

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**KANOLA YAĞINDAN BAZ KATALİZLİ TRANSESTERİFİKASYON
YÖNTEMİ İLE BİYODİZEL ÜRETİMİNDE REAKSİYON
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

MERT MEHMET NAYIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KANOLA YAĞINDAN BAZ KATALİZLİ TRANSESTERİFİKASYON
YÖNTEMİ İLE BİYODİZEL ÜRETİMİNDE REAKSİYON
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

MERT MEHMET NAYIR

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SAMSUN
2018**

Her Hakkı Saklıdır.

TEZ ONAYI

Mert Mehmet NAYIR tarafından hazırlanan “Kanola Yağından Baz Katalizli Transesterifikasyon Yöntemi İle Biyodizel Üretiminde Reaksiyon Parametrelerinin Optimizasyonu” adlı tez çalışması 24/05/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman Dr. Öğr. Üyesi Berker FIÇICILAR
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri

Başkan Doç.Dr. Çiğdem ALBAYRAK KAŞTAŞ
Sinop Üniversitesi
Kimya Anabilim Dalı

Üye Doç.Dr. Selim CEYLAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye Dr. Öğr. Üyesi Berker FIÇICILAR
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım. .../.../2018

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

24/05/2018

Mert Mehmet NAYIR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KANOLA YAĞINDAN BAZ KATALİZLİ TRANSESTERİFİKASYON YÖNTEMİ İLE BİYODİZEL ÜRETİMİNDE REAKSİYON PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Mert Mehmet NAYIR

Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Berker FIÇICILAR

Bu tez çalışmasında kanola yağından transesterifikasyon yöntemi ile sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) katalizörlüğünde farklı reaksiyon şartlarında biyodizel üretimi incelenerek reaksiyon parametrelerinin ürün özelliklerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Biyodizeller laboratuvar şartlarında üretilerek incelenmiştir. Çalışma boyunca 54 farklı reaksiyon şartı araştırılmış olup Minitab 17 istatistik programıyla DOE-Taguchi yöntemi kullanılarak deney tasarımı yapılmıştır. Deney tasarımı sonucu elde edilen şartlarda 18 farklı biyodizel üretimi gerçekleştirilmiş, biyodizellerin fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Bu çalışmada, NaOH ve KOH katalizör olarak kullanıldığı üretim şartlarında biyodizelin yakıt olarak kullanımındaki özelliklerden hacimsel verimleri, yoğunlukları, pH değerleri, Orp değerleri, viskozite değerleri ve ısı değeri incelenmiştir. Grafikleri çizilerek yorumlanmış, karşılaştırmalar yapılarak en iyi sonuçlara hangi şartlarda varıldığına karar verilmiştir. Karakterizasyon çalışmaları yapılmış, FTIR ve GC-MS ile kontrolleri yapılmıştır, sonuçlar üzerine hassasiyet analizi uygulanarak parametrelerin etkileri incelenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre reaksiyon parametreleri ile ürün özellikleri arasında ampirik denklemler türetilmiştir. Yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda biyodizelin istenilen özelliğini iyileştirmek için hangi reaksiyon parametresinin nasıl değiştirilmesi gerektiği bilgisine ulaşılmıştır. Ayrıca üretim sırasında kullanılan baz katalizörü cinsi değiştiğinde biyodizel özelliklerinin oldukça değiştiği, daha düşük sıcaklıklarda üretim yapmak için KOH yerine NaOH çözeltilsinin kullanılmasının daha kaliteli ve verimli ürün oluşmasını sağladığı sonucuna varılmıştır.

Mayıs 2018, 112 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Transesterifikasyon yöntemi, Kanola, Baz katalizör, Viskozite, Metilester, Optimizasyon

ABSTRACT

Master's Thesis Dissertation

OPTIMIZATION OF REACTION PARAMETERS FOR CANOLA OIL BIODIESEL PRODUCTION USING TRANSESTERIFICATION METHOD WITH BASE CATALYST

Mert Mehmet NAYIR

Ondokuz Mayıs University
Graduate School of Sciences
Department of Chemical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Berker FIÇICILAR

In this study, The effect of reaction parameters on product properties was examined by examining biodiesel production under different reaction conditions in sodium hydroxide (NaOH) and potassium hydroxide (KOH) catalysts by transesterification from canola oil. Biodiesel was produced under laboratory conditions and examined. Throughout the study, 54 different reaction conditions were investigated and the experiment was designed using the DOE-Taguchi method with the help of Minitab statistical program. The experimental design resulted in 18 different biodiesel production conditions and the physical and chemical properties of the biodiesel were investigated. In this study, the volumetric yields, densities, pH values, Orp values, viscosity values and thermal values of the properties of biodiesel as fuel were examined in the production conditions used as NaOH and KOH catalysts. The graphics were drawn, interpreted, and compared to determine the conditions under which the best results were achieved. The characterization studies were carried out, the controls were performed with FTIR and GC-MS, and the effects of the parameters were examined by applying sensitivity analysis on the results. According to the measurement results empirical equations are derived between reaction parameters and product properties. As a result of the optimization studies carried out, the knowledge of which reaction parameters should be changed in order to improve the desired properties of biodiesel has been reached. In addition, when the base catalyst used during production changes, the use of NaOH solution instead of KOH results in a better quality and more efficient product to produce at lower temperatures, where the biodiesel properties change significantly.

May 2018, 112 pages

Key Words: Biodiesel, Transesterification method, Canola, Base catalyst, Viscosity, Methylester, Optimization

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın planlanmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren saygıdeğer hocam ve tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Berker FIÇICILAR'a, lisansüstü eğitimim sırasında verdikleri destekler için Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümündeki hocalarıma, lisans eğitimim sırasında beni mühendisliğe hazırlayan Atatürk Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümündeki hocalarıma, çalışmalarım sırasında beni motive eden ve her zaman yanımda olan eşim Kevser NAYIR'a ve aileme teşekkür ederim.

Mayıs 2018, Samsun

Mert Mehmet NAYIR

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER ..DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.2. Çalışmanın Ana Hatları.....	3
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1. Alternatif Enerji Kaynakları	4
2.2. Alternatif Enerji Kaynaklarının Önemi	5
2.3. Dünya Ülkelerindeki Durumu.....	5
2.4. Türkiye’deki Durumu	6
2.5. Bitkisel Yağların Kimyasal Yapısı	7
2.6. Bitkisel Yağların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	8
2.7. Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı	10
2.8. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi.....	11
2.9. Kolza Bitkisi.....	14
2.10. Türkiye’deki Ekim Alanları	15
2.11. Kanola Yağının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	16
2.12. Biyodizel ve Üretim Yöntemleri.....	16
2.13. Biyodizelin Özellikleri.....	17
2.14. Avantajları Dezavantajları	17
2.15. Kullanım Alanları.....	18
2.16. Dünya Ülkelerindeki Durumu.....	18
2.17. Türkiye’deki Durumu	19
2.18. Biyodizel Üretim Yöntemleri.....	21
2.18.1. Seyreltme Yöntemi	21
2.18.2. Piroliz Yöntemi	21
2.18.3. Mikroemülsiyon Yöntemi	22
2.18.4. Transesterifikasyon Yöntemi	22
2.19. Transesterifikasyon Yöntemi İle Üretim	26
2.19.1. Alkol ve Katalizörün Karıştırılması.....	26
2.19.2. Reaksiyon.....	27
2.19.3. Gliserinden Ayırma.....	27
2.19.4. Yıkama-Sabunundan Uzaklaştırma	27
2.19.5. Alkolün Uzaklaştırılması	27
2.20. Homojen Katalizör Kullanımı İle Biyodizel Üretim Prosesi	28
2.21.1. Yoğunluk.....	29
2.21.2. Soğukta Akış Özelliği	31
2.21.7. Setan Sayısı.....	31
2.21.8. Su İçeriği.....	31
2.21.9. PH Değeri.....	31
2.22. Biyodizel Emisyonları.....	32

2.23. Biyodizelin Depolanması ve Taşınması.....	33
3. MATERYAL VE YÖNTEM	34
3.1. Deneysel Tasarımı.....	34
3.2. Biyodizel Üretim Aşamaları	35
3.3. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasal Malzemeler	40
3.4. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar	41
3.5. Kullanılan Ölçüm Cihazlarının Çalışma Mantıkları	41
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	44
4.1. NaOH Katalizörlüğünde Giriş Parametre Değerlerinin Değişiminin Ürün Özellikleri Üzerine Etkisinin Minitab Deneysel Tasarımındaki Sonuç Grafikleri	44
4.2. KOH Katalizörlüğünde Giriş Parametre Değerlerinin Değişiminin Ürün Özellikleri Üzerine Etkisinin Minitab Deneysel Tasarımındaki Sonuç Grafikleri	47
4.3. Ürünlerin FTIR Analiz Grafikleri.....	51
4.4. Giriş Parametreleri İle Ürün Özellikleri Arasındaki İlişkiyi Veren Ampirik Denklemler	61
4.5. Karakterizasyon	65
4.6. Parametrelerin Hassasiyet Analizi	74
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	82
EKLER.....	85
EK 1 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(40°C), CH ₃ OH %16.7, KOH %0.5 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	85
EK 2 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(40°C), CH ₃ OH %20, KOH %1.0 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	86
EK 3 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(40°C), CH ₃ OH %25, KOH %1.5 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	87
EK 4 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(50°C), CH ₃ OH %16.7, KOH %1.0 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	88
EK 5 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(50°C), CH ₃ OH %20, KOH %1.5 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	89
EK 6 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(50°C), CH ₃ OH %25, KOH %0.5 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	90
EK 7 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(60°C), CH ₃ OH %16.7, KOH %1.5 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	91
EK 8 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(60°C), CH ₃ OH %20, KOH %0.5 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	92
EK 9 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(60°C), CH ₃ OH %25, KOH %1.0 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	93
EK 10 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(40°C), CH ₃ OH %16.7, NaOH %0.2 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	94
EK 11 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(40°C), CH ₃ OH %20, NaOH %0.4 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	95
EK 12 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(40°C), CH ₃ OH %25, NaOH %0.6 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	96
EK 13 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(50°C), CH ₃ OH %16.7, NaOH %0.4 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	97
EK 14 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(50°C), CH ₃ OH %20, NaOH %0.6 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	98

EK 15 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(50°C), CH ₃ OH %25, NAOH %0.2 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	99
EK 16 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(60°C), CH ₃ OH %16.7, NAOH %0.6 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	100
EK 17 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(60°C), CH ₃ OH %20, NAOH %0.2 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	101
EK 18 ÜRETİM PARAMETRELERİ T(60°C), CH ₃ OH %25, NAOH %0.4 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ.....	102
EK 19 ÜRÜN KODLARINA GÖRE ÖLÇÜLEN ISIL DEĞERLER.....	103
EK 20 ÜRÜN KODLARINA GÖRE ÖLÇÜLEN HACİM DEĞERLERİ.....	104
EK 21 ÜRÜN KODLARINA GÖRE ÖLÇÜLEN YOĞUNLUK DEĞERLERİ ...	105
EK 22 ÜRÜN KODLARINA GÖRE ÖLÇÜLEN PH DEĞERLERİ	106
EK 23 ÜRÜN KODLARINA GÖRE ÖLÇÜLEN ORP DEĞERLERİ	107
EK 24 ÜRÜN KODLARINA GÖRE ÖLÇÜLEN VİSKOZİTE DEĞERLERİ	108
EK 25 REAKSİYON PARAMETRELERİ T(60°C), CH ₃ OH % 20, KOH % 0.5 OLAN BİYODİZELİN GC-MS PROGRAM ÇIKTISI.....	109
EK 26 REAKSİYON PARAMETRELERİ T(60°C), CH ₃ OH % 25, KOH % 1.0 OLAN BİYODİZELİN GC-MS PROGRAM ÇIKTISI.....	110
EK 27 REAKSİYON PARAMETRELERİ T(60°C), CH ₃ OH % 20, NAOH % 0.2 OLAN BİYODİZELİN GC-MS PROGRAM ÇIKTISI	111
EK 28 REAKSİYON PARAMETRELERİ T(60°C), CH ₃ OH % 25, NAOH % 0.4 OLAN BİYODİZELİN GC-MS PROGRAM ÇIKTISI.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	113

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

K	Sıcaklık	Kelvin
GW	Güç	Gigawatt
g	Kütle	Gram
kg	Kütle	Kilogram
L	Hacim	Litre
mg	Kütle	Miligram
mL	Hacim	Mililitre
mm ²	Alan	Milimetrekare
cm ³	Hacim	Santimetreküp
°C	Sıcaklık	Santigrat Derece

KISALTMALAR

B20	%20 Biyodizel + %80 Dizel Karışımı
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi
GC	Gaz Kromatografi
PAH	Poli Hidrokarbon
YAME	Yağ Asidi Metil Esteri
ORP	Oksidasyon İndirgeme Potansiyeli
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ÖTV	Özel Tüketim Vergisi
MS	Kütle Spektroskopisi
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
EN	European Nation-Avrupa Birliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Yağ asidinin kimyasal şekli	8
Şekil 2.2.	Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi	12
Şekil 2.3.	Bitkisel yağın farklı yöntemler ile biyoyakıta dönüşümü	13
Şekil 2.4.	Bitkisel yağlardan metanol ve potasyum hidroksit kullanılarak transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimi	13
Şekil 2.5.	Trigliseridin yan reaksiyonu	14
Şekil 2.6.	Metoksit çözeltisinin oluşumu	14
Şekil 2.7.	Transesterifikasyon reaksiyon basamakları	23
Şekil 2.8.	Transesterifikasyon yöntemi işlem basamakları	26
Şekil 2.9.	Katalizörlü biyodizel üretim şeması	28
Şekil 2.10.	Sürekli sistem biyodizel üretiminde reaktörün gereksinimleri	28
Şekil 3.3.	DeneySEL akış şeması	36
Şekil 3.4.	Referans miktarda kanola yağının balon jöjeye alınması	36
Şekil 3.5.	Kanola yağı ile katalizör çözeltisinin karıştırılması	37
Şekil 3.6.	Sabit sıcaklıktaki su banyosunda reaksiyonun tamamlanması	37
Şekil 3.7.	Biyodizel, gliserin ve safsızlıkların faz ayırımına bırakılması	38
Şekil 3.8.	Biyodizel ve gliserinin birbirinden ayrılması işlemi	38
Şekil 3.10.	Biyodizelin sabunundan ayrılması işlemi	39
Şekil 3.11.	Biyodizel içerisinde kalan suyun uzaklaştırılması işlemi	40
Şekil 3.12.	Biyodizelin süzgeçten geçirilmesi işlemi	40
Şekil 3.13.	Dikey viskozimetre	41
Şekil 3.14.	Spektrometre çalışma prensibi	42
Şekil 3.15.	Bomba kalorimetresinin basitleştirilmiş çizimi	43
Şekil 4.1.	NaOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün hacimine etkisi	44
Şekil 4.2.	NaOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün yoğunluğuna etkisi	45
Şekil 4.3.	NaOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün pH değerine etkisi	45
Şekil 4.4.	NaOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün ORP değerine etkisi	46
Şekil 4.5.	NaOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün viskozite değerine etkisi	46
Şekil 4.6.	NaOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün ısı değerine etkisi	47
Şekil 4.7.	KOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün hacimine etkisi	47
Şekil 4.8.	KOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün yoğunluğuna etkisi	48
Şekil 4.9.	KOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün pH değerine etkisi	48
Şekil 4.10.	KOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün ORP değerine etkisi	49
Şekil 4.11.	KOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün viskozite değerine etkisi	49

Şekil 4.12. KOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün ısıl değerine etkisi	50
Şekil 4.13. Üretim parametreleri T(40°C), CH ₃ OH %16.7, KOH %0.5 olan biyodizelin FTIR grafiği	51
Şekil 4.14. Üretim parametreleri T(40°C), CH ₃ OH %20, KOH %1.0 olan biyodizelin FTIR grafiği	52
Şekil 4.15. Üretim parametreleri T(40°C), CH ₃ OH %25, KOH %1.5 olan biyodizelin FTIR grafiği	52
Şekil 4.16. Üretim parametreleri T(50°C), CH ₃ OH %16.7, KOH %1.0 olan biyodizelin FTIR grafiği	53
Şekil 4.17. Üretim parametreleri T(50°C), CH ₃ OH %20, KOH %1.5 olan biyodizelin FTIR grafiği	53
Şekil 4.18. Üretim parametreleri T(50°C), CH ₃ OH %25, KOH %0.5 olan biyodizelin FTIR grafiği	54
Şekil 4.20. Üretim parametreleri T(60°C), CH ₃ OH %20, KOH %0.5 olan biyodizelin FTIR grafiği	55
Şekil 4.21. Üretim parametreleri T(60°C), CH ₃ OH %25, KOH %1.0 olan biyodizelin FTIR grafiği	55
Şekil 4.22. Üretim parametreleri T(40°C), CH ₃ OH %16.7, NaOH %0.2 olan biyodizelin FTIR grafiği	56
Şekil 4.23. Üretim parametreleri T(40°C), CH ₃ OH %20, NaOH %0.4 olan biyodizelin FTIR grafiği	57
Şekil 4.24. Üretim parametreleri T(40°C), CH ₃ OH %25, NaOH %0.6 olan biyodizelin FTIR grafiği	57
Şekil 4.25. Üretim parametreleri T(50°C), CH ₃ OH %16.7, NaOH %0.4 olan biyodizelin FTIR grafiği	58
Şekil 4.26. Üretim parametreleri T(50°C), CH ₃ OH %20, NaOH %0.6 olan biyodizelin FTIR grafiği	58
Şekil 4.27. Üretim parametreleri T(50°C), CH ₃ OH %25, NaOH %0.2 olan biyodizelin FTIR grafiği	59
Şekil 4.28. Üretim parametreleri T(60°C), CH ₃ OH %16.7, NaOH %0.6 olan biyodizelin FTIR grafiği	59
Şekil 4.29. Üretim parametreleri T(60°C), CH ₃ OH %20, NaOH %0.2 olan biyodizelin FTIR grafiği	60
Şekil 4.30. Üretim parametreleri T(60°C), CH ₃ OH %25, NaOH %0.4 olan biyodizelin FTIR grafiği	60
Şekil 4.31. Dizel ile biyodizel kıyaslama grafiği	65
Şekil 4.32. Dizel ile biyodizel grafikleri arasındaki farklı pik alanlarının gösterim.	66
Şekil 4.33. Üretim parametreleri T(60°C), CH ₃ OH %25, NaOH %1.0 olan biyodizel için karakterizasyon çalışması	66
Şekil 4.34. Üretim parametreleri T(60°C), CH ₃ OH %20, KOH %0.5 olan biyodizel için GC-MS analiz grafiği	67
Şekil 4.35. Üretim parametreleri T(60°C), CH ₃ OH %25, KOH %1.0 olan biyodizel için GC-MS analiz grafiği	69
Şekil 4.36. Üretim parametreleri T(60°C), CH ₃ OH %20, NaOH %0.2 olan biyodizel için GC-MS analiz grafiği	70
Şekil 4.37. Üretim parametreleri T(60°C), CH ₃ OH %25, NaOH %0.4 olan biyodizel için GC-MS analiz grafiği	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Yenilenebilir enerjinin ülkeler bazında kapasite açısından sıralaması	6
Çizelge 2.2. 2015 yılı Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları dağılımı	7
Çizelge 2.3. Bitkisel yağların yakıt özellikleri, B.N: Bulutlanma Noktası, A.N: Akma Noktası, P.N: Parlama Noktası.....	9
Çizelge 2.4. Bitkisel yağ içerikleri	10
Çizelge 2.5. Bitkilerin yağlı tohum özellikleri	10
Çizelge 2.6. Kolza (Kanola) tohumunun bileşimi.....	16
Çizelge 2.7. Kapasite raporu yaptırmış üreticilerin illere göre sayısı	20
Çizelge 2.8. Biyodizeldeki safsızlıklar ve etkileri	25
Çizelge 2.9. TS EN 14214 Biyodizel standardı	29
Çizelge 3.1. NaOH, metanol ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak üretilen biyodizelin reaksiyona giriş şartları	34
Çizelge 3.2. KOH, metanol ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak üretilen biyodizelin reaksiyona giriş şartları	35
Çizelge 4.1. KOH katalizörlü biyodizelin ürün koduna göre üretim parametreleri .	51
Çizelge 4.2. NaOH katalizörlüğündeki biyodizel için ürün koduna göre üretim parametreleri	56
Çizelge 4.3. Üretim parametreleri T(60°C), CH ₃ OH % 20, KOH % 0.5 olan biyodizel için GC-MS analiz sonuçları	68
Çizelge 4.4. Üretim parametreleri T(60°C), CH ₃ OH % 25, KOH % 1.0 olan biyodizel için GC-MS analiz sonuçları	69
Çizelge 4.5. Üretim parametreleri T(60°C), CH ₃ OH % 20, NaOH % 0.2 olan biyodizel için GC-MS analiz sonuçları	71
Çizelge 4.6. Üretim parametreleri T(60°C), CH ₃ OH % 25, NaOH % 0.4 olan biyodizel için GC-MS analiz sonuçları	73
Çizelge 4.7. KOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin ürün hacmi üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi	74
Çizelge 4.8. KOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin orp değeri üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi	74
Çizelge 4.9. KOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin pH değeri üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi	75
Çizelge 4.10. KOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin viskozite üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi	75
Çizelge 4.11. KOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin yoğunluk üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi	75
Çizelge 4.12. KOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin ısı değeri üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi	76
Çizelge 4.13. NaOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin ürün hacmi üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi	76
Çizelge 4.14. NaOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin orp değeri üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi	76
Çizelge 4.15. NaOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin pH değeri üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi	77
Çizelge 4.16. NaOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin viskozite üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi	77

Çizelge 4.17. NaOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin yoğunluk üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi	77
Çizelge 4.18. NaOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin ısı değeri üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi	78



1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte hızla artan enerji ihtiyacı ve fosil yakıt kaynaklarının yakın bir gelecekte tükenerek olması ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Bu durum gün geçtikçe enerji tarımını daha önemli hale getirmektedir. Özellikle tarımsal potansiyeli yüksek olan ülkelerde bitkisel yağlar ön plana çıkmıştır. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında önem arz eden nokta kullanılan yağın gıda ürünü olarak tüketiminin minimum ya da minimuma yakın olması durumudur. Kullanılan bitkisel yağa piyasadaki talebinin fazlalığı maliyeti artıracak gibi gıdasal tüketimi de zor duruma düşürür dolayısıyla yağ seçiminde kullanım alanı dikkate alınmalı ve yağ oranı yüksek bir bitki seçilmelidir.

Alternatif yakıt türlerinin sürdürülebilir bir ekonomik kalkınma ve daha temiz bir çevre için yerli kaynaklarla elde edilebilen, insan odaklı, yenilenebilir, uygulanabilir olması ve kolay elde edilebilir olması gerekmektedir. Ülkeler kendi ekonomik, çevresel, doğal ve sosyal özelliklerine bağlı olarak çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları (biyokütle, güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal, dalga vb. enerjiler) üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu bağlamda bitkisel ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyodizel yakıtı petrol dizeline alternatif olarak araştırılmaktadır (Yaşar, 2016).

Alternatif yenilenebilir yakıtlar, geleneksel fosil enerji kaynakları sınırlı olduğundan ve bunların kullanımı genellikle çevre kirliliğine neden olduğundan yakın zamanda büyük ilgi gördüler. Örnek olarak biyodizel yenilenebilir ve temiz biyoyakıtların gelecek vadeden geleneksel olarak transesterifikasyon yoluyla üretilen rafine bitkisel yağların metanol ile homojen baz katalizörlerden örneğin sodyum hidroksit, potasyum hidroksit ve sodyum etoksit gibi katalizörler kullanılarak üretilmesini verebiliriz (Guan-Yi ve Shan, 2015).

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmelerini sağlamak amacı ile iki yönde çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bu çalışmalardan biri, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi, diğeri ise motor aksamının değiştirilmesidir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmaların ağırlığını bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır.

Isıl yöntemde, yakıt olarak kullanılacak olan bitkisel yağların, ön ısıtma ile sıcaklığının yükseltilmesi, viskozitenin azaltılması amaçlanmaktadır. Kimyasal yöntem ise dört alt gruba ayrılmaktadır. Bunlar; seyreltme, mikro emülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyondur.

Transesterifikasyon, bitkisel ve hayvansal yağları oluşturan trigliseritlerin bir katalizör (asidik, bazik veya enzim katalizörler) varlığında kısa zincirli bir alkol (etil veya metil alkol) ile reaksiyona girerek yağ asidi esteri ve gliserine dönüşümüdür.

Transesterifikasyon ile trigliseritler alkil monoesterlere dönüştürüldüğünde moleküler ağırlık üçte bir oranında azalırken biyodizel için büyük bir problem olan yüksek viskozite ise geleneksel dizelin viskozite değerine yaklaşmakta ve uçuculuk kısmen iyileşmektedir. Stokiyometrik bir transesterifikasyon reaksiyonunda bir mol yağ için üç mol alkol kullanılmaktadır. Reaksiyon sonunda üç mol ester ve bir mol gliserin elde edilir. Reaksiyonda aynı zamanda dönüşümü hızlandırmak ve ester verimini artırmak için bir katalizör kullanılır. Reaksiyon işlemi sonucunda ester ve gliserinin yanında bir miktar atık alkol, katalizör ile mono-di-trigliserid gibi yan ürünlerde elde edilir (Şanlı, 2014).

Biyodizel fosil yakıtlara göre çevre dostu bir alternatiftir, bitkisel yağlarla bir transesterifikasyon yoluyla üretilen biyodizel bir katalizörün mevcudiyetinde esterler ve gliserol vermek üzere, alkol ile reaksiyona sokulması sonucu üretilir. Fiyata , mevsimlik kullanılabilirlik ve coğrafi sınırlamalara göre farklı biyodizel türleri üretilir. Hammadde (örneğin soya fasulyesi, hurma yağı ve kolza tohumu). EN 14214 sınırlarına uymak için bu yağların karışımları da kullanılmaktadır çünkü biyodizelin son kalitesinin tip üretim sürecinde kullanılan hammaddelerin su içeriği, yağ asitleri ve iyot değeri gibi parametrelerinin gerekli sınırlarda olmaları özellikle önemlidir. Bu reaksiyonun dikkatli bir şekilde izlenmesi ve kontrol edilmesi gerekir (Silvana ve Sarruguça, 2015).

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada kullanılan biyodizel, laboratuvar ölçeğinde kanola yağının transesterifikasyon yöntemi ile esterleşmesi sonucu üretilen biyodizeldir. Üretilen biyodizellerin özelliklerinin reaksiyon aşamasındaki giriş şartlarının değişmesi ile nasıl değiştiği konusunda yapılan çalışmalar şu şekilde planlanmıştır; biyodizellerin transterifikasyon yöntemi ile üretimi tamamlandıktan sonra kullanılacağı araçlarda

aşınma ve oksitlendirme durumunu tespit etmek adına asitlik derecesine ve orp değerini incelenmiştir, motorlardaki yanma verimi düşüşü yaşanmaması için akışkanlığı ve yoğunluğu incelenmiştir. Çalışmanın yön verdiği alan; sanayi alanında biyodizel üretimi yapan tesislere, ürettikleri biyodizellerin hangi özelliğini iyileştirmek istiyorlarsa ona göre reaksiyon giriş şartlarından hangisini ne şekilde değiştirmeleri gerektiği konusunda fikir ve bulgu vermektir. Bu çalışmalara ilave olarak 54 farklı biyodizel üretimini sağlamak adına Taguchi yöntemiyle deney tasarımı yapılmış ve istatistik programı yardımıyla çalışmalara katkıda bulunulmuştur.

1.2. Çalışmanın Ana Hatları

Tez çalışmasında kullanılan kanola yağının hacmi sabit tutularak reaksiyon giriş parametrelerinden; sıcaklığın, CH₃OH yüzdesinin, KOH katalizörü yüzdesinin ve NaOH katalizörü yüzdesinin farklı oranlarda değiştirilmesinin ürün özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Çalışma 7 ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; konuya giriş yapılarak fosil yakıtların durumundan, bitkisel yağların yakıt olarak kullanımından kısa bahsedilmiş ve çalışmanın amacı, kapsamı, ve içeriğinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde; alternatif enerji kaynakları ve bitkisel yağlardan bahsedilmiş, kanola yağına odaklanılmıştır. Üçüncü bölümde; biyodizel ve üretim yöntemlerinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde; biyodizelin teknik özelliklerinden, depolanması ve taşınması konu edilmiştir. Beşinci bölümde; deney tasarımından, üretim aşamalarından, kullanılan kimyasal ve ekipmanlardan bahsedilmiştir. Altıncı bölümde; bulgular ve tartışmalara yer verilmiş ve son bölümde sonuçlara ve önerilere yer verilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Alternatif Enerji Kaynakları

Ülkelerin gelişmişlik düzeyi ile enerji tüketimleri arasında doğru orantılı bir ilişkisi vardır. Toplam ve kişi başına tüketilen enerji, bir ülkenin gelişmişlik derecesini belirlemede en önemli kriterlerden biridir. Dünya'daki enerji tüketimi nüfus artışına, sanayileşmeye ve teknolojik ilerlemelere bağlı olarak hızla artmaktadır. 21. Yüzyılda enerji soğuran ülkeler ortaya çıkmıştır.

Ülkelerin ekonomik kültürel ve bilimsel seviyeleri, ürettikleri ve kullandıkları enerji miktarına bağlıdır. 6 milyar nüfusu olan dünyamızda sanayi ülkelerinde yaşayan 1 milyar nüfus toplam enerjinin %60'ını kullanırken, diğer ülkelerde yaşayan 5 milyar nüfus toplam enerjinin %40'ını kullanmaktadır. Bu oranlar enerjinin ülke kalkınması için ne kadar önemli olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Enerji kaynakları 2 grupta incelenir.

Fosil yakıtlar

- Kömür
- Petrol
- Doğal gaz

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları

- Hidrolik (su)
- Güneş
- Rüzgar
- Jeotermal
- Biyokütle
- Nükleer enerji
- Yakıt hücreleri
- Hidrojen enerjisi

2.2. Alternatif Enerji Kaynaklarının Önemi

Dünya'da artan nüfusa bağlı olarak, enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık %4-5 arasında artmaktadır. Buna karşılık fosil yakıt rezervleri ise hızla azalmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre en geç 2030-2050 yılları arasında petrol, kömür, doğalgaz rezervleri tükenme aşamasına gelecek ve ihtiyacı karşılayamayacaktır.

Fosil yakıtların kullanımı dünya ortalama sıcaklığını 500 bin yılın en yüksek seviyesine ulaştırmıştır. Bu durum son yıllarda yoğun hava kirliliğine sel, fırtına ve doğal afetlerin hızla artmasına sebep olmaktadır. Yakın gelecekte alternatif enerji kaynaklarına geçilmemesi durumunda birçok bitki ve hayvan soyu tükenecektir. Alternatif enerji kaynaklarına geçilmesiyle, daha değişik dünya görüşü hayatımıza girecektir. Sınırsız ve sorumsuz harcanan enerji tüketiminin yerini bilinçli, çevreye saygılı ve ihtiyacı karşılamaya yönelik enerji tüketimi olacaktır. Böyle bir ortamda refah düzeyini, en fazla enerji tüketen yerine, en verimli enerjiyi kullanan belirleyecektir (Şeker, 2007).

2.3. Dünya Ülkelerindeki Durumu

IEA'nın verilerine göre 2014 yılı itibarıyla dünyada yenilenebilir enerjinin toplam enerji tüketimi içerisindeki payı (hidroelektrik dahil) yaklaşık yüzde 20 olarak hesaplanırken bu oranın 2016 yılında yüzde 22 ve 2020 yılında ise en az yüzde 26 olması öngörülmektedir. Diğer bir ifadeyle 2020 yılına gelindiğinde dünyada tüketilen enerjinin dörtte birinin (1/4) yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle başta ABD, Çin, Japonya ve Hindistan gibi fosil kaynaklardan yoksun olan ve ihtiyaç duyduğu enerjiyi dışarıdan ithal ederek karşılamaya çalışan birçok ülkenin yenilenebilir enerjiye dönük önemli yatırımlar gerçekleştirdikleri görülmektedir.

Yenilenebilir enerji yatırımlarının artmasının bir diğer sebebi de enerjinin arz güvenliği ve sürdürülebilirliğini sağlamaya yönelik politikalardır. Ayrıca yenilenebilir enerji teknolojisine yapılan yatırımlar ve devlet desteklerinin katkısı ile bu alana olan ilgi giderek artmaktadır. Bu sayede yüksek ve pahalı teknoloji gerektiren yenilenebilir enerji projelerinin maliyetleri azalmaya ve kullanımı yaygınlaşmaya başlamaktadır. Dünya genelinde yenilenebilir enerjiye olan yatırımlar incelendiğinde 2015 yılı itibarıyla Çin'in bu yatırımlarda başı çektiği görülmektedir.

Çizelge 2.1. Yenilenebilir enerjinin ülkeler bazında kapasite açısından sıralaması

Enerji	1	2	3	4	5
Yenilenebilir Enerji (hidrolik dahil)	Çin	ABD	Brezilya	Almanya	Kanada
Yenilenebilir Enerji (hidrolik dahil değil)	Çin	ABD	Almanya	Japonya	Hindistan
Biyoenjeri Üretimi	ABD	Çin	Almanya	Brezilya	Japonya
Jeotermal Enerji Kapasitesi	ABD	Filipinler	Endonezya	Meksika	Yeni Zelanda
Hidrolik Enerji Kapasitesi	Çin	Brezilya	ABD	Kanada	Rusya
Hidrolik Enerji Üretimi	Çin	Brezilya	Kanada	ABD	Rusya
Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi	İspanya	ABD	Hindistan	Fas	Güney Afrika
Güneş Fotovoltaik Sistem Kapasitesi	Çin	Almanya	Japonya	ABD	İtalya
Rüzgar Enerjisi Kapasitesi	Çin	ABD	Almanya	Hindistan	İspanya
Güneş Kollektörü Kapasitesi	Çin	ABD	Almanya	Türkiye	Brezilya
Jeotermal Isı Kapasitesi	Çin	Türkiye	Japonya	İzlanda	Hindistan

Ülkelerin yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneşe ayrı bir önem verdikleri görülmektedir. Bu doğrultuda güneş enerjisinden elektrik üretmek adına önemli kanuni düzenlemeler ve teşvik mekanizmaları geliştirilmektedir (Anonim, 2017).

2.4. Türkiye'deki Durumu

Türkiye yenilenebilir enerji potansiyeli bakımından oldukça iyi bir coğrafi konumdadır. Ancak yenilenebilir kaynaklı enerji üretim seviyesi düşüktür.

Potansiyel ve yararlanma arasındaki makasın bu denli açık olmasının altında maliyetler ve yasal düzenlemelerdeki eksiklikler gibi birçok etken yatmaktadır.

Ülkenin enerjide dışa bağımlılık oranları göz önünde bulundurulacak olursa mevcut yenilenebilir enerji potansiyellerinin kullanıma kazandırılması uzun dönemde Türkiye açısından oldukça önemli bir hal almaktadır.

Türkiye’de özellikle 2009 yılından sonra yenilenebilir enerji konusunda önemli gelişmeler kaydedildiği görülmektedir. Türkiye’nin yenilenebilir enerji üretimindeki toplam kurulu güç kapasitesi 2009 yılında 15,5 GW iken 2015 yılı itibarıyla bu rakam 31,7 GW seviyelerine getirilerek bu alanda gözle görülür bir ilerleme yaşanmıştır. 2016 yılı sonu itibarıyla ise Türkiye’nin yenilenebilir enerji toplam kurulu gücü 34,2 GW olarak kayıtlara geçmiştir.

Çizelge 2.2. 2015 yılı Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları dağılımı (gwh, yüzde)

	GWh	Yüzde
Biyokütle	1.241,1	1,48
Rüzgar	11.652,5	13,93
Güneş	194,1	0,23
Barajlı	47.514,1	56,80
D. Göl ve Akarsu	19.631,8	23,47
Jeotermal	3.424,5	4,09
Toplam	83.657,9	100,00

Türkiye yenilenebilir enerji alanındaki yatırımları İngiltere, Fransa ve Hollanda ile 1 milyar dolar eşliğini aşan dört Avrupa ülkesinden biri olmuştur (Anonim, 2017).

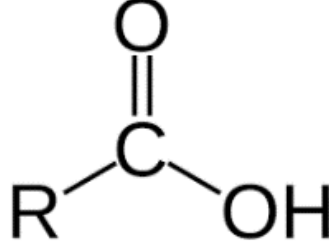
2.5. Bitkisel Yağların Kimyasal Yapısı

Oda sıcaklığında sıvı halde bulunan ve yüksek oranda doymamış yağ asitleri içeren sıvılar bitkisel yağ olarak adlandırılır. Bitkisel yağlar suda çözünmeyen, hidrofobik (su geçirmez) maddelerdir.

Bitkisel ve hayvansal yağlar genellikle %97 trigliseritlerden, %3 monogliserit ve digliseritlerden meydana gelmektedir. Trigliseritler, üç yağ asidinin bir gliserol

molekölüyle birleşmiş halidir. Bitkisel yağlar içerdiği yağ asitlerinin gliserol molekülü ile bağlantı şekillerine göre birbirinden ayrılmaktadır.

Eğer yağ asidi bir tane çift karbon bağı içeriyorsa, tekli doymamış yağ asidi, iki veya daha fazla çift bağı içeriyorsa, çoklu doymamış yağ asitleri olarak adlandırılır.



Şekil 2.1. Yağ asidinin kimyasal şekli

Bitkisel yağların yağ asidi içeriği, dizel motorlarında karbon oluşumunu azaltan etkili bir faktördür. Diğer bir yandan, eğer yağ asitleri yapısında bir çift bağı bulunduruyorsa, 20°C ve 100°C aralığında, iki çift bağı bulunan bir yağ asidine göre oksitlenme bakımından on kat daha yavaştır.

Üç çift bağı bulunan bir yağ asidine göre ise, on beş kat daha yavaş oksitlenir. Oksitlenme stabilitesi, depolama anında sakızlaşmanın oluşumu hakkında bilgi veren önemli bir özelliktir.

Oksitlenme ile birlikte yağın özellikleri değişmektedir. Oksitlenme ile birlikte, setan sayısı yükselir ve viskozite artar (Alptekin, 2007).

Bitkisel yağlar, tarım ürünlerinin meyvelerinden, çekirdeklerinden işlenerek elde edilmektedir. Bitkisel yağların petrol kökenli yağlardan yapıları farklıdır. Petrol kökenli dizel yakıtlar büyük ölçüde aromatik ile parafinlerden oluşmaktadır. Bitkisel yağlar ise yağ asitlerinin gliserinle reaksiyonu sonucu oluşan esterlerdir. (Akay, 2017).

2.6. Bitkisel Yağların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri dizel yakıtınıninkine benzerdir. Fakat aradaki en büyük farklardan biri, bitkisel yağların viskozitesidir.

Bitkisel yağların viskoziteleri 30 mm²/s ile 40 mm²/s arasında değişmektedir ve dizel yakıtının viskozitesinin 17 ile 20 katı kadardır.

Yine bitkisel yağların yoğunlukları dizel yakıtına göre biraz daha fazladır. Isıl değer bakımından, bitkisel yağların ısıl değerleri dizel yakıtına göre yaklaşık %10 daha düşüktür.

Bitkisel yağların setan sayıları ise dizel yakıtinkine yakındır. Setan sayısı yakıtın tutuşabilirlik kalitesini yükseltir.

Çizelge 2.3. Bitkisel yağların yakıt özellikleri, B.N: Bulutlanma Noktası, A.N: Akma Noktası, P.N: Parlama Noktası (Alptekin, 2007).

Yağ	Viskozite (mm ² /sn)	Yoğunluk (g/cm ³)	Alt Isıl Değer (kJ/kg)	B.N* (°C)	A.N* (°C)	P.N* (°C)	Setan Sayısı	Asit Değeri
Mısır	34,9	0,9095	39500	-1,1	-40,0	277	37,6	0,11
Pamuk	33,5	0,9148	39468	1,7	-15,0	234	41,8	0,07
Fıstık	39,6	0,9026	39782	12,8	-6,7	271	41,8	0,20
Kanola	37,0	0,9115	39709	-3,9	-31,7	246	37,6	1,14
Soya	32,6	0,9138	39623	-3,9	-12,2	254	37,9	0,20
Susam	35,5	0,9133	39349	-3,9	-9,4	260	40,2	4,96
Ayçiçek	33,9	0,9161	39575	7,2	-15,0	274	37,1	0,15
Dizel	2,7	0,8400	45343	-15,0	-33,0	52	47,0	-

Bitkisel yağlar, bazı tarım ürünlerinin meyve, çekirdek ve tohumlarının islenmesi sonucunda elde edilmektedir. Bunlar petrol esaslı yağlardan farklı kimyasal yapıya sahiptirler.

Dizel yakıtı büyük oranlarda parafinler ve aromatik bileşiklerden oluşmasına karşılık, bitkisel yağlar yağ asitlerinin gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. Bu esterlere gliserit adı verilir. Gliserin molekülünü oluşturan 3 alkol grubu yağ asitlerinin esterleşmesi ile trigliserit adını alır.

Trigliseritteki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturmaktadır. Bitkisel yağ içerikleri Çizelge 2.4.'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Bitkisel yağ içerikleri (Şeker, 2007)

Bileşenler	İçerik (%w/w)
Trigliserit	95
Serbest yağ asidi	0,3-2
Mono ve di gliserit	0,3-1
Fosfo gliserit	0,1-2
Sabunlaşmayan madde	0,5-2
Vitamin	0,1
Renk veren madde	35 ppm
Mineral, metallere	5-20 ppm
Kükürt	5-15 ppm

Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılabilir olanları; fındık, haşhaş, susam, yağ keteni, mısır özü, hintyağı, defne, ceviz, badem, ayçiçeği, aspir, soya, hurma, kolza, yer fıstığı, susam, keten tohumu, pamuk tohumu, palm tohumu ve meyvesi yağlarıdır. Bitkilerin yağlı tohum özellikleri Çizelge 2.5.'te verilmiştir.

Çizelge 2.5. Bitkilerin yağlı tohum özellikleri (Şeker, 2007)

Ürün	Yağ İçeriği (%)
Soya	17,8
Kanola	38,8
Palm meyvesi	21,0
Palm tohumu	49,1
Ayçiçeği	42,5
Yer fıstığı	42,5
Pamuk tohumu	16,2

2.7. Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Bitkisel yağlar dizel motorlarında kullanılabilen, yenilenebilir bir alternatif yakıttır. Geçmişten günümüze kadar bitkisel yağlar birçok araştırmacı tarafından dizel

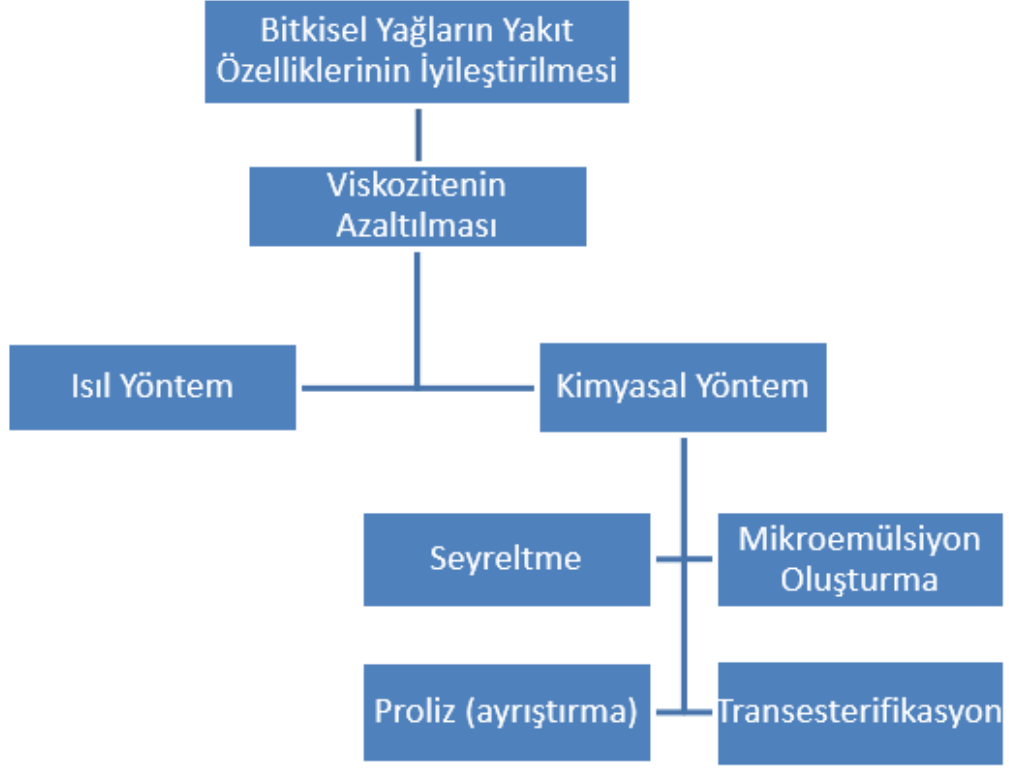
motorlarında denenmiştir. Bitkisel yağların motorlarda kullanılmasıyla birlikte birçok motor problemi meydana gelmiştir.

Bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılmasıyla birlikte nasıl bir etki meydana getirdiği maddeler halinde sıralanacak olursak:

- Duman yoğunluğu artmıştır
- Enjektörlerde karbon birikintileri meydana gelmiştir
- Piston sekmanlarında yapışmalar ve karbon birikintileri meydana gelmiştir.
- Bitkisel yağların viskozitesi yüksektir. Bu yüzden, özellikle düşük sıcaklıklarda kullanımı daha zordur. Viskozitenin yüksek olması zayıf atomizasyona sebep olmaktadır.
- İlk çalıştırma esnasında zorluk ve vuruntu meydana gelmiştir.
- Motor yağında polimerizasyon ile birlikte seyrelme meydana gelmiştir. Bu nedenle motor yağının kalitesi azalmıştır.
- Isıl değerlerinin dizel yakıtıninkine göre daha az olmasından dolayı özgül yakıt sarfıyatı artmıştır.
- Motor momentinde bir miktar düşme görülmüştür. (Alptekin, 2007).

2.8. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi

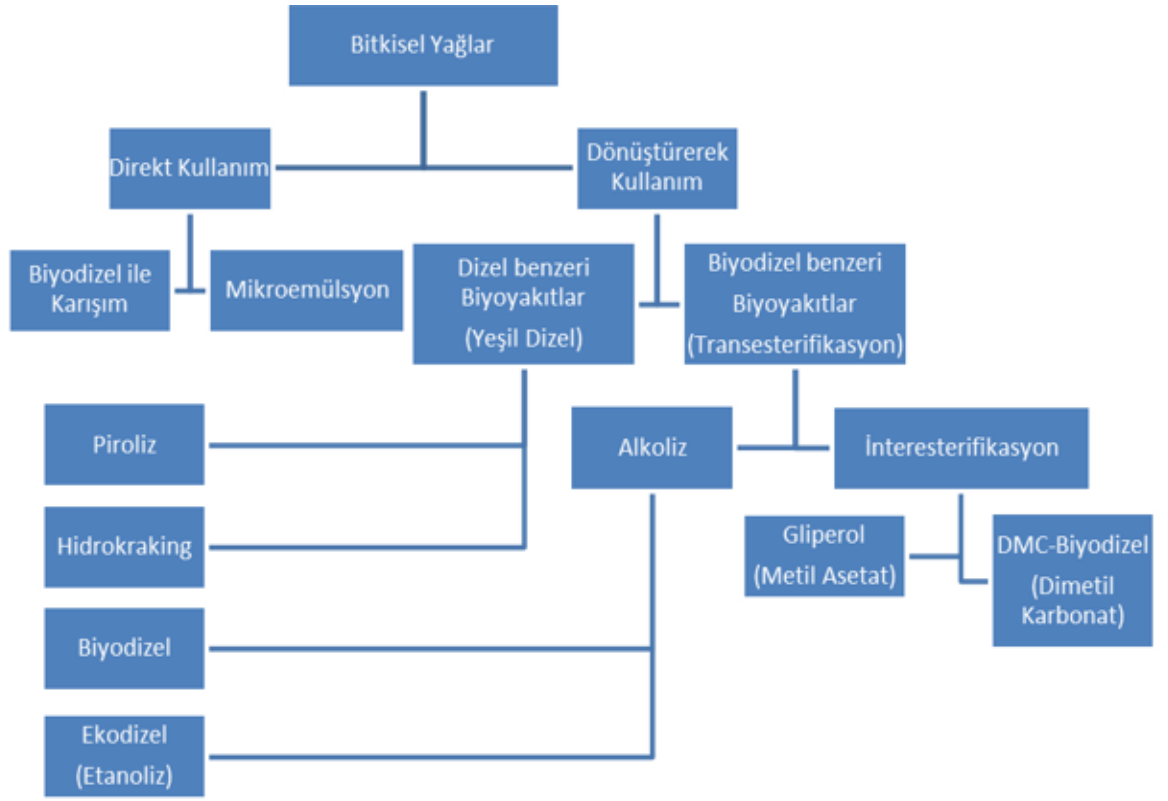
Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar, öncelikle yağların viskozitelerini azaltmaya yöneliktir. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal yöntem olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. İyileştirme yöntemleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi

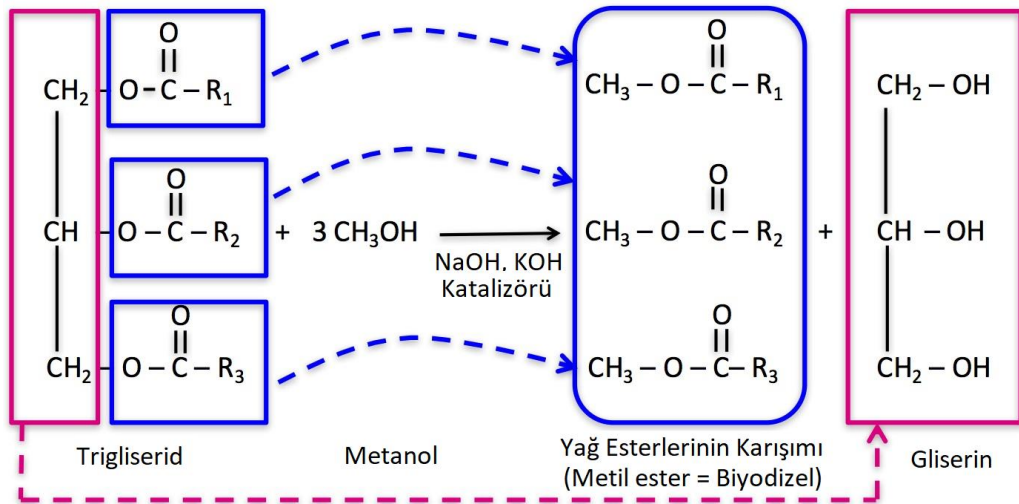
Bu yöntemlerden en çok kullanılanı transesterifikasyon yöntemidir. Transesterifikasyon, bir trigliserit molekülünün bir alkol ve katalizör eşliğinde reaksiyona girerek, gliserin ve yağ esterleri üretmesi sürecidir. Biyodizel olarak adlandırılan monoesterler, bitkisel veya hayvansal yağların transesterifikasyonu ile üretilir.

Bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılmasına engel olan en büyük nedenlerden biri olan viskozite, transesterifikasyon reaksiyonu sonucu üretilen biyodizel ile birlikte yaklaşık 10 kat azalır. Yoğunluk ise biraz düşer. Bunun yanı sıra molekül ağırlığı, yağın molekül ağırlığının üçte birine iner. Uçuculukta da bir miktar iyileşme meydana gelir. Böylelikle bitkisel yağların özellikleri dizel yakıtına daha da yaklaşmış olur.



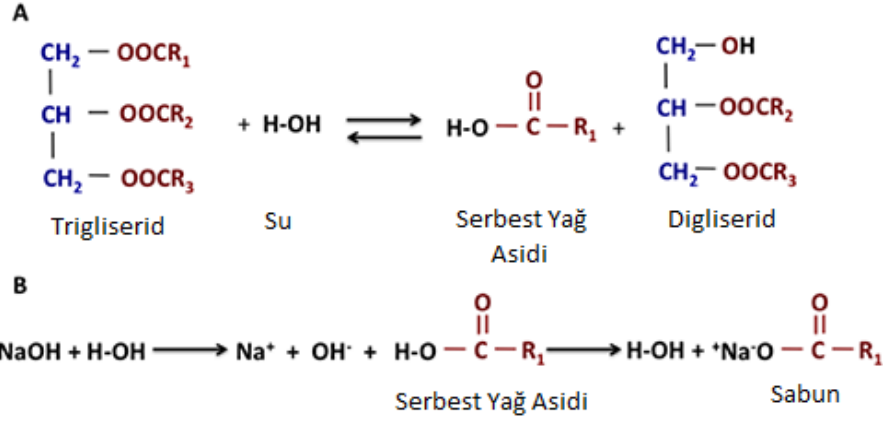
Şekil 2.3. Bitkisel yağın farklı yöntemler ile biyoyakıtta dönüşümü

Bu yöntemlerden en basiti bitkisel yağı herhangi bir işlemten geçirmeden yakıt olarak kullanmaktadır. Bitkisel yağın yüksek viskozitesi dizel motorlara zarar verdiği için kullanılmamaktadır (Kösekuş, 2017).



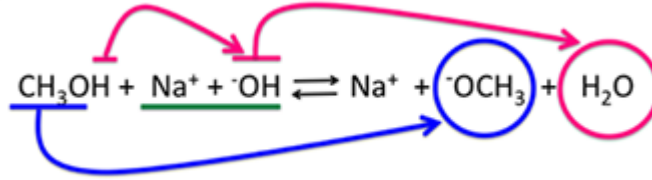
Şekil 2.4. Bitkisel yağlardan metanol ve potasyum hidroksit kullanılarak transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimi

Biyodizel üretiminde en yaygın olarak kullanılan alkol metanoldür. Diğer alkollere göre daha iyi sonuç vermesi ve maliyet avantajı, metanolü ön plana çıkarmaktadır. Bunun yanı sıra etanol, izopropil alkol ve bütül alkol gibi farklı alkoller de kullanılabilir (Alptekin, 2007).



Şekil 2.5. Trigliseridin yan reaksiyonu

Trigliseridin transesterifikasyon reaksiyonu sırasında oluşan yan reaksiyon Şekil.2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Metoksit çözeltisinin oluşumu (Anonim, 2018)

Katalizör çözeltisi olan metoksit çözeltisinin oluşum reaksiyonu Şekil 2.6 'da gösterilmiştir.

2.9. Kolza Bitkisi

Kolza bitkisi, bitkisel yağ kaynağı olarak ülkemize II. Dünya Savaşı sırasında Bulgaristan ve Romanya'dan gelen göçmenler vasıtasıyla girmiştir. İlk üretim alanı olarak Trakya Bölgesi olmuştur.

Kolza bitkisi ülkemizde uygun iklim koşullarına sahip Trakya'da, Karadeniz, İç Anadolu, Ege, Çukurova, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu ve Güney Marmara'da rahatlıkla yetiştirilmektedir.

Kolza, içeriğinde % 40-50 yağ ve % 15-24 protein oranı bulunan önemli yağ bitkilerinden biridir. Kolza yağında oleik ve linoleik asit miktarı yüksek değerlerde bulunur. Ayrıca kolza yağı kaynama noktası yüksek bir bitkidir. Ortalama 1 kg kolza tohumdan yaklaşık 450 gram yağ elde edilmektedir. Kolza yağının metanol ile reaksiyondan sonra biyodizel yakıt elde edilmektedir. Küspesi içerdiği % 38-40 oranındaki protein ile hayvan beslemesinde önemli bir yer tutmaktadır.

Yabancı çeşit kolzalarda bulunan erusik asit ve glikosinolat maddeleri toksik maddeler olup ıslah yöntemleri ile ortadan kaldırılmış, böylece kolza bitkisel yağ olarak kullanım imkânı bulmuştur.

Rapiska, rapitsa, kolza isimleriyle de bilinir. Ancak kolza ürününün yağında insan sağlığına zararlı erüsik asit, küspesinde de hayvan sağlığına zararlı glukosinolat bulunması nedeniyle 1979 yılında ekimi yasaklanmıştır.

Kanola (*Brassica napus*) ise kolzanın ıslahı sonucu elde edilmiş, canlılara zararlı olarak erüsik asit ve glukosinolat içeren bir bitki türüdür. Yağı, bitkisinin aksine, zararlı olmadığından insanlar ve çiftlik hayvanları için gıda maddesi olarak kullanılmaktadır.

Kanola yağının, tıpkı soya fasulyesi yağında olduğu gibi, gıda dışı kullanım alanları da vardır. Spot piyasalardaki fiyatının durumuna göre mum, ruj, sanayi yağları, gazete mürekkebi, biyoyakıt gibi ürünlerin üretiminde yenilenemez petrol bazlı yağların yerini alabilmektedir (Anonim, 2017).

2.10. Türkiye'deki Ekim Alanları

Kanolanın yetişmesi için en uygun iklim koşulları Ege, Akdeniz, Marmara ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde hükûm sürmektedir. Türkiye'de 1950 yılından 2005 yılına kadar olan dönemde en düşük ekim alanına sahip olan ürün kanoladır.

Kanola en yüksek ekim alanına 1980 yılında ulaşmıştır. Üretimine yasaklanmasının ardından ekim alanları daralmıştır.

2005 yılında ekim alanı genişlemeye başlamıştır. Yıllar itibariyle kanolanın ekim alanları ile hasat alanları arasında paralellik bulunmaktadır (Günay, 2017).

2.11. Kanola Yağının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kolza tohumlarının yağ miktarı % 40-45 arasında değişmektedir. Kolza tohumunun bileşimi Çizelge 2.6' da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Kolza (Kanola) tohumunun bileşimi

Bileşim	Yüzde
Su	%5,4 - %7,2
Yağ	%40 - %45
Protein	%19 - %20
Azotsuz ekstrakt	%16,8 - %20,7
Ham lifler	%4,4 - %5,9
Kül	%3,5 - %4,5

Genel olarak kolza yağı, % 20-55 gibi yüksek orandaki erüsik asit içeriği ile bilinen bitkisel kaynaklı bir yağ çeşididir. Ancak tohum ıslah çalışmaları ile erüsik asit içeriği % 0.1 değerine kadar düşürülebilmektedir. Bu tohumlardan elde edilen yağlar kanola yağı olarak bilinmektedir (Anonim, 2017).

2.12. Biyodizel ve Üretim Yöntemleri

Biyodizel gelecekte dizel yakıtının yerini alabilecek, yenilenebilir, toksin etkisi olmayan, doğada kolay bozunabilir bir yakıttır. Bunun yanı sıra biyodizelin, yakıt özellikleri bakımından dizel yakıtına göre birçok avantajı vardır.

Biyodizel yakıt kullanma fikri, yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenmesinden etkilenen dünya ülkelerinin alternatif enerji kaynakları bulmaya ve geliştirmeye başladığında ortaya çıktı. Petrol yakıtlarına veya fosil yakıtlara yüksek bağımlılık, fiyat ve arz konusunda belirsizliğe neden olmuştur. Fosil yakıtların yerine geçebilecek bazı alternatif kaynaklar su, güneş ve rüzgar enerjisi ile biyoyakıttır.

Biyodizel için artan talep, konvansiyonel fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan emisyonların çevre etkilenimi ve yerli petrol üretimindeki düşüşün farkındalığından da kaynaklanıyor (Nurull ve Rozaimah, 2015).

2.13. Biyodizelin Özellikleri

Biyodizel orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Biyodizeli oluşturan C16-C18 metil esterleri doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur, 10.000 mg/l 'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suya bırakıldığında biyodizelin 28 günde % 95'i, motorinin ise %40 'ı bozunabilmektedir. Biyodizelin doğada bozunabilme özelliği dekstroza (şeker) benzemektedir.

Biyodizelin olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel için ağızda alınmada öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1,75 g tuz/kg vucüt ağırlığı olup, tuz biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyodizelin ciltte %4 'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizel toksik olmamasına karşın, biyodizel ve biyodizel-motorin karışımlarının kullanımında; motorin için zorunlu olan standart koşulların kullanılması önerilmektedir (Şeker, 2007).

2.14. Avantajları Dezavantajları

Biyodizel orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil ester tipi bir biyoyakıttır. Oksijene zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli motorinden ayırır.

Avantajları

- Çevre dostudur.
- Yenilenebilir hammaddelerden elde edilebilir.
- Atık bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilebilir.
- Anti-toksik etkilidir.
- Biyolojik olarak hızlı ve kolay bozunabilir.
- Kanserojenik madde ve kükürt içermez.
- Yüksek alevlenme noktası ile kolay depolanabilir, taşınabilir ve kullanılabilir.

- Yağlayıcılık özelliği mükemmeldir.
- Motor ömrünü uzatır.
- Motor karakteristik değerlerinde iyileşme sağlar.
- Kara ve deniz taşımacılığında kullanılabilir.
- Isıtma sistemleri ve jeneratörlerde kullanıma uygundur.
- Mevcut dizel motorlarında hiçbir tasarım değişikliği gerektirmeden kullanılabilir.
- Ticari başarıyı yakalamış bir yeşil yakıttır.

Dezavantajları

- Yüksek jellesme noktasına sahiptir. B100 (%100 biyodizel) için 32 °F iken B20 (%20 biyodizel + %80 motorin) için -15 °F'dır.
- NOx emisyonları biraz yüksektir.
- Biyodizel, 1996 yılı öncesi üretilen araçların bazı plastik aksamlarıyla etkileşebilir.
- Biyodizel kullanmadan önce araç depoları iyice temizlenmelidir (Şeker, 2007)

2.15. Kullanım Alanları

Biyodizel; motorin, jet yakıtı, gaz yağı, fuel oil içindeki hacim yüzdesi miktarına (X) göre; BX şeklindeki adlandırılma ile yakıt pazarında bulunmaktadır. Biyodizel: motorin katkı maddesi (B1, B2, B5), motorin ile harmanlanarak (B20, B50, B80, vb), doğrudan motor biyoyakıtı (B100) şeklinde kara ve deniz taşıtlarında, iş makinalarında, türbinlerde, jeneratörlerde ve ısıtma sistemlerinde kullanılabilir.

2.16. Dünya Ülkelerindeki Durumu

Dizel motorunun mucidi Rudolf Diesel ilk kez, 10 Ağustos 1893'te Ausburg Almanya'da motorunun denemesini gerçekleştirmiş ve ardından 1898 yılında Paris Dünya Fuarı'nda yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanan motorunu sergilemiştir.

İlk biyodizel üretimi 1988 yılında, 500 ton/yıl kapasite ile bir çiftçi kooperatifince, ilk endüstriyel ölçekteki biyodizel üretimi de 10.000 ton/yıl kapasite ile Avusturya'da gerçekleştirildi. 1990'lı yıllardan itibaren biyodizel dünya üretimi artarak ilerlemektedir.

Biyodizel üretimi, 1991 -1996 yılları arası 50.000 ton/yıl iken, 2003 yılı sonunda yılda 2,8 milyon tona ulaşmıştır.

Dünyada biyodizel üretimi yapan başlıca ülkeler Brezilya, Macaristan, Finlandiya, İspanya, Danimarka, Polonya, Slovakya, İtalya, Tayland, Hindistan, İrlanda, Yunanistan, Belçika, Norveç, İsveç, Malta, İngiltere, Almanya, Fransa, Avusturya, Kanada, ABD ve Avustralya'dır. Almanya'da biyodizel (450.000 ton/yıl kapasite) 1.500'den fazla istasyonda satışa sunulmuştur ve dizelden daha ucuzdur. Fransa'da tüm dizel satışları %2-5 arasında biyodizel içermektedir, kapasite 300.000 ton/yıl'ın üzerindedir.

Almanya ve Fransa dünyanın en büyük biyodizel üreticisi olmakla birlikte şehir içi ulaşımda B100 kullanımıyla ilgili olarak ilk ticari uygulamayı başlatan Japonya (Kyoto'da) olmuştur. Bu uygulama, kısa sürede 81 belediye otobüsünde B20 kullanımının sağlanmasıyla genişletilmiştir. Avusturya'da benzine % 2 oranında katılması devlet tarafından tavsiye edilmekte ve vergi alınmamaktadır.

Çek Cumhuriyeti'nde küçük işletmelerden oluşan 70.000 ton/yıl kapasite mevcuttur ve benzin istasyonlarında B70 harmanı "biyonafta" adıyla satışa sunulmaktadır. İtalya'da hükümet yüz binden fazla nüfusu olan belediyelerde alternatif enerji kaynaklı kullanımı tavsiye etmektedir. Belçika'da 240, Danimarka'da 30, İspanya'da ise 50.000 ton/yıl'lık biyodizel üretim kapasitesi söz konusudur.

Amerika'da üretimde soya yağı kullanımı esas alınmaktadır. İngiltere'de ise yasal olarak biyodizel satışı bulunmasına rağmen yasal bir vergilendirme söz konusu değildir (Şeker, 2007).

2.17. Türkiye'deki Durumu

Biyodizel için ASTM D 6751 Amerikan ile EN 14213 ve EN 14214 Avrupa Birliği standartları yürürlüktedir. Kapasite raporu yaptırmış üreticilerin illere göre sayısı Çizelge 2.7.'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Kapasite raporu yaptırmış üreticilerin illere göre sayısı

İl	Toplam Kapasite (ton)	Toplam Üretici Sayısı
Adana	367.141	25
Afyon	42.483	9
Ankara	265.464	42
Balıkesir	278.380	13
Bursa	77.710	8
Denizli	16.999	6
Diyarbakır	76.548	9
Gaziantep	295.768	24
Hatay	240.130	11
İçel	227.224	16
İstanbul	176.996	15
İzmir	146.933	25
Kırşehir	14.752	5
Kocaeli	330.413	14
Konya	113.277	9
Malatya	14.726	9
Manisa	12.065	5
Kahramanmaraş	113.088	4
Samsun	19.355	4
Tekirdağ	269.294	8
Şanlıurfa	92.038	14
Batman	82.301	6

Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığından yayımlanan: Bitkisel Üretime Destekleme Ödemesi Yapılmasına Dair Tebliğ (Tebliğ No: 2017/39); 18/4/2006 tarihli ve 5488 sayılı Tarım Kanununun 19 uncu maddesi ile 5/6/2017 tarihli ve 2017/10465 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile yürürlüğe konulan 2017 Yılında Yapılacak Tarımsal Desteklemelere İlişkin Karara dayanılarak hazırlanmıştır.

Tebliğin 8. maddesinin 2.bendinde; Türkiye Tarım Havzaları Üretim ve Destekleme Modeli kapsamında desteklenen; yağlık ayçiçeği, kütlü pamuk, soya fasulyesi, kanola (kolza), aspir, dane mısır, buğday, arpa, çavdar, yulaf, tritikale, çeltik, kuru fasulye, mercimek, nohut, çay, fındık, yem bitkileri, patates ve kuru soğan ürünlerinin dışında kalan diğer bütün ürünlere, “Diğer Ürünler” kategorisinde belirtilen miktar kadar mazot ve gübre destekleme ödemesi yapılır. Ayrıca Yurt İçi Sertifikalı Tohum Kullanım Desteği hesabında da Kanola için 0,4 kg/da desteklemeye tabii tarım arazisi alanı hesap oranı vardır.

Kanola için 9 TL/da mazot, 4 TL/da gübre desteği, 10 TL/da organik tarım desteği, yurtiçi sertifikalı tohum desteği 1,2 TL/da devlet desteği bulunmaktadır (Anonim, 2017).

2017 yılında benzinden litre başına 2.5 TL, dizelde ise litre başına 1.8 TL ötv alınmaktadır. Yakıt biyodizeli ise ÖTV’den muaf tutulmuştur (Anonim, 2017).

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumundan yayımlanan Motorin Türlerine Biodizel Harmanlanması Hakkında Tebliğe göre ‘‘Dağıtıcı lisansı sahipleri tarafından, bir takvim yılı içerisinde, ithal edilen ve kara tankeri dolun üniteleri hariç rafinericiden temin edilen motorininin toplamına, en az %0,5 (V/V) oranında yerli tarım ürünlerinden ve/veya bitkisel atık yağlardan üretilmiş biodizelin harmanlanmış olması zorunludur.’’ Anonim (2017) hükmüne göre 01.01.2018 tarihi itibariyle hacimce yüzde 0,5 oranında biyodizel katılması zorunluluğu getirilmiştir.

2.18. Biyodizel Üretim Yöntemleri

2.18.1. Seyreltme yöntemi

Bitkisel yağlar belli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak seyreltilmekte böylece viskozite değeri belli oranlarda düşürülmektedir.

Seyreltme yöntemi uygulamalarında en çok tercih edilen bitkisel yağlara örnek olarak, ayçiçeği yağı, soya yağı, aspir yağı, kolza yağı, yer fıstığı yağı, kullanılmış kızartma atık yağları sayılabilir.

2.18.2. Piroliz yöntemi

Piroliz hava veya azot varlığında termal enerji uygulanması sonucu ortaya çıkan kimyasal değişim olarak tanımlanır. Günümüze kadar yapılan çalışmalar; sıcaklığın

elde edilen ürün üzerindeki etkisi, katalizör kullanımı, çoğunlukla metalik tuzlar, hidrokarbon kökenli dizel yakıtında bulunanlara benzer parafin ve olefin elde etmek, termal ayrışma ürünlerinin tamamlanması gibi konuları içermektedir.

Trigliseridlerin termal ayrışma ürünleri alkanlar, alkenler, alkadienler, aromatikler ve karboksilik asitler gibi bileşik sınıflarını içermektedirler. Farklı bitkisel yağların termal ayrışma ürünleri birbirlerinden çok farklıdır. Trigliseridler farklı moleküllerden oluştukları için termal ayrışma mekanizmaları da karışıktır.

2.18.3. Mikroemülsiyon yöntemi

Metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle bitkisel yağın mikroemülsiyon haline getirilme işlemidir. Böylece viskozite değeri düşmektedir. Bu yöntemin sakıncası, alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle emülsiyonun setan sayısının düşük olması ve düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğilimi göstermesidir.

2.18.4. Transesterifikasyon yöntemi

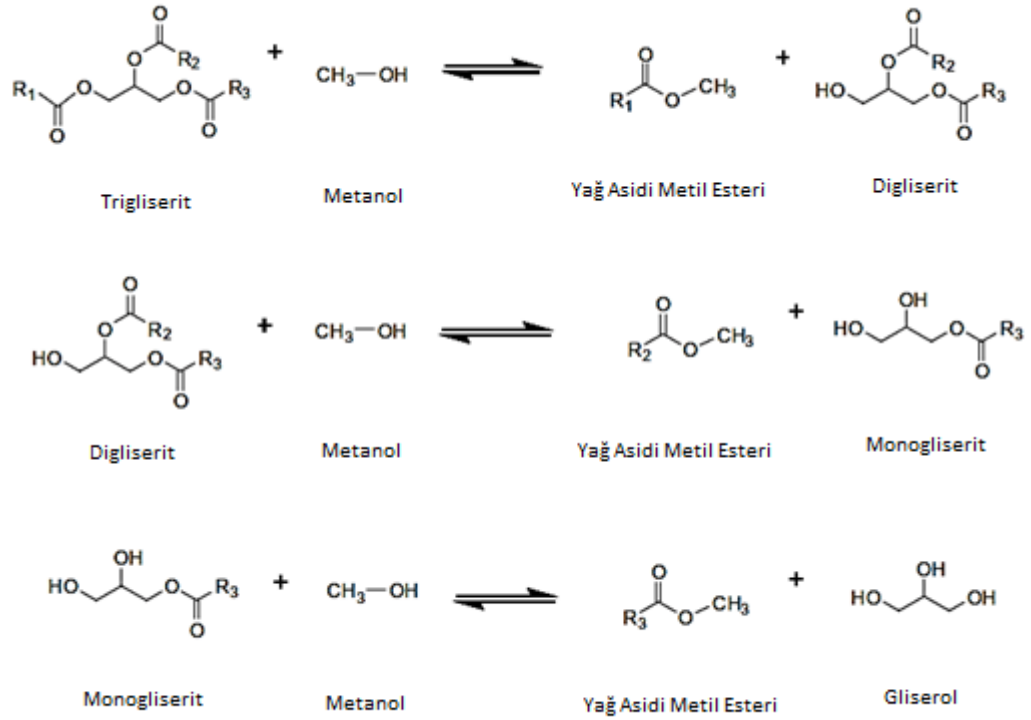
Biyodizel üretimin en yaygın yolu transesterifikasyondur. Transesterifikasyon bir esterin dönüştürülmekte olduğu önemli organik reaksiyonların sınıfı alkoksit gruplarının değişimi ile diğerine dönüştürülmesini tanımlamak için kullanılan genel terimdir. Tüm alternatifler arasında transesterifikasyon bu süreç için nispeten basit olduğu için en iyi seçim olarak düşünülür (Gomes ve Sanos, 2015).

Bitkisel yağlardan transesterifikasyon reaksiyonu (alkoliz) ile biyodizel elde edilmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, mono hidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir.

Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak digliseridiler ve monogliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak kolza, ayçiçeği, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum veya potasyum hidroksit) tercih edilmektedir. Hayvansal yağlar da biyodizel üretiminde kullanılabilir.

Üretim teknolojisinde zorluk bulunmamaktadır. Üretimdeki en önemli nokta biyodizelin saflık derecesidir. Bu nedenle rafinasyon aşaması önem kazanmaktadır.

Yağ asitlerin doğrudan esterifikasyonu yöntemi ile yağ asitleri, alkolle asidik karakterli homojen veya heterojen katalizör etkisiyle yağ asidi esterlerine dönüşmekte ve biyodizel yanında su da açığa çıkmaktadır. Su, yağ asidi esterlerine nazaran daha fazla uçucu olduğundan reaktörden herhangi bir yöntemle uzaklaştırıldığında oldukça yüksek miktarda dönüşmeler elde etmek bu yöntemle mümkün olabilmektedir.



Şekil 2.7. Transesterifikasyon reaksiyon basamakları (Obie ve Takashi, 2014)

Biyodizelin transesterifikasyon ile üretilmesinde yaygın olarak yağların metanol ve etanol ile bazik katalizör varlığında reaksiyonuna sokulması tercih edilir.

Çünkü baz katalizör kullanıldığı zaman, reaksiyon asit katalizör kullanmaya oranla çok daha kolay ve ekonomik olarak gerçekleşebilir. Baz katalizör kullanılan durumlarda kullanılacak yağın, temiz, kuru ve serbest asit oranının düşük olmasına dikkat edilmelidir.

Reaksiyonda en çok kullanılan bazik katalizörler NaOH ve KOH'in metanol veya etanoldaki çözeltisidir.

NaOH veya KOH'in (toplam kütlelerin %0,5-1' i kadar) metanoldeki çözeltisi reaksiyonu çok iyi katalizlediği için ve ayrıca kullanılan katalizör miktarı çok az olduğundan bu reaksiyonda oluşan su, transesterleşme reaksiyonunda olumsuz bir

etki yapmaz. Ancak ortamdaki su miktarı artarsa veya ortamdaki tüm katalizörü derhal sabunlaştıracak kadar serbest asit varsa, transesterleşme ile yarışma halinde olan sabunlaşma reaksiyonu hâkim hale gelir ve tüm katalizör sabun haline geçer. Bu durumda reaksiyon hızında azalma ve bunun sonucunda da yetersiz transesterleşme olur. Bunun sonucunda ortamda oluşacak olan mono ve digliseridler kuvvetli emülsiyon oluşmasına sebep olurlar ve safsızlıkların yıkanarak uzaklaştırılması zorlaşır. Sonuçta ürün kalitesi ve verimi olumsuz etkilenir.

Asidik katalizörler ise hammaddenin yağ değil yağ asitleri olduğu durumlarda kullanılmaktadırlar. Bu durumda gerçekleşecek olan doğrudan esterleştirme reaksiyonlarının yüksek enerji gereksiniminin olması ve yağ asitlerinin yağlara oranla daha pahalı olması nedeniyle asit katalizörün kullanımı sonucu elde edilen biyodizelin birim maliyet fiyatı daha yüksek olur. Ayrıca reaksiyonda kullanılan kuvvetli asit nedeniyle korozyon kaçınılmazdır ve bu nedenle pahalı ekipmanlara gerek vardır. Bu yöntem ancak ucuz yağ asidi kaynakları bulunması durumunda geçerli olabilir.

Biyodizel olarak daha çok metil esterleri kullanılır. Bunun sebeplerinden biri NaOH ve özellikle KOH'in metanolde daha kolay çözülmesi diğeri ise etanolun higroskopik oluşu nedeniyle tamamen susuz olarak üretilmesinin zorluğudur. Bu nedenlerle metil esterlerin üretilmesi daha kolay olmaktadır (Yurdaarman, 2009).

Üretilen biyodizel tam olarak saflaştırılmadığı takdirde, motorun ömrünü azaltır. Bu yüzden saflaştırma kademesi biyodizel üretiminde en önemli kademedir. Saflaştırılmamış biyodizel bazı safsızlıklar içerir: serbest gliserin, sabun, metal iyonları, metanol, serbest yağ asitleri, katalizör, su ve gliseridler. Saflaştırılmamış biyodizelde bulunan safsızlıkların motor, motor performansı ve emisyonla olan etkileri Çizelge 2.8 'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.8. Biyodizeldaki safsızlıklar ve etkileri (Yılmazçoban, 2012)

Safsızlık	Etkisi
Serbest yağ asitleri	Korozyon
Su	Hidroliz (yağ asidi teşekkülü) Korozyon
Metanol	Bakteriyel büyüme (filtre blokajı) Yoğunluk ve viskozitenin düşmesi Alevlenme noktasının düşmesi Al ve Zn parçaların korozyonu
Gliseridler	Yüksek viskozite Enjektörlerde birikme Kristallenme
Sabun ve katalizör	Enjektörlerde birikme Filtre blokajı (sülfatlı küller) Motorda güç kaybı
Gliserin	Çökme problemleri Emisyonda aldehit ve akrolein (CH ₂ =CH-CHO) oluşumu

Asit ve baz katalizörlerin denge reaksiyonlarını karşılaştırdığımızda;



şeklindedir.

Asit katalizörleri olarak genellikle sülfürik asit, hidroklorik asit, fosforik asit ve p-toluensülfonik asit kullanılır. Baz katalizör olarak ise sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, sodyum metoksit, sodyum etoksit, sodyum persoksit yaygın olarak kullanılır.

Heterojen katalizör olarak ; metal oksitler (CaO, MgO,..) İyon değiştirici reçineler (Amberlyst-15, Naflon-NR50), Zeolitler (NaX, NaY), Enzimatik katalizörler, metal kompleks katalizörler (Zirkonyum sülfat) kullanılabilir.

2.19. Transesterifikasyon Yöntemi İle Üretim



Şekil 2.8. Transesterifikasyon yöntemi işlem basamakları

Baz (alkali) katalizli transesterifikasyon, asit katalizliye göre daha hızlı ve yüksek verimlidir; ara basamaklara gerek duymaz. Günümüzde en çok tercih edilen yöntemdir. Katalizör miktarının yetersizliği veya fazlalığı sabunlaşmaya yol açmaktadır.

2.19.1. Alkol ve katalizörün karıştırılması

Katalizör tipik olarak sodyum hidroksit veya potasyum hidroksittir. Katalizör standart bir karıştırıcı ve mikser kullanılarak alkol içerisinde çözünür (Yurdaarman, 2009). Bu işlem yapılırken alkolün ortamdaki uzaklaşmamasına dikkat edilir.

2.19.2. Reaksiyon

En yaygın biyodizel üretme yolu, özellikle alkali katalizörlü transesterifikasyon yoluyla'dır. Homojen, heterojen katalizör reaksiyon sırasında kullanılmaktadır, heterojen katalizörler biyodizel için kapsamlı olarak deneniyor çünkü tekrar tekrar kullanılabilir özellikte olanları mevcuttur (Sadia vd. 2015)

Alkol/katalizör karışımı kapalı reaksiyon kabı içerisine doldurulur ve bitkisel veya hayvansal yağ ilave edilir. Daha sonra alkol kaybını önlemek amacı ile sistem tamamen atmosfere kapatılır. Reaksiyon karışımı, reaksiyonu hızlandırmak amacı ile belli bir sıcaklıkta tutulur ve reaksiyon gerçekleşir. Önerilen reaksiyon süresi 1 ile 8 saat arasında değişmektedir. Hayvansal veya bitkisel yağların kendi esterlerine tamamen dönüştürülmesinden emin olunmasını sağlamak için normal olarak fazla alkol konulur (Yurdaarmağan, 2009).

2.19.3. Gliserinden ayırma

Reaksiyon tamamlandıktan sonra iki ana ürün gliserin ve biyodizeldir. Her biri reaksiyonda kullanılan miktardan arta kalan önemli miktarda metanol içerir. Gerek görülürse bazen reaksiyon karışımı bu basamakta nötrale edilir. Gliserin fazının yoğunluğu, biyodizel fazınınkinden çok daha fazla olduğundan bu iki faz gravite ile ayrılabilir ve gliserin fazı çöktürme kabının dibinden kolayca çekilebilir. Bazı durumlarda bu iki malzemeyi daha hızlı ayırmak amacıyla santrifüj kullanılır (Yurdaarmağan, 2009).

2.19.4. Yıkama sabunundan uzaklaştırma

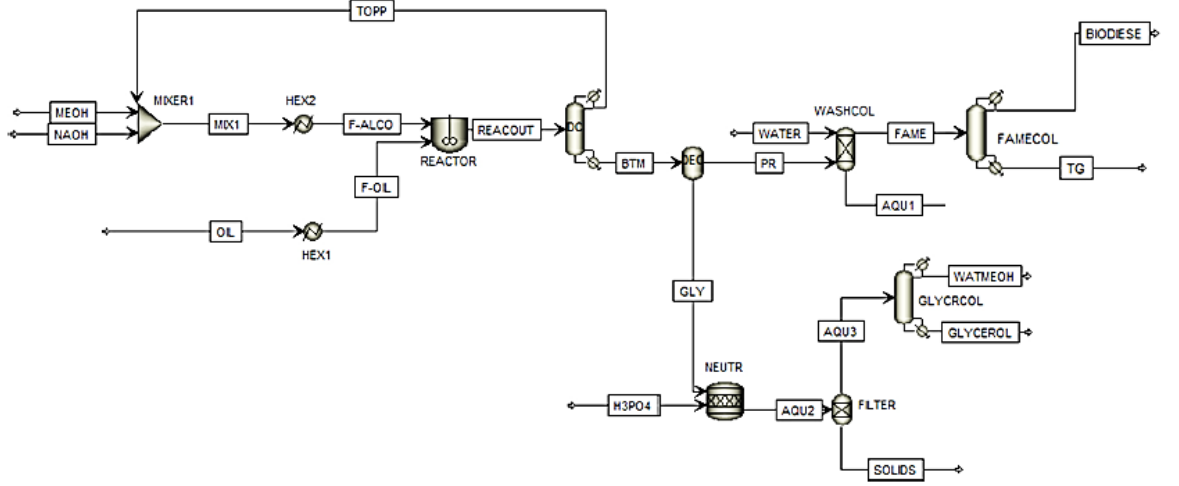
Gliserinden ayrıldıktan sonra biyodizel bazen kalıntı katalizör ve sabunları uzaklaştırmak amacı ile ılık su ile yavaşça yıkanır, suyu uzaklaştırılır ve depolamaya gönderilir (Yurdaarmağan, 2009).

2.19.5. Alkolün uzaklaştırılması

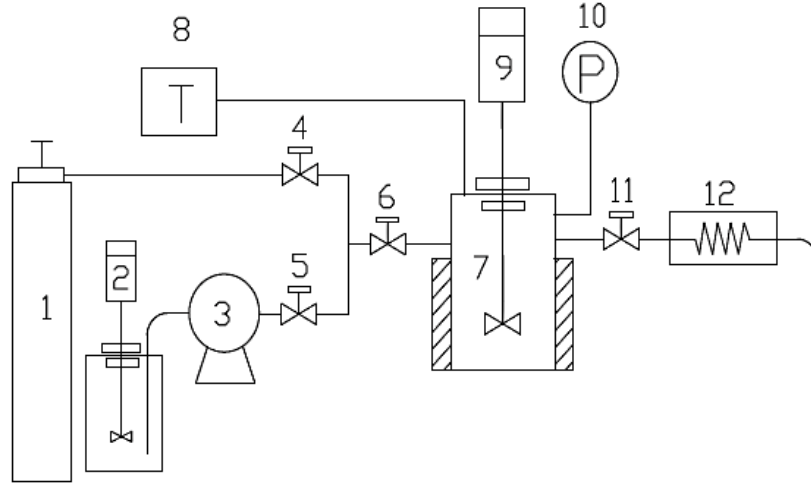
Gliserin ve biyodizel fazları ayrıldıktan sonra her bir fazdaki fazla alkol bir flaş buharlaştırma veya destilasyon prosesi ile uzaklaştırılır. Geri kazanılan alkol akımı içerisinde su birikimi olmadığından emin olunmalıdır (Yurdaarmağan, 2009).

2.20. Homojen Katalizör Kullanımı İle Biyodizel Üretim Prosesi

Homojen katalizör varlığında biyodizel üretiminin şematik gösterimi Şekil 2.9 'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Katalizörlü biyodizel üretim şeması (Farid ve Kiatkittipong, 2015)



Şekil 2.10. Sürekli sistem biyodizel üretiminde reaktörün mekanik gereksinimleri (Cheng vd, 2015)

Şekil 2.10 'da numaralandırılan makine elemanları aşağıdaki gibidir;

- 1- N₂ silindiri, 2- Manyetik karıştırıcı, 3- Yüksek basınçlı sıvı pompası, 4- Gaz kontrol vanası, 5- Sıvı kontrol vanası, 6- Kontrol vanası, 7- Reaktör, 8- Sıcaklık kontrolörü, 9- Mekanik karıştırıcı, 10- Basınçmetre, 11- Örnek alma vanası, 12- Örnek soğutucu

2.21. Biyodizelin Teknik Özellikleri

Biyodizele Avrupa Birliğinde uygulanan standart TS EN 14214 değerleri şu şekildedir.

Çizelgeler 2.9. TS EN 14214 Biyodizel standardı

Özellik	Birim	En az	En çok	Test Metodu
Ester içeriği	% (m/m)	96,5	-	EN 14103
Özgül ağırlık, 15 °C	kg/m ³	860	900	EN ISO 12185
Kinematik viskozite, 40°C	mm ² /s	3,50	5,00	EN ISO 3104
Parlama Noktası	°C	120	-	EN ISO 3679
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10	EN ISO 20846
Karbon kalıntı	% (m/m)	-	0,30	EN ISO 10370
Setan sayısı		51	-	EN ISO 5165
Sülfat kül içeriği	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Su içeriği	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakir şerit korozyonu	-	1		EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı 110°C	Saat	6,0	-	EN 14112
Asit değeri	mg KOH/g	-	0,5	EN 14104
İyot değeri	g iyot/100 g	-	120	EN 14111
Linolenik asit metil esteri	% (m/m)	-	12	EN 14103
Yüksek doymamış (>4 çift bağ)	% (m/m)	-	1	
Metanol içeriği	% (m/m)	-	0,20	EN 14110
Monoglisericid içeriği	% (m/m)	-	0,80	EN 14105
Diglisericid içeriği	% (m/m)	-	0,20	EN 14105
Triglisericid içeriği	% (m/m)	-	0,20	EN 14105
Serbest gliserol	% (m/m)	-	0,02	EN 14105
Toplam gliserol	% (m/m)	-	0,25	EN 14105
Fosfor içeriği	mg/kg	-	10	EN 14107

2.21.1. Yoğunluk

Bitkisel yağların yoğunluğu, genellikle yağ çeşidine göre değişmesine rağmen 15°C’de 880-920 kg/m³ gelmektedir. Bu belirleme DIN EN ISO 3675 veya DIN EN ISO 12185 ‘e göre yapılmaktadır. Elde edilen biyodizelin yoğunluğu ise yağa göre düşmekte ve 880-900 kg/m³ motorinin seviyesine inebilmektedir.

Yanma odası içindeki hava-yakıt oranı ile enerji içeriği yakıt yoğunluğuna büyük ölçüde bağlıdır.

Dizel motor genel olarak, biyodizelin yoğunluğunun petrol dizelinden daha yüksek olmasından dolayı karışımları ile kullanılır. Diğer hammadde biyodizellerinden pirinç, kepek ve susam biyodizelleri yaklaşık aynı yoğunluğa sahiptir (Wakil ve Kalam, 2015).

2.21.2. Kinematik viskozite

Kinematik viskozite yoğunluğa benzer şekilde doğal bir özelliktir ve biyodizelin karakteristik özelliğidir. Yüksek viskozite yakıtın fakir atomizasyonuna, kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine ve yağlama yağının bozulmasına sebep olmaktadır. Yüksek viskozite pompalanabilmeyi ve enjektörlerin püskürtmesini azaltır. Viskozite sıcaklığa bağlıdır. Biyodizelin viskozite değeri 40°C 'de 3,5-6 mm²/s arasında değişmektedir.

2.21.3. Kalori değeri

Kalori değeri motorun optimum çalışması için önemlidir ve yakıt kalitesi kriteridir. Genellikle biyodizelin kalori değeri 35 MJ/kg 'dan daha büyüktür.

2.21.4. ORP değeri

Orp değeri, oksidasyon indirgeme potansiyelini gösteren bir değerdir, bu değer pozitif ve negatif olabilmektedir. Orp değeri arttıkça yakıtın oksitlendirme gücü artar, azaldıkça azalır, bu nedenle biyodizelin orp değerinin düşük olması istenir, kullanım alanlarında geçtiği boru ve motor elemanlarını oksitlendirmeye neden olmaması için önemli parametrelerden biridir.

2.21.5. Parlama noktası

Parlama noktası, yakıtların risk sınıflamasında çok önemlidir. Taşıma ve depolanma için parlama noktasının yüksek olması istenir. Dizel yakıtının parlama noktası 74°C olmasına rağmen; bitkisel yağların parlama noktası 300°C'den yukarıda, Biyodizelin parlama noktası ise 120-220°C civarındadır.

2.21.6. Soğukta akış özelliği

Biyodizel motorinden daha yüksek akma noktasına sahiptir. Bu durum yakıtların soğukta kullanımında problem çıkarmaktadır. Dizel yakıtı için soğukta filtre tıkanması veya akma noktası dizel yakıtına benzer şekilde tayin edilebilmektedir.

2.21.7. Setan sayısı

Yakıtın kendiliğinden tutuşabilirliğinin bir ölçüsüdür. Biyodizelin setan sayısı elde edildiği ham maddeye bağlı olarak EN14214 standardında min 51'dir. Motor performansı ve egzoz gazı emisyonları ile yayılan gürültü seviyesi için önemli bir karakteristik özelliktir. Setan sayısının ölçülmesi özel motorlar (sıkıştırılma oranı değiştirilebilir motor) yardımı ile olmaktadır.

2.21.8. Su içeriği

Bitkisel yağlar temelde su içermezler. Ancak bitkisel yağların üretimi ve depolanması esnasında su karışabilmektedir. Yakıtların belli oranda su içermeleri motor için bir dezavantaj değildir. Su/yakıt emülsiyon oranının uygun olması durumunda yanma sıcaklığını ve NO_x emisyonlarını azaltabilir. Ancak yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerinde su yakıttan ayrılarak enjektör sisteminde bölgesel çürümelere sebep olabilir. Bitkisel yağlar için belirlenen maksimum değer kütlenin %0,075 'i geçmemelidir.

2.21.9. PH değeri

Biyodizelin yakıt özelliklerinden biri olan pH değeri, üretim sonrası kullanımında otomobillerdeki yakıt elemanları ve motor sağlığı için önemli bir kriterdir, standart değerlerin altında veya üzerinde olması durumunda aşınmalara ve yanma veriminde düşüşe neden olur.

2.21.10. Toksik etkisi

Biyodizelin olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel tuz ile karşılaştırıldığında tuzun biyodizele oranla 10 kat daha fazla öldürücü etkiye sahip olduğu deneysel çalışmalarda ortaya konulmuştur. Biyodizelin deriye temasında %4'lük sabun çözeltisinin yarattığı kadar etkisi olduğu saptanmıştır.

Karışım olarak kullanılan biyodizelerde ise motorin için gerekli olan havalandırma ve göz koruma elemanlarının kullanımı tercih edilmelidir (Aslan, M. 2015).

2.22. Biyodizel Emisyonları

Egzoz emisyonları sera etkisi (CO₂) duman formu (HC, CD, PM, SO_x, NO_x) ve toksik PAH(Poli Aromatik Hidrokarbon), nPAH(nitratlaşmış PAH) özelliklerine göre gruplandırılmaktadır. Biyodizelin emisyon değerleri, Petro dizelle mukayese edildiğinde şu sonuçlar görülür.

- Karbondioksit(CO₂) emisyonu %80 daha azdır.
- Kükürt dioksit(SO_x) emisyonu %100 daha azdır.
- Hidrokarbon(HC) %36.73 daha azdır.
- Karbon monoksit(CO) emisyonu % 46,23 daha azdır.
- Partikül madde (PM) % 68 daha azdır.
- Azot oksit emisyonu (NO_x) aracın yaşına ve motorun devir sayısına bağlı olarak %10-18 artar.
- Toksik değer gösteren PAH % 80, nPAH ise % 90 daha azdır.

Biyodizel kullanımı, atmosferdeki CO₂ emisyonunu arttırmaz. Nitekim yapılan araştırmalar, kolza tohumunun ekiminden petrol istasyonlarına biyodizelin teslimine kadar tüm aşamaların dikkate alınması durumunda, dizel motorunda yanan biyodizelin her bir kg.ının 3 kg CO₂ tükettiğini ortaya koymuştur.

Fosil kökenli yakıt kullanımının yol açtığı aşırı CO₂ emisyonunun değeri, çevre açısından büyük bir risk oluşturduğu kabul edilmektedir. Nitekim KYOTO protokolü halen yıllık 402 milyon ton olan CO₂ emisyonunun 2010 yılında, yıllık 250 milyon tona düşürülmesini öngörmektedir. Bunun için de biyodizel kullanımının tüm dünyada yaygınlaştırılması desteklenmelidir.

Halen dünyada 200 milyon civarında dizel motoru bulunduğu, buna her yıl 20 milyon yeni motorun eklendiği düşünülürse, bu motorlarda biyodizel kullanımının ne derece önemli olduğu anlaşılır.

Biyodizelin emisyon değerlerinin olumlu olması yanında, özellikle parlama noktasının yüksekliğinden kaynaklanan “Tehlikeli Madde” olmama özelliği de, çevre açısından önemlidir. Avrupa Birliğinin ilgili normlarına göre, biyodizel “Tehlikeli Madde” kapsamında yer almamaktadır.

Hatta Petro dizelin tankerlerle istasyonlara taşınması esnasında, tehlike riskini azaltmak için içerisine belli oranda Biyodizel karıştırılması istenmektedir. Ayrıca deniz taşımacılığında biyodizel kullanımı denizdeki canlı hayatını korumak açısından önemlidir (Yurdaarmağan, 2009).

2.23. Biyodizelin Depolanması ve Taşınması

Biyodizel taşıma ve depolama açısından da güvenlidir. Ancak biyodizelin kara yolundaki asfaltı yumuşatma ve eritme etkisi vardır, bu nedenle depolara ve tanklara biyodizel doldurulurken dikkatli olunmalıdır. Petrodizelin taşınması sırasında güvenliğini artırmak amacıyla içerisine belli oranda biyodizel karıştırılması uygulamaları yapılmaktadır. Biyodizelin depolanmasında herhangi bir sorunla karşılaşmaz.

Biyodizel soğuk iklim şartlarında depolama kurallarına uymak şartı ile en az 6 ay süreyle depolanabilir. Depolama için petrodizelin depolandığı tanklar ve ortamlar kullanılabilir. Depolama yapmadan önce, depolama tankında eğer su varsa bu uzaklaştırılmalıdır. Ayrıca depolama tankındaki, bakır, pirinç ve bronz malzemeler çelik ya da alüminyum olanlarla değiştirilmelidir.

Uzun süreli depolanmış biyodizelin, kullanımından önce pH'sı test edilmeli ve pH'nın 7-10 'un sınırları arasında olmasına dikkat edilmelidir. Yine aynı şekilde uzun süre beklemiş biyodizelin kullanımından önce özgül ağırlığının 0,9 'u aşım aşmadığı belirlenmelidir. Biyodizel tankları mümkünse tamamen dolu tutulmalıdır. Bunu yapmaktaki amaç, biyodizel ile havanın temasını en aza indirmektir. Eğer biyodizel nemli ve ılık iklimde depolanacak ise biyodizel depo tanklarına katkı maddesi ilave etmek gereklidir.

Biyosit olarak adlandırılan ve sıvı formda bir zehir olan bu madde, depo içerisindeki mikro organizmaları yok etmede kullanılır. Yakıt tankının içerisine ilave edilecek biyosit miktarı 50-60 gr'dır. Dökülen bu miktar depo 3 defa boşalana kadar etkisini sürdürür. Eğer dizel motor iki haftadan daha uzun bir süre kullanılmayacak ise depo yakıtla doldurulur ve depo içerisine yine 50-60 gr biyosit veya biyostat konulur.

Bakteri gelişimini engelleyen biyostat özellikle, ılık ve nemli bölgelerde bakteri gelişimini mümkün mertebe engellemek için yakıt içerisine periyodik olarak ilave edilmelidir (Koç, 2011).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deney Tasarımı

Kanola yağından baz katalizli transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretiminde reaksiyon parametrelerinin optimizasyonu çalışmasında Minitab istatistik programı kullanılarak bu programdaki Taguchi yöntemi ile reaksiyon için deney tasarımı yapılmıştır.

Deney tasarımında amaç; reaksiyon parametrelerinin; ürünün oksitlendirme gücüne, yoğunluğuna, viskozitesine, pH'sına, hacimsel verimine, ısıl değerine etkisi ve farklı katalizörler kullanıldığında aynı parametrelerin etkilerinin ne şekilde değiştiği üzerine yapılacak deneysel çalışmaların giriş parametrelerinin belirlenmesi olmuştur.

Bu yöntem ile biyodizelin 54 farklı reaksiyon şartında ayrı ayrı üretilmesi yerine sayının 18 'e indirilmesi sağlanmıştır.

Reaksiyon girdisi olarak kullanılan kanola yağının hacmi sabit tutulmuş olup reaksiyon sıcaklığı, metanol, sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit yüzdeleri değiştirilerek sonuçlar üzerine etkileri incelenmiştir.

Çizelge 3.1. NaOH, metanol ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak üretilen biyodizelin reaksiyona giriş şartları

	T (°C)	Yağ (ml)	CH ₃ OH (v/v)	NAOH (w/w)	Varyasyon Sayısı
Miktarlar	40	250	% 16.7	% 0.20	1
Miktarlar	40	250	% 20	% 0.40	2
Miktarlar	40	250	% 25	% 0.60	3
Miktarlar	50	250	% 16.7	% 0.40	4
Miktarlar	50	250	% 20	% 0.60	5
Miktarlar	50	250	% 25	% 0.20	6
Miktarlar	60	250	% 16.7	% 0.60	7
Miktarlar	60	250	% 20	% 0.20	8
Miktarlar	60	250	% 25	% 0.40	9

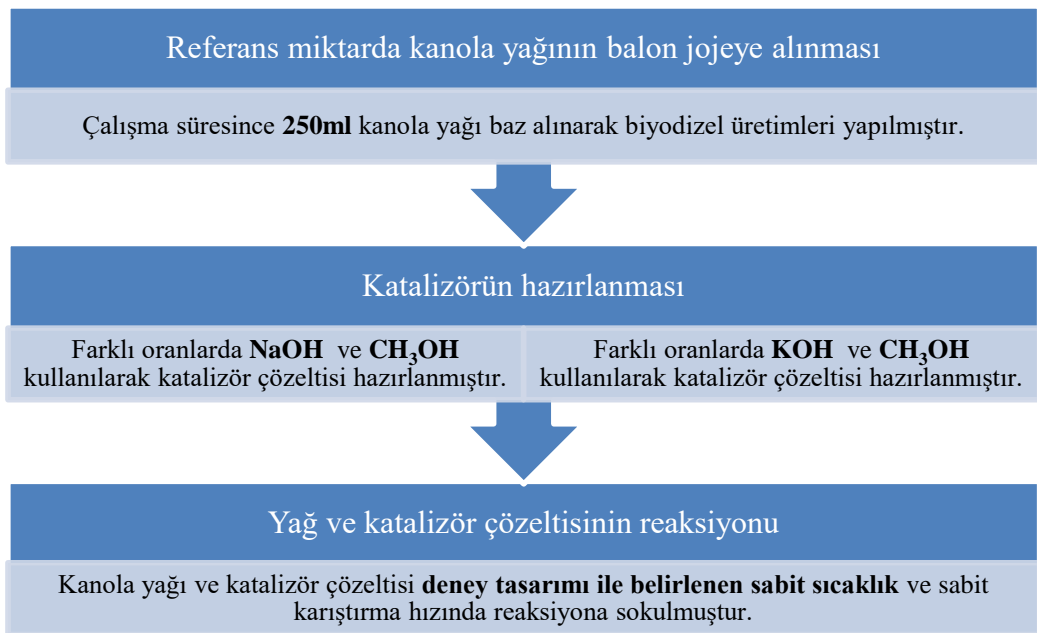
Çizelge 3.2. KOH, metanol ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak üretilen biyodizelin reaksiyona giriş şartları

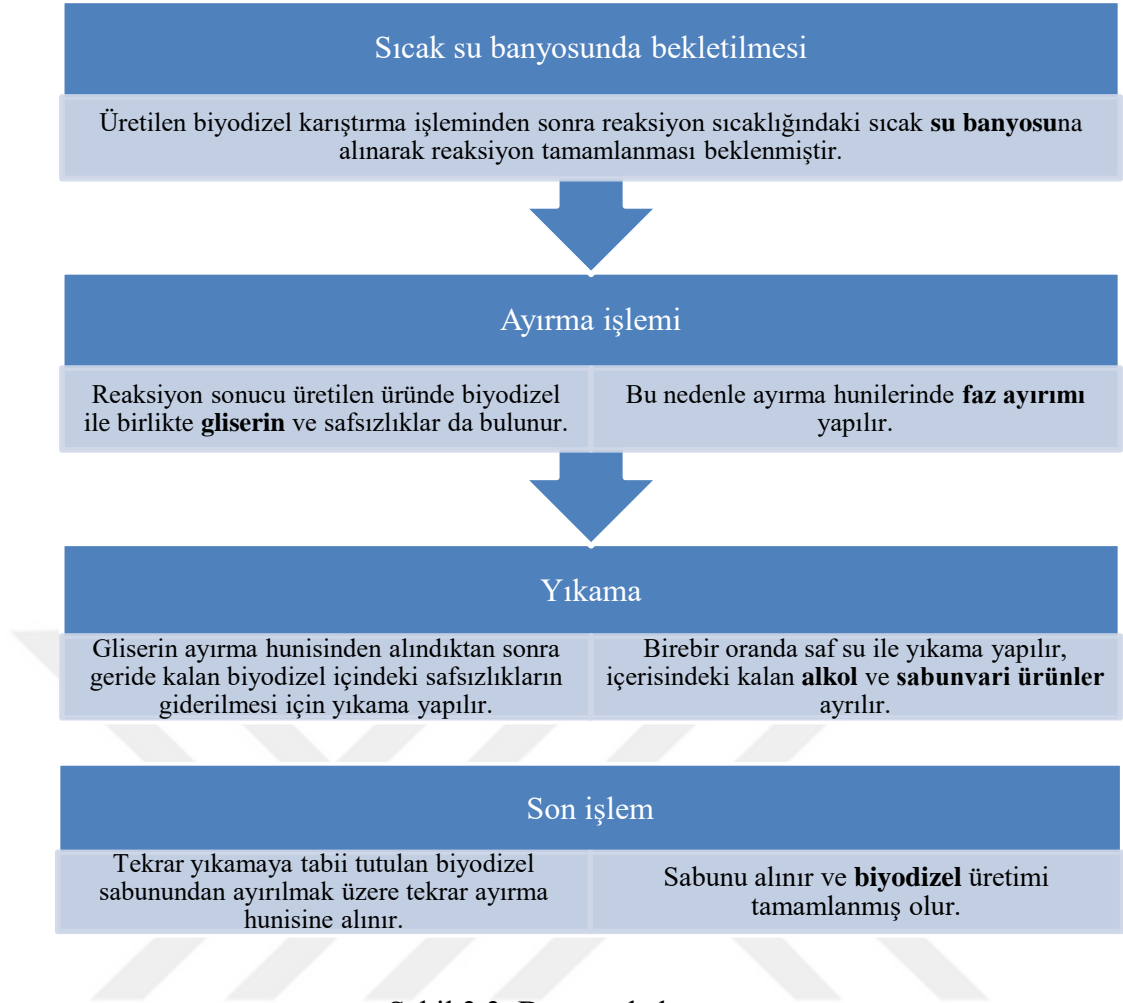
	T (°C)	Yağ (ml)	CH ₃ OH (v/v)	KOH (w/w)	Varyasyon Sayısı
Miktarlar	40	250	% 16.7	% 0.5	10
Miktarlar	40	250	% 20	% 1.0	11
Miktarlar	40	250	% 25	% 1.5	12
Miktarlar	50	250	% 16.7	% 1.0	13
Miktarlar	50	250	% 20	% 1.5	14
Miktarlar	50	250	% 25	% 0.5	15
Miktarlar	60	250	% 16.7	% 1.5	16
Miktarlar	60	250	% 20	% 0.5	17
Miktarlar	60	250	% 25	% 1.0	18

Minitab istatistik programına yukarıda belirtilen şartlarda üretilen biyodizel ürünlerinin analiz sonuçları girildiğinde elde edilen grafikler Bulgular ve Tartışma kısmında gösterilmiştir.

3.2. Biyodizel Üretim Aşamaları

Biyodizel üretimi akış şeması deneysel çalışmalarımızdaki kullanılan veriler ile aşağıdaki hali almıştır.





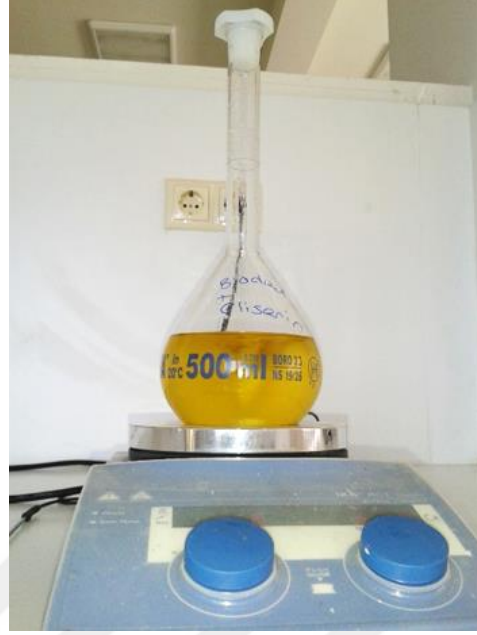
Şekil 3.3. Deneysel akış şeması

Deney tasarımı yapılan biyodizelin üretim aşamaları görselleri ile birlikte aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.4. Referans miktarda kanola yağının balon jöjeye alınması

Biyodizel üretimi sırasında değiştirilen her reaksiyon parametresi içim yapılan deneylerde referans olarak 250ml kanola yağı balon jojeye alınmıştır.



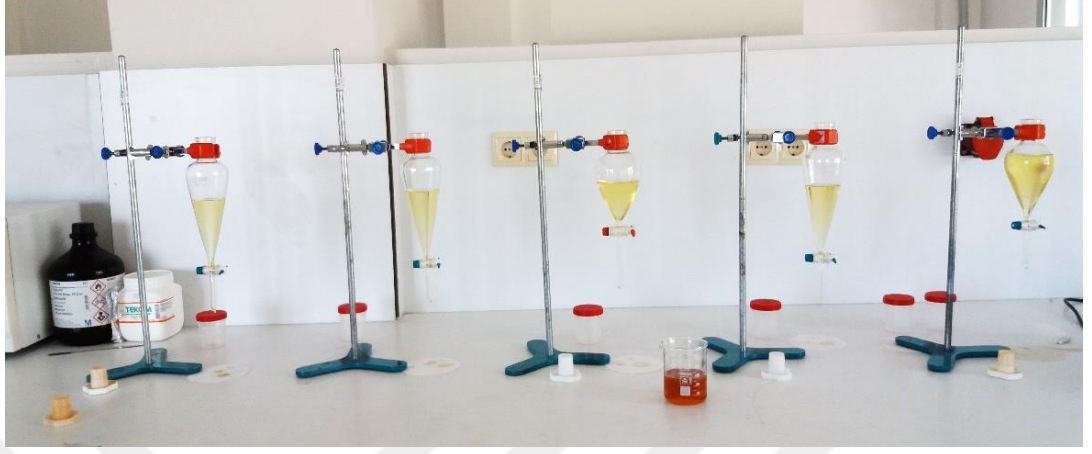
şekil 3.5. Kanola yağı ile katalizör çözeltilisinin karıştırılması

Kanola yağı ile katalizör çözeltilisi reaksiyon sıcaklığına ısıtılarak sabit devirde ve sıcaklıkta karıştırılarak reaksiyon gerçekteştirilmiştir.



şekil 3.6. Sabit sıcaklıktaki su banyosunda reaksiyonun tamamlanması

Sabit sıcaklık ve ve karıştırma devrinde reaksiyon gerçekleştirildikten sonra reaksiyon sıcaklığındaki su banyosuna alınarak reaksiyonun tamamlanması beklenmiştir.



Şekil 3.7. Biyodizel, gliserin ve safsızlıkların faz ayırma işlemine bırakılması

Reaksiyon sonucu oluşan ürünler; yağ asidi metil esteri (biyodizel), gliserin ve diğer safsızlıklar birbirinden ayrılmalrı için faz ayırma işlemine alınmıştır.



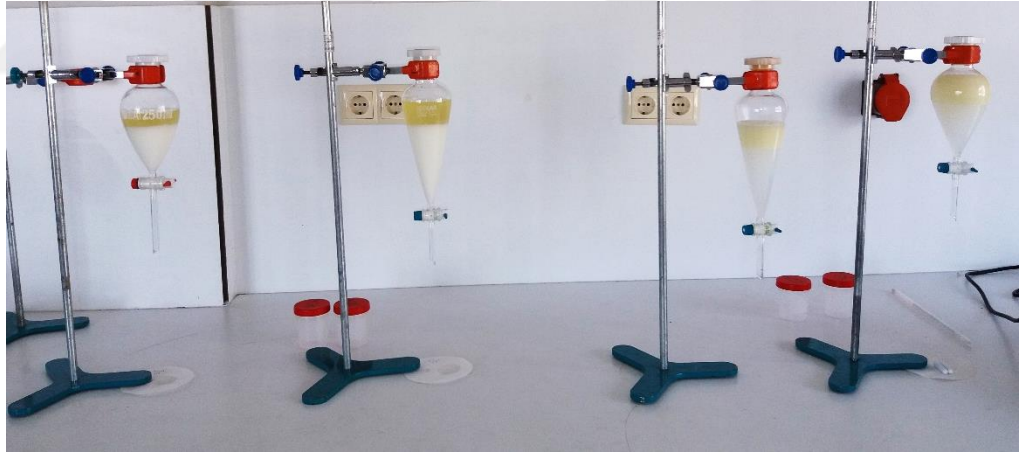
Şekil 3.8. Biyodizel ve gliserinin birbirinden ayrılması işlemi

Reaksiyon sonucu oluşan ürünlerden gliserin faz ayırma yöntemiyle birbirinden ayrılmıştır.



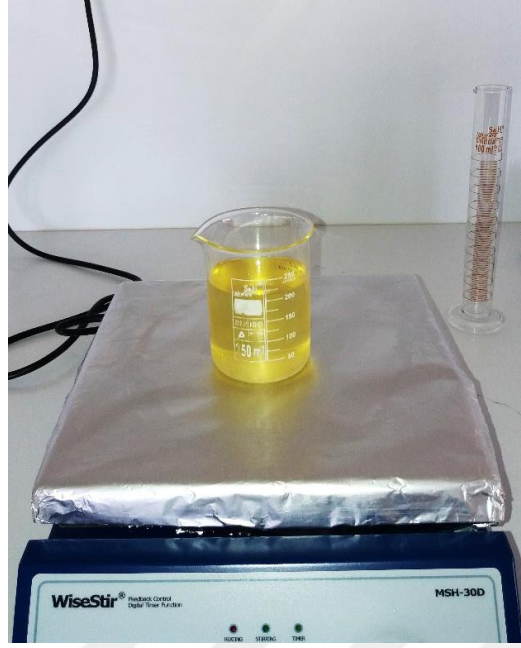
Şekil 3.9. Diğer safsızlıkların saf su ile yıkanması

Gliserininden ayrılan biyodizel sabunvari safsızlıklarından ayrılması için hacimce birebir oranında birkaç kere saf su ile yıkanmıştır.



Şekil 3.10. Biyodizelin sabunundan ayrılması işlemi

Ayrırma hunisine alınan safsu biyodizel karışımının içerisindeki sabunvari safsızlıklardan ayrılması beklenmiştir. Bu süreç için 24 saatlik bekleme süresi gerekmektedir.



Şekil 3.11. Biyodizel içerisinde kalan suyun uzaklaştırılması işlemi

Sabunundan ayrılan biyodizel yıkama işlemi sonrası bünyesinde kalan suyun uzaklaştırılması için ısıtılarak ayırma işlemi uygulanmıştır. Buharlaştırma işleminden sonra biyodizel soğumaya bırakılmış ve süzme işlemine hazır hale gelmesi beklenmiştir.



Şekil 3.12. Biyodizelin süzgeçten geçirilmesi işlemi

Son işlem olarak üretilen biyodizel katı partikül kalmış olma ihtimaline karşı süzgeç kağıdından geçirilerek üretim tamamlanmıştır. Bu işlem ile nihai ürün olan yağ asidi metil esterleri ihtiva eden biyodizel hazırlanmış olup atmosfer şartlarından korunarak ölçüm işlemine geçilmiştir.

3.3. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Çalışmada katalizör olarak sodyum hidroksit ve potasyum hidroksitin kullanıldığı metanol çözeltisi kullanılmış ve firma olarak Merck firmasının üretimi Metanol,

Tekkim firması üretimi KOH ve Merck firmasının üretimi NaOH kimyasalları kullanılmıştır.

Yağ olarak kanola bitkisinden elde edilen yağ kullanılmış olup gıda olarak kullanımında yaygın olmaması, kökeni bakımından besin olarak tüketiminde kanserojen etkisi olan kolza bitkisinin genetik olarak türetilmesinden elde edilmesi ve ülkemiz coğrafyasında birçok bölgede üretiminin verimli bir şekilde yapılabilmesi kanola yağının tercih edilme sebepleridir.

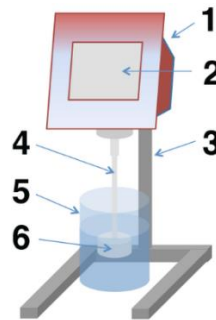
3.4. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

Transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimi yapılan bu çalışmada, karıştırma ve ısıtmada WiseStir marka ısıtıcı ve karıştırıcı, vizkozite ölçümünde Fungilab marka dikey viskozitemetre, FTIR olarak Piketech Miracle FTIR Spektrometresi, CAL2K firmasının Oksijen Kalori Bombası ve laboratuvar ekipmanları kullanılmıştır.

3.5. Kullanılan Ölçüm Cihazlarının Çalışma Mantıkları

3.5.1. Vizkozimetre

Kullanılan dönüşlü viskozimetre; sıvı içerine daldırılmış iğnesi ile döndürmek için gerekli tork-yoğunluk-viskozite ilişkisi kurarak ölçüm yapmaktadır. Kalibre edilmiş bir yaya bağlı şekilde motor gücüyle çalıştırılır, yayın sapması dijital ekranda gösterilir. Bir ürünün üretimi esnasında ölçüm yapabilir ve taşınabilir olması kullanım kolaylığı sağlar.



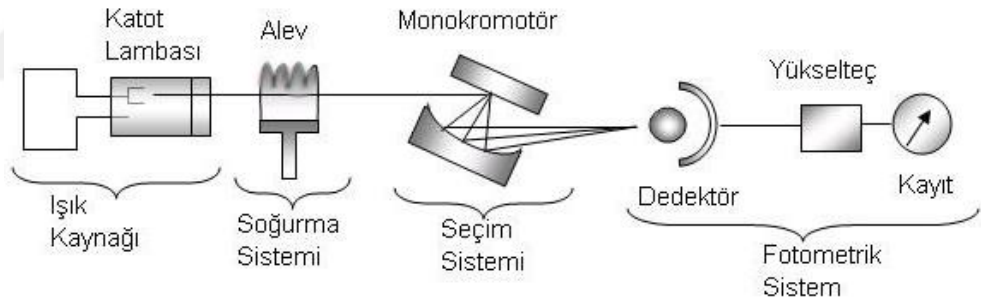
Şekil 3.13. Dikey viskozimetre

Şekil 3.13 'de numaralandırma ile gösterilen kısımlar şu şekildedir; 1. Ölçüm mekanizması, 2. Dijital ekran, 3. Sabitleme aparatı, 4. Daldırma iğnesi, 5. Numune kabı, 6. Numune

3.5.2. FTIR spektrometresi

İncelenecek örnek spektrometre ile fotometre arasına ve küvet olarak adlandırılan, genellikle sert plastikten ya da quartz'dan yapılan özel tüp içine yerleştirilir. Farklı örnekler farklı dalga boylarını absorbladıkları için öncelikle bu aralığın bulunması gerekir. Bu absorpsiyon aralığı bulunduktan sonra spektrometre ile bu aralıkta örneğe monokromatik belirli bir dalga boyuna ait bir ışın gönderilir.

Spektrofotometreler gönderdiği ışığın dalga boyuna göre çeşitlidir. Gönderilen ışık, küvetin içindeki örnekten geçtikten sonra fotometreye ulaşır. Spektrometreden gönderilen ışık ile fotometreye ulaşan ışık arasındaki fark bize absorblanma miktarını verir. Absorblanma terimi absorpsiyon'dur ve Beer-Lambert teoreminden hesaplanır.



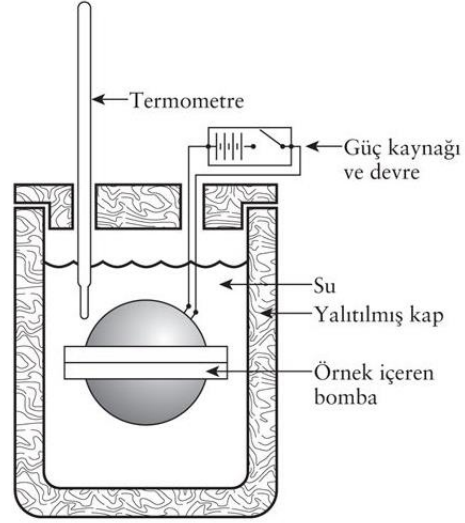
Şekil 3.14. Spektrometre çalışma prensibi

3.5.3. Oksijen kalori bombası

Yanma reaksiyonlarının ısı değişimlerini tayin etmek için kullanılır. Bileşiğin bilinen miktarı 30 atm basınç altında oksijenle doldurulmuş olan bir sabit hacim kalorimetre bombası denilen çelik bir kaba konur ve yanma ısısı ölçülür. Basınca dayanıklı olarak imal edilmiş bomba suyun bilinen bir miktarına daldırılır ve elektrik yolu ile ateşleme sağlanır.

Yanma reaksiyonu ile üretilen ısı, suyun sıcaklığındaki yükselmeyi kaydederek kesin olarak hesaplanır. Su ve kalorimetre tarafından yanma ısısı absorblanır.

Kalorimetre bombasının özel tasarımı ölçümleri yapmak için geçen zaman sırasında hiç ısı veya kütlenin çevreye kaybedilmediğini varsaymamızı mümkün kılmaktadır. Bu nedenle kalorimetre bombasına ve içine daldırıldığı suya beraberce izole sistem diyebiliriz.



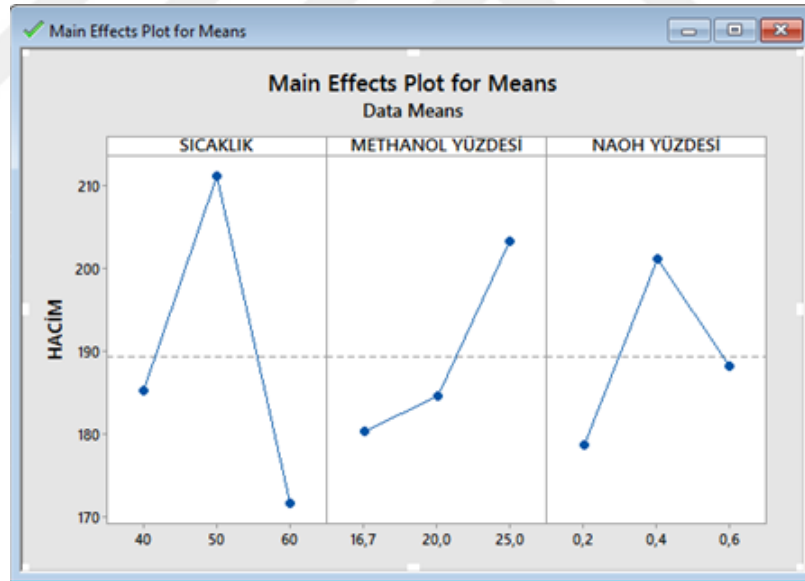
Şekil 3.15. Bomba kalorimetresinin basitleştirilmiş çizimi

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sodyum Hidroksit ve Potasyum Hidroksitin katalizör olarak kullanıldığı biyodizel üretimlerinde giriş parametrelerinin değerleri değiştirildiğinde ürün özellikleri üzerindeki etkilerinin Minitab istatistik programında Taguchi yöntemi ile deney tasarımı yapıldığında elde edilen grafiksel sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

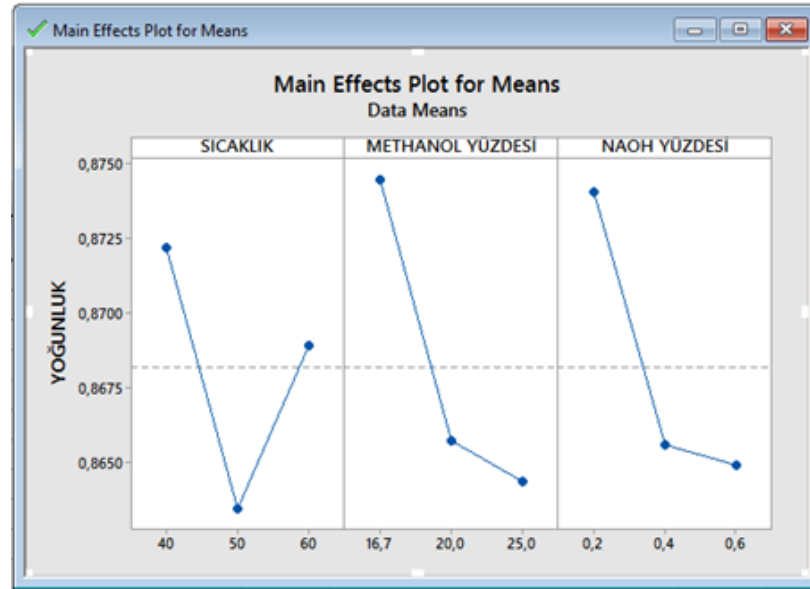
Deney tasarımında kullanılan Minitab 17 programının ücretsiz versiyonu kullanılmış olup çalışma sırasında herhangi bir telif hakkına erişim olmamıştır. Üretim sayısının fazla olduğu bu gibi çalışmalarda deney tasarımı yönteminin kullanılması yapılacak olan çalışmaları kolaylaştıracaktır.

4.1. NaOH Katalizörlüğünde Giriş Parametre Değerlerinin Değişiminin Ürün Özellikleri Üzerine Etkisinin Minitab Deney Tasarımındaki Sonuç Grafikleri



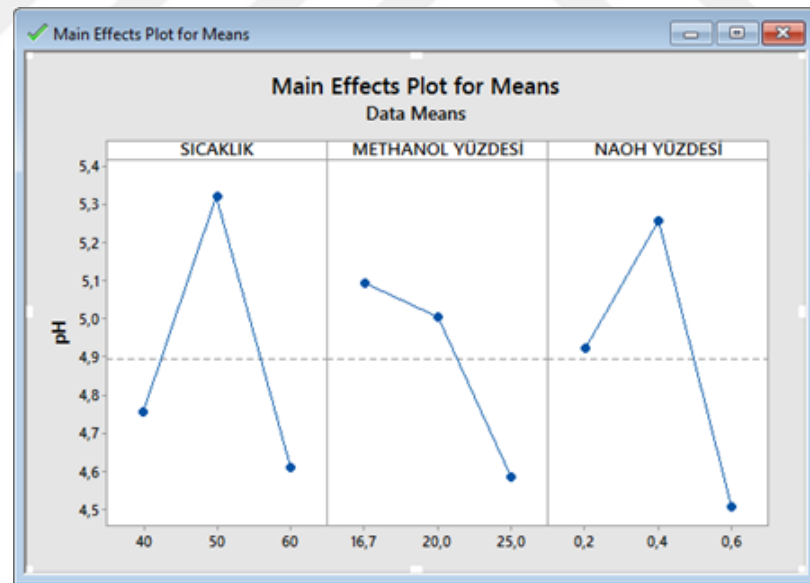
Şekil 4.1. NaOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün hacimine etkisi

Sodyum hidroksitin katalizör olarak kullanıldığı biyodizel üretiminde ürün hacmini maksimum yapan sıcaklığın 50°C, metanol yüzdesinin %25 ve katalizör yüzdesinin %0.4 olduğu şartların sağladığı tespit edilmiştir.



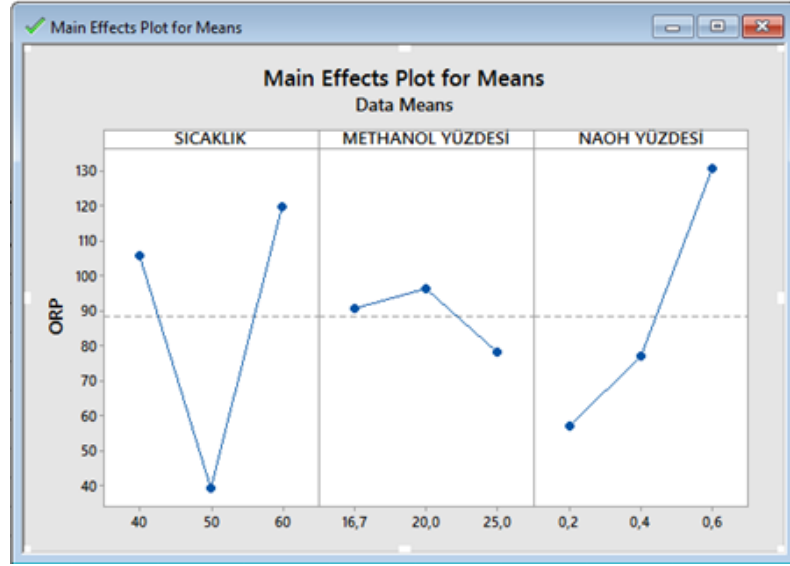
Şekil 4.2. NaOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün yoğunluğuna etkisi

Sodyum hidroksitin katalizör olarak kullanıldığı biyodizel üretiminde ürün yoğunluğunu minimum yapan sıcaklığın 50°C, metanol yüzdesinin %25 ve katalizör yüzdesinin %0.6 olduğu şartların sağladığı tespit edilmiştir.



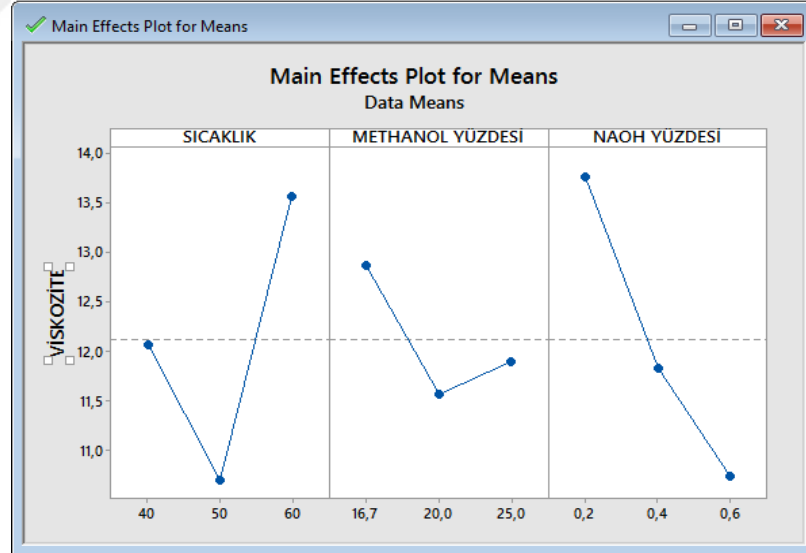
Şekil 4.3. NaOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün pH değerine etkisi

Sodyum hidroksitin katalizör olarak kullanıldığı biyodizel üretiminde pH değerini minimum yapan sıcaklığın 60°C, metanol yüzdesinin %25 ve katalizör yüzdesinin %0.6 olduğu şartların sağladığı tespit edilmiştir.



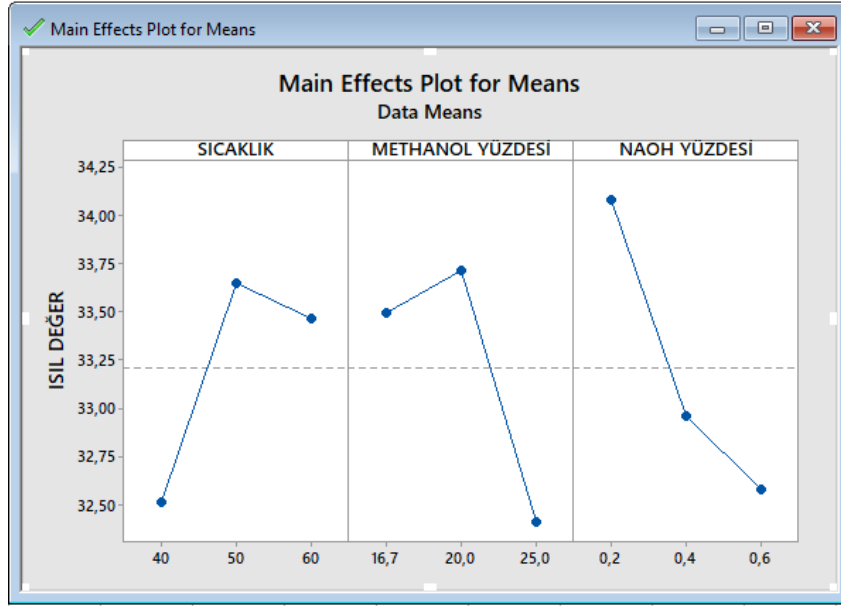
Şekil 4.4. NaOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün ORP değerine etkisi

Sodyum hidroksitin katalizör olarak kullanıldığı biyodizel üretiminde Orp değerini minimum yapan sıcaklığın 50°C, metanol yüzdesinin %25 ve katalizör yüzdesinin %0.2 olduğu şartların sağladığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. NaOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün viskozite değerine etkisi

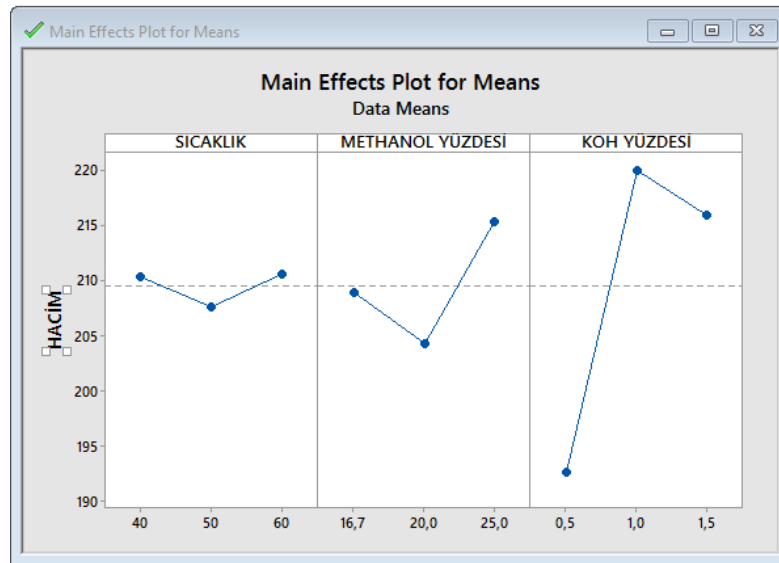
Sodyum hidroksitin katalizör olarak kullanıldığı biyodizel üretiminde viskozite değerini minimum yapan sıcaklığın 50°C, metanol yüzdesinin %20 ve katalizör yüzdesinin %0.6 olduğu şartların sağladığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. NaOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün ısı değerine etkisi

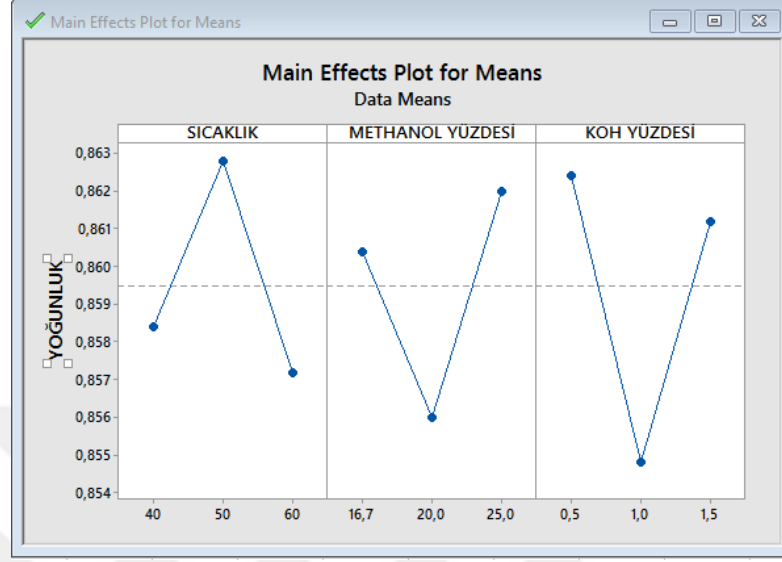
Sodyum hidroksitin katalizör olarak kullanıldığı biyodizel üretiminde ısı değerini maksimum yapan sıcaklığın 50°C, metanol yüzdesinin %20 ve katalizör yüzdesinin %0.2 olduğu şartların sağladığı tespit edilmiştir.

4.2. KOH Katalizörlüğünde Giriş Parametre Değerlerinin Değişiminin Ürün Özellikleri Üzerine Etkisinin Minitab Deney Tasarımındaki Sonuç Grafikleri



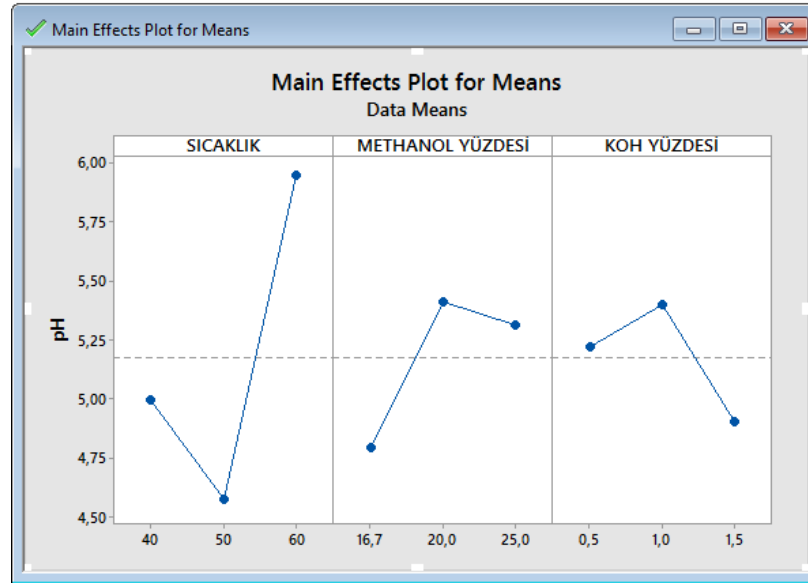
Şekil 4.7. KOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün hacimine etkisi

Potasyum hidroksitin katalizör olarak kullanıldığı biyodizel üretiminde ürün hacmini maksimum yapan sıcaklığın 50°C, metanol yüzdesinin %25 ve katalizör yüzdesinin %1 olduğu şartların sağladığı tespit edilmiştir.



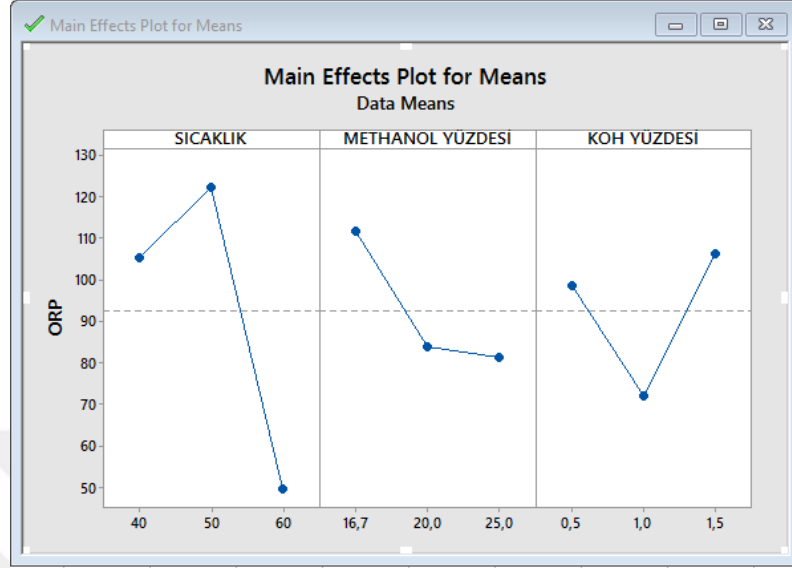
Şekil 4.8. KOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün yoğunluğuna etkisi

Potasyum hidroksitin katalizör olarak kullanıldığı biyodizel üretiminde ürün yoğunluğunu minimum yapan sıcaklığın 60°C, metanol yüzdesinin %20 ve katalizör yüzdesinin %1 olduğu şartların sağladığı tespit edilmiştir.



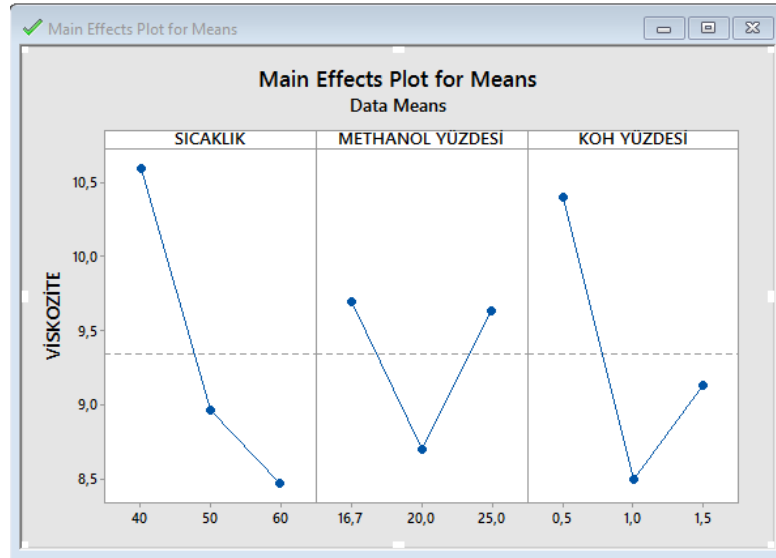
Şekil 4.9. KOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün pH değerine etkisi

Potasyum hidroksitin katalizör olarak kullanıldığı biyodizel üretiminde pH değerini minimum yapan sıcaklığın 50°C, metanol yüzdesinin %16.7 ve katalizör yüzdesinin % 1.5 olduğu şartların sağladığı tespit edilmiştir.



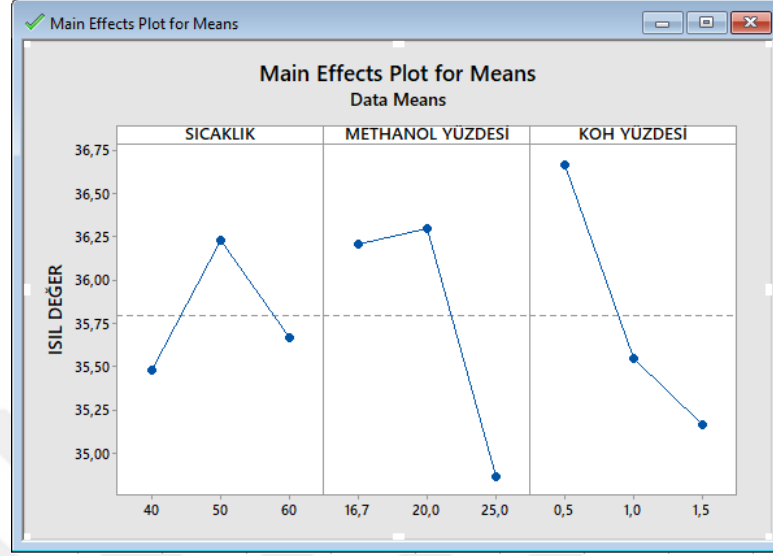
Şekil 4.10. KOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün ORP değerine etkisi

Potasyum hidroksitin katalizör olarak kullanıldığı biyodizel üretiminde Orp değerini minimum yapan sıcaklığın 60°C, metanol yüzdesinin %25 ve katalizör yüzdesinin % 1 olduğu şartların sağladığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. KOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün viskozite değerine etkisi

Potasyum hidroksitin katalizör olarak kullanıldığı biyodizel üretiminde viskozite değerini minimum yapan sıcaklığın 60°C, metanol yüzdesinin %20 ve katalizör yüzdesinin %1 olduğu şartların sağladığı tespit edilmiştir.



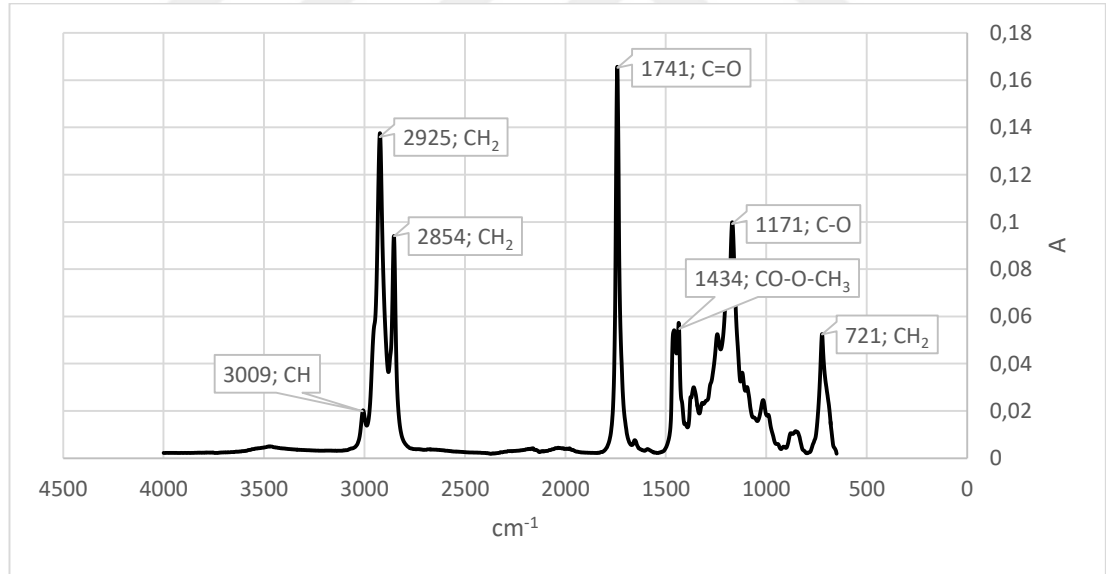
Şekil 4.12. KOH katalizörlüğünde giriş parametreleri değiştiğinde şartların ürün ısı değerine etkisi

Potasyum hidroksitin katalizör olarak kullanıldığı biyodizel üretiminde ürün ısı değerini maksimum yapan sıcaklığın 50°C, metanol yüzdesinin %20 ve katalizör yüzdesinin %0.5 olduğu şartların sağladığı tespit edilmiştir.

4.3. Ürünlerin FTIR Analiz Grafikleri

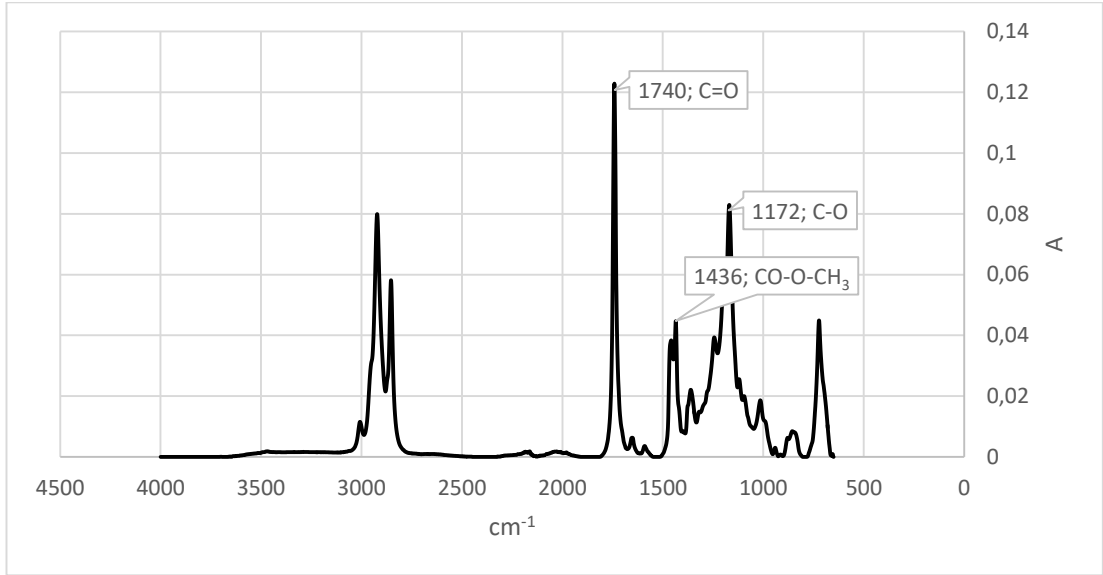
Çizelge 4.1. KOH katalizörlü biyodizelin ürün koduna göre üretim parametreleri

Ürün Kodu	T (°C)	Yağ (ml)	CH ₃ OH (v/v)	KOH (w/w)
K01	40	250	% 16.7	% 0.5
K02	40	250	% 20	% 1.0
K03	40	250	% 25	% 1.5
K04	50	250	% 16.7	% 1.0
K05	50	250	% 20	% 1.5
K06	50	250	% 25	% 0.5
K07	60	250	% 16.7	% 1.5
K08	60	250	% 20	% 0.5
K09	60	250	% 25	% 1.0



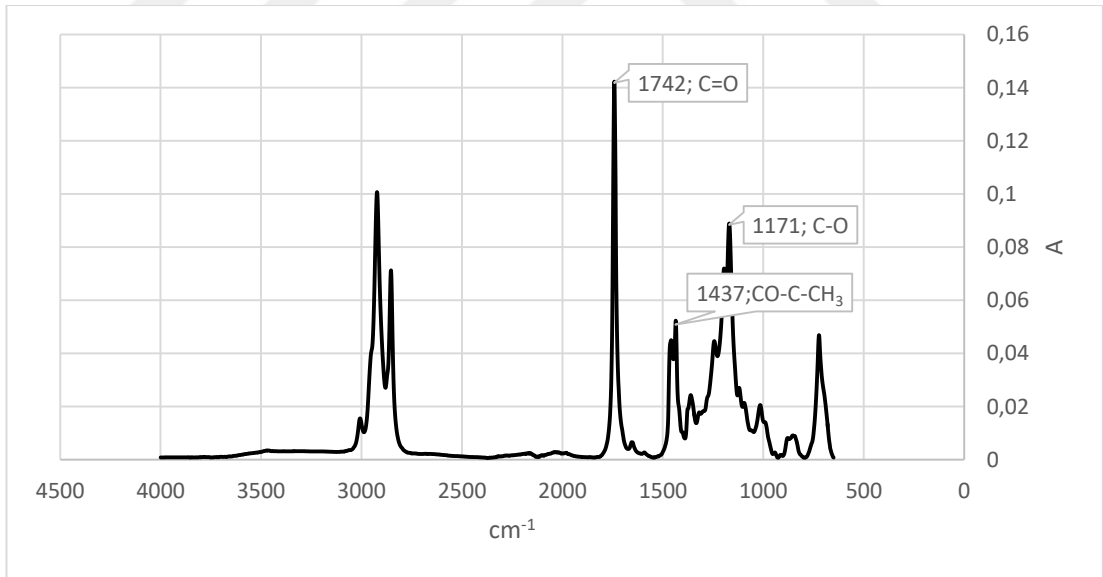
Şekil 4.13. Üretim parametreleri T(40°C), CH₃OH % 16.7, KOH % 0.5 olan biyodizelin FTIR grafiği

K01 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.



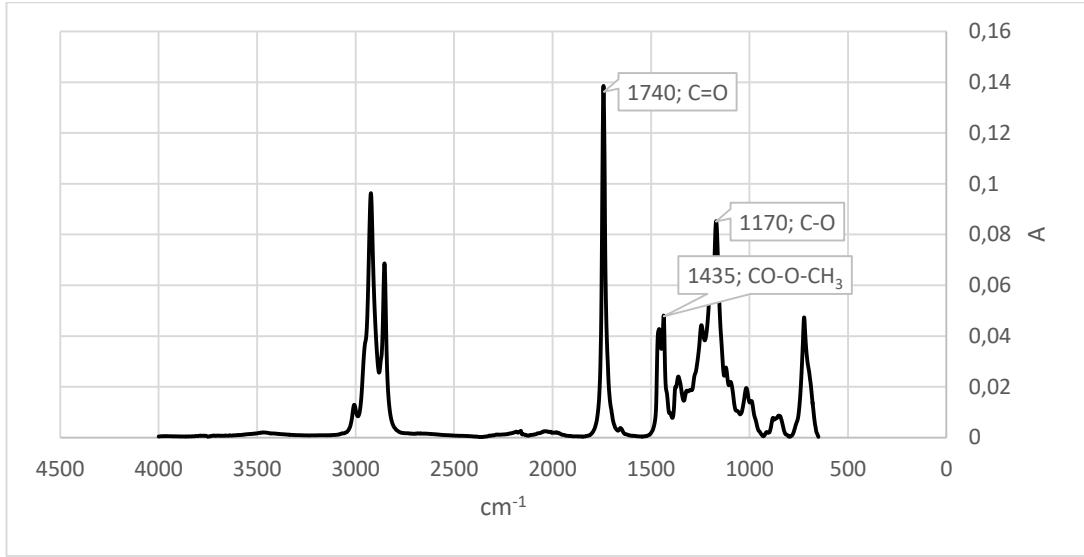
Şekil 4.14. Üretim parametreleri T(40°C), CH₃OH % 20, KOH % 1.0 olan biyodizelin FTIR grafiği

K02 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.



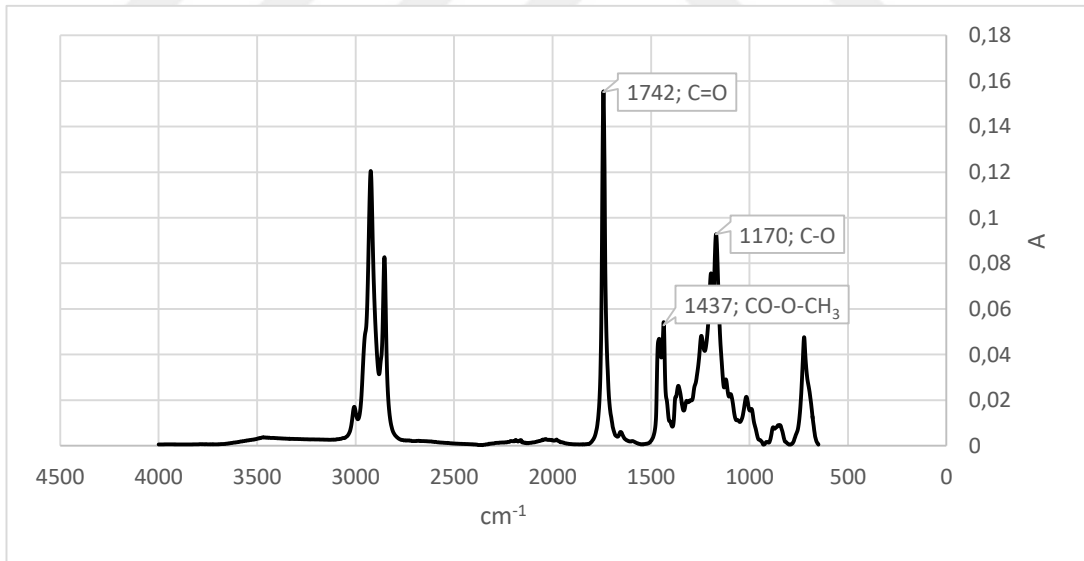
Şekil 4.15. Üretim parametreleri T(40°C), CH₃OH % 25, KOH % 1.5 olan biyodizelin FTIR grafiği

K03 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.



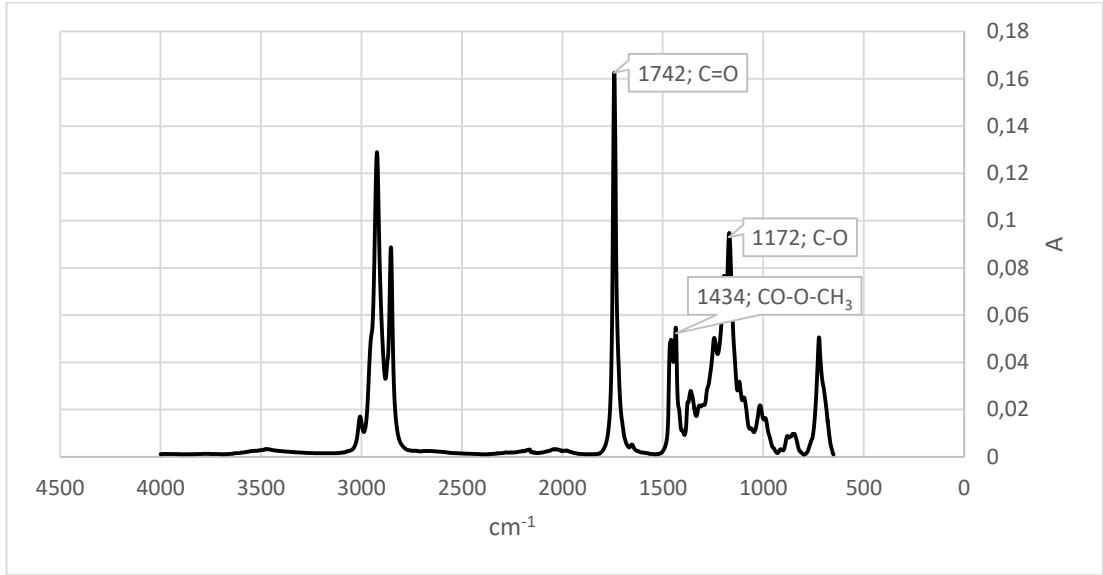
Şekil 4.16. Üretim parametreleri T(50°C), CH₃OH % 16.7, KOH % 1.0 olan biyodizelin FTIR grafiği

K04 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.



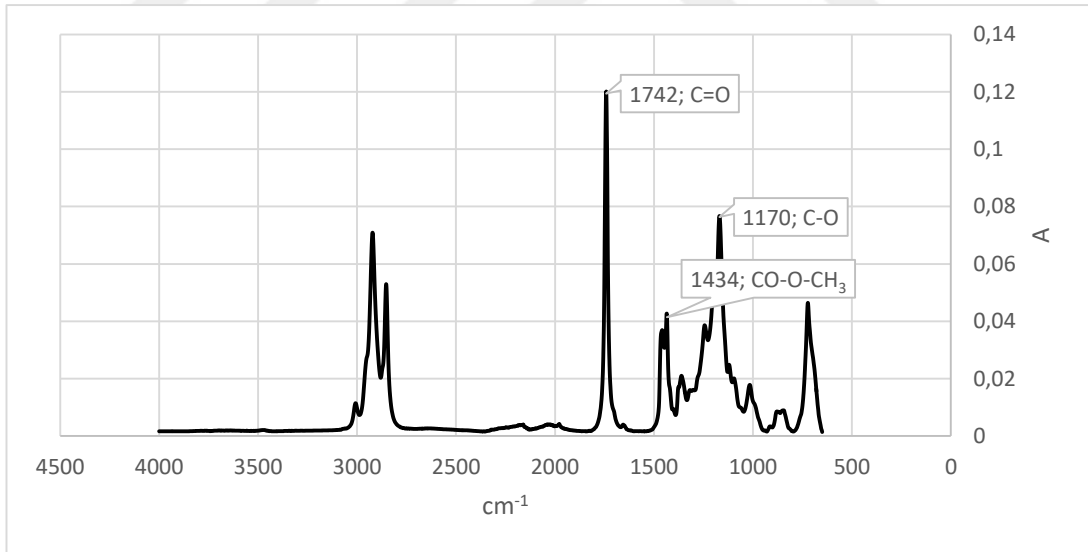
Şekil 4.17. Üretim parametreleri T(50°C), CH₃OH % 20, KOH % 1.5 olan biyodizelin FTIR grafiği

K05 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.



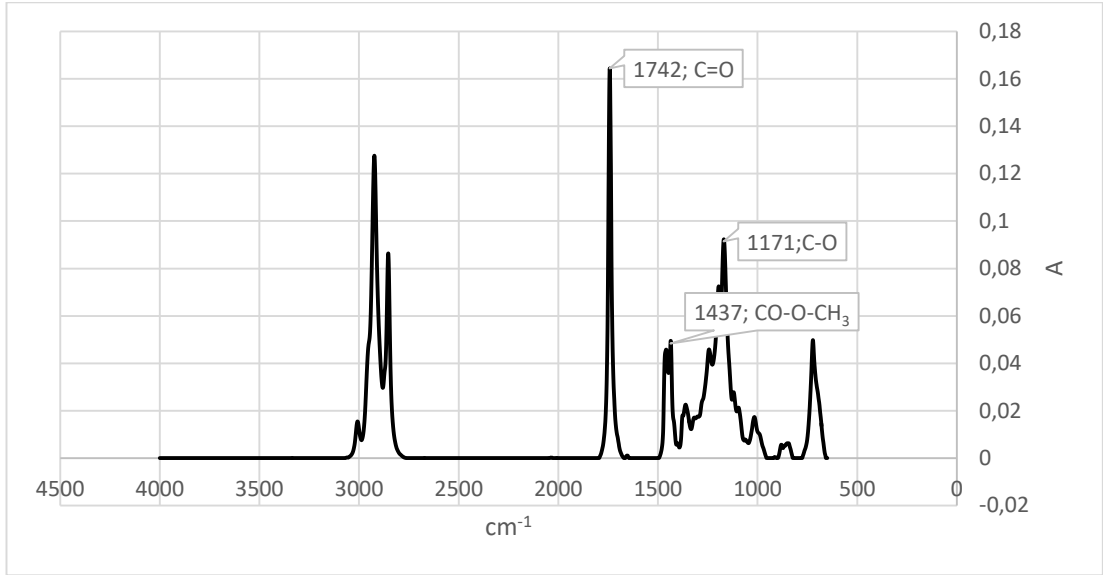
Şekil 4.18. Üretim parametreleri T(50°C), CH₃OH % 25, KOH % 0.5 olan biyodizelin FTIR grafiği

K06 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.



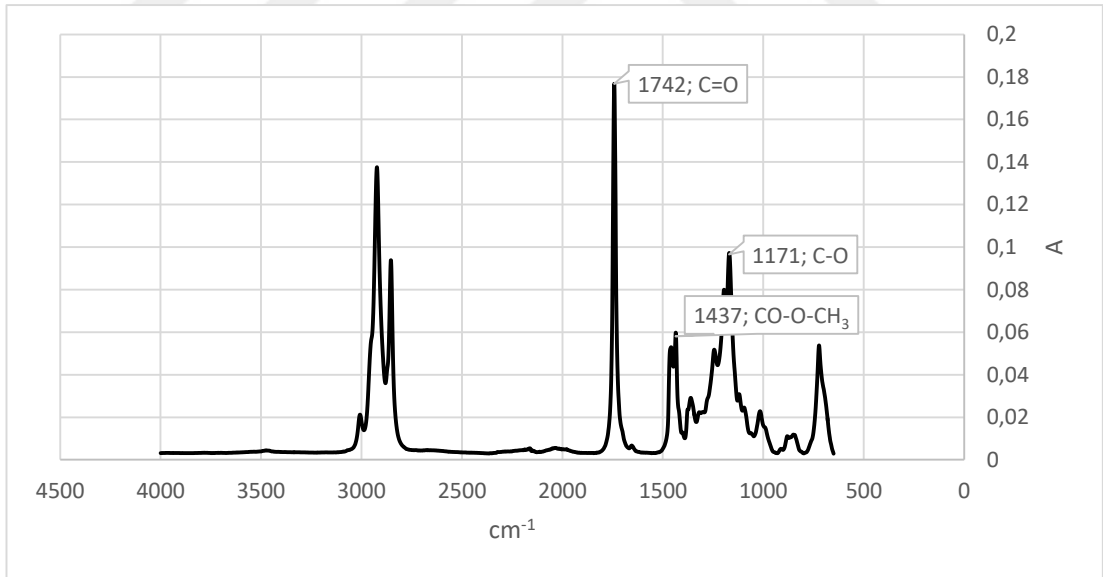
Şekil 4.19. Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 16.7, KOH % 1.5 olan biyodizelin FTIR grafiği

K07 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.



Şekil 4.20. Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 20, KOH % 0.5 olan biyodizelin FTIR grafiği

K08 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.

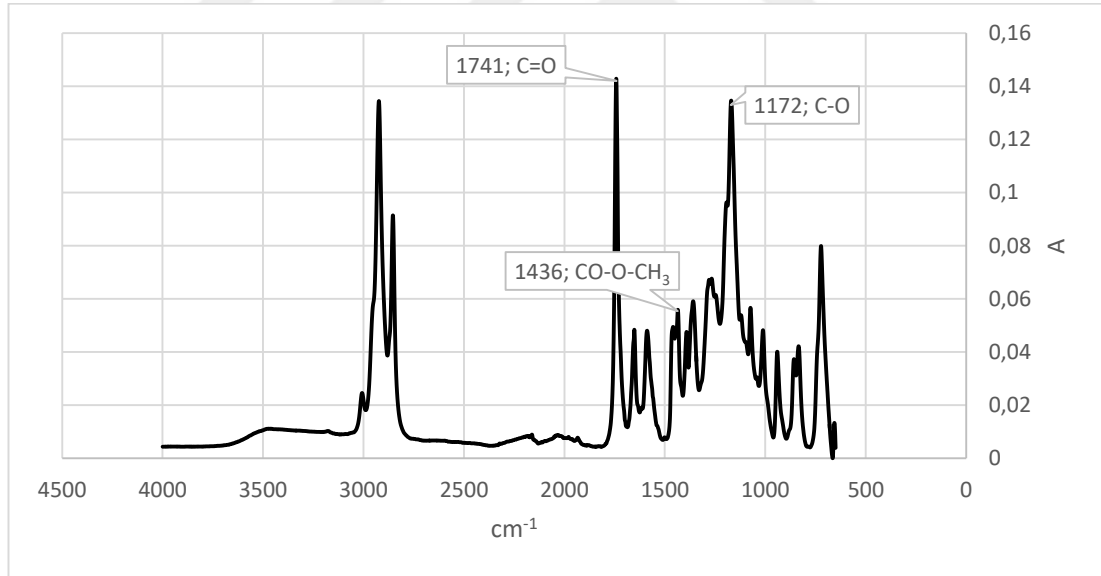


Şekil 4.21. Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 25, KOH % 1.0 olan biyodizelin FTIR grafiği

K09 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.

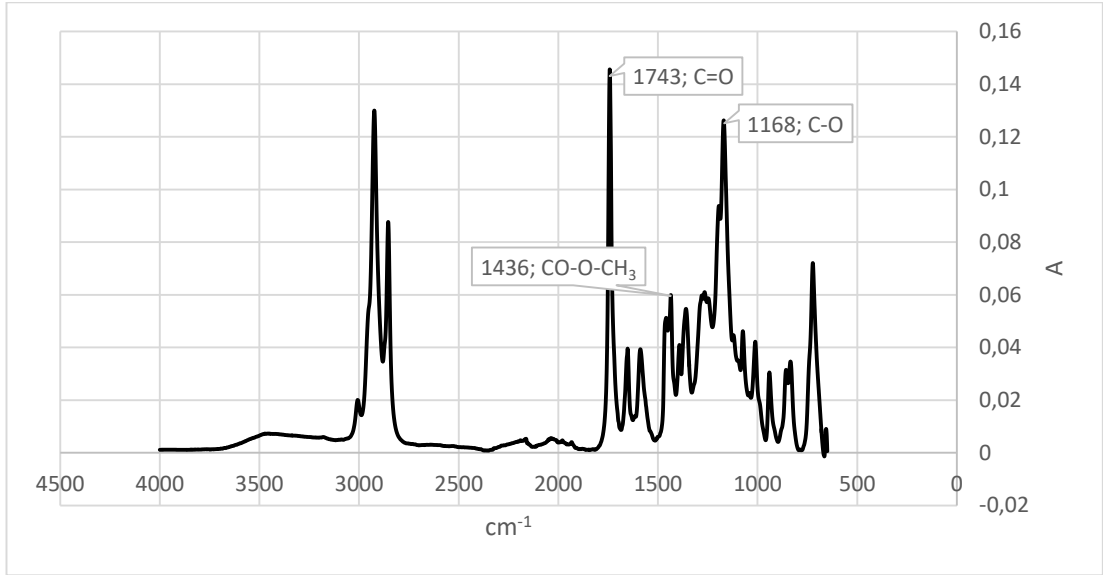
Çizelge 4.2. NaOH katalizörlüğündeki biyodizel için ürün koduna göre üretim parametreleri

Ürün Kodu	T (°C)	Yağ (ml)	CH ₃ OH (v/v)	NaOH (w/w)
N01	40	250	% 16.7	% 0.20
N02	40	250	% 20	% 0.40
N03	40	250	% 25	% 0.60
N04	50	250	% 16.7	% 0.40
N05	50	250	% 20	% 0.60
N06	50	250	% 25	% 0.20
N07	60	250	% 16.7	% 0.60
N08	60	250	% 20	% 0.20
N09	60	250	% 25	% 0.40



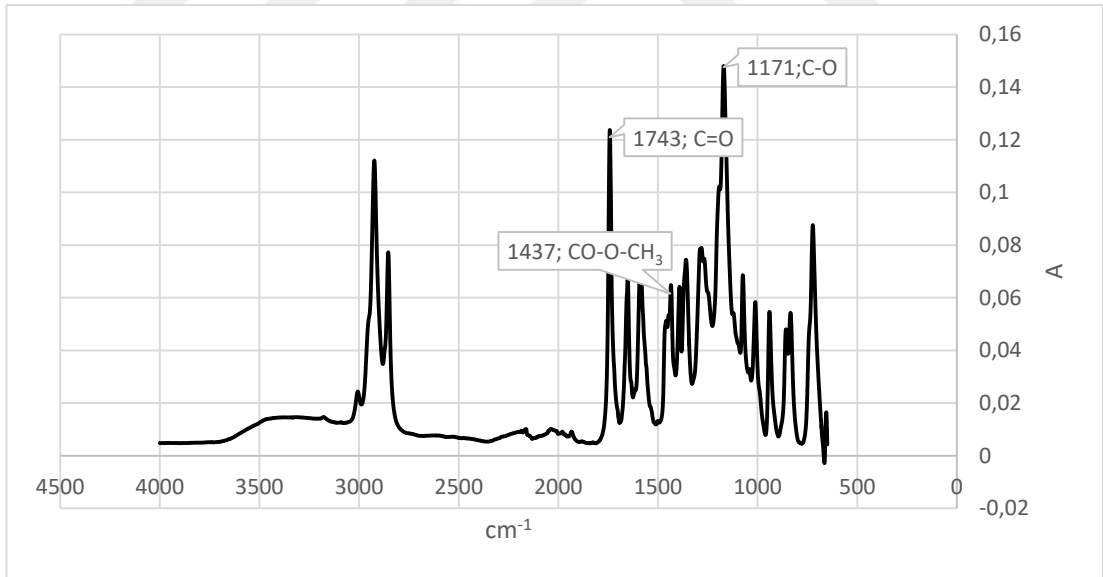
Şekil 4.22. Üretim parametreleri T(40°C), CH₃OH % 16.7, NaOH % 0.2 olan biyodizelin FTIR grafiği

N01 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.



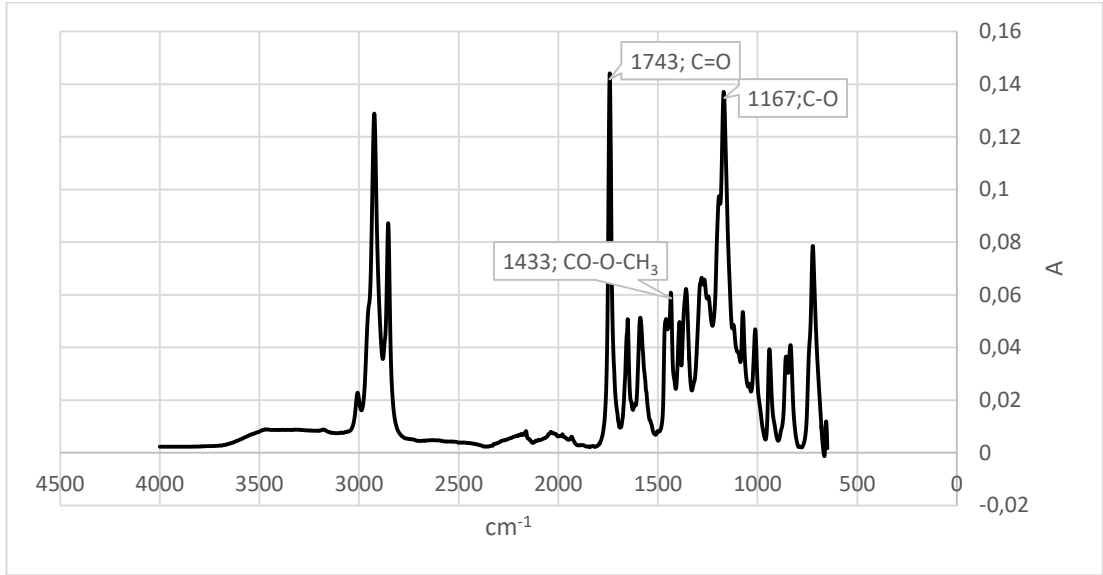
Şekil 4.23. Üretim parametreleri T(40°C), CH₃OH % 20, NaOH % 0.4 olan biyodizelin FTIR grafiği

N02 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.



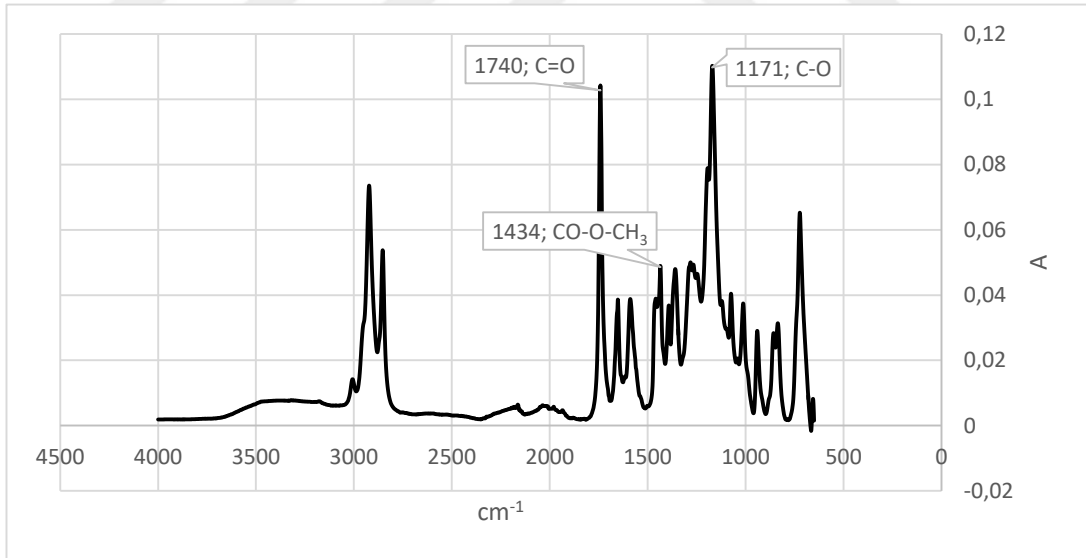
Şekil 4.24. Üretim parametreleri T(40°C), CH₃OH % 25, NaOH % 0.6 olan biyodizelin FTIR grafiği

N03 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.



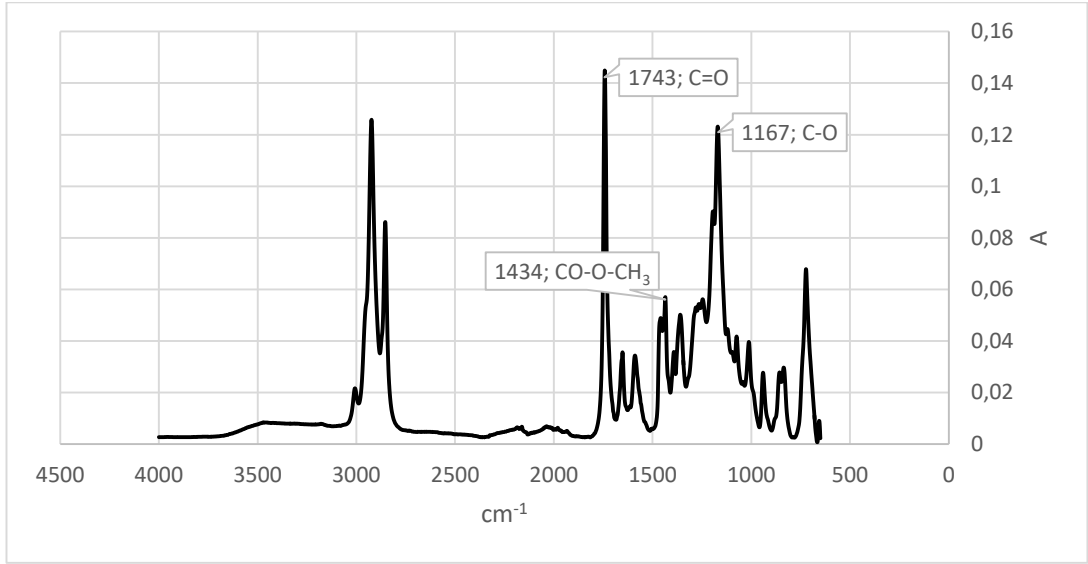
Şekil 4.25. Üretim parametreleri T(50°C), CH₃OH % 16,7, NaOH % 0,4 olan biyodizelin FTIR grafiği

N04 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.



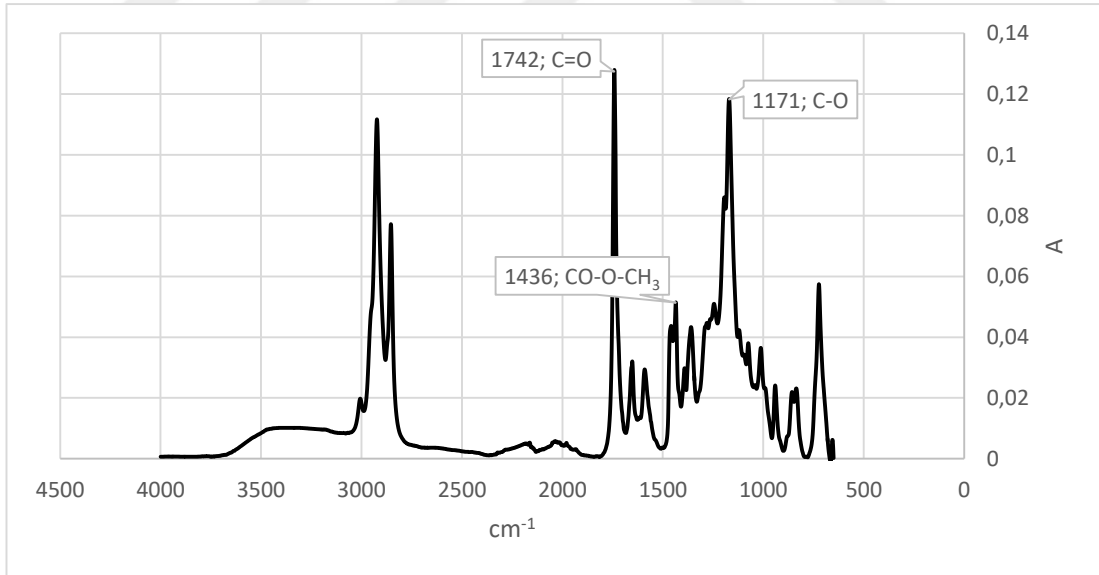
Şekil 4.26. Üretim parametreleri T(50°C), CH₃OH % 20, NaOH % 0,6 olan biyodizelin FTIR grafiği

N05 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.



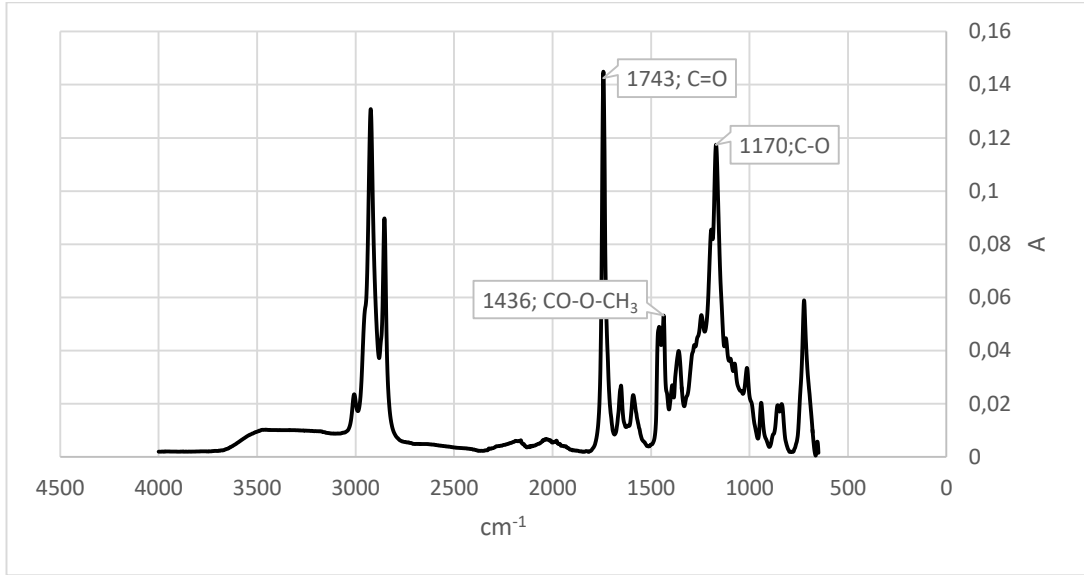
Şekil 4.27. Üretim parametreleri T(50°C), CH₃OH % 25, NaOH % 0.2 olan biyodizelin FTIR grafiği

N06 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.



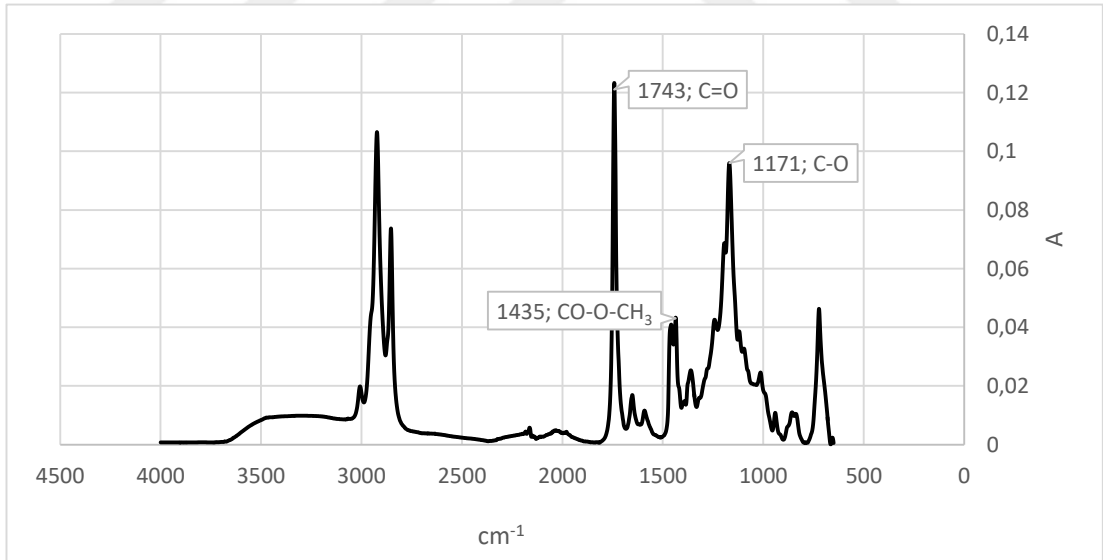
Şekil 4.28. Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 16.7, NaOH % 0.6 olan biyodizelin FTIR grafiği

N07 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.



Şekil 4.29. Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 20, NaOH % 0.2 olan biyodizelin FTIR grafiği

N08 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.



Şekil 4.30. Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 25, NaOH % 0.4 olan biyodizelin FTIR grafiği

N09 numaralı biyodizelin FTIR grafiğini incelediğimizde Bradley, 2015 ve Perston, 2014 'in yaptıkları çalışmalarda vardığı aynı sonuçlara vardığımızı, biyodizel içeriğinin karakteristik piklerini gözlemlediğimizi görüyoruz.

4.4. Giriş Parametreleri İle Ürün Özellikleri Arasındaki İlişkiyi Veren Ampirik Denklemler

Minitap programından alınan veriler excelde grafiğe dökülerek sıcaklığın, metanol yüzdesinin ve NaOH yüzdesinin ürün özelliklerine değişimini veren denklemler elde edilmiştir.

Sodyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün hacmini en büyük yapan koşulların incelendiği durumda; sıcaklığın(x) ürün hacmine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = -0,3283x^2 + 32,15x - 575,33 \quad (4.1)$$

Metanol yüzdesinin(x) ürün hacmine etkisini veren denklemin :

$$y = 0,2916x^2 - 9,3866x + 255,78 \quad (4.2)$$

NaOH yüzdesinin(x) ürün hacmine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = -445,83x^2 + 380,83x + 120,34 \quad (4.3)$$

olduğu sonucuna varılmıştır.

Sodyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün yoğunluğunu en küçük yapan koşulların incelendiği durumda; sıcaklığın(x) yoğunluğa(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 7E-05x^2 - 0,0073x + 1,0504 \quad (4.4)$$

Metanol yüzdesinin(x) yoğunluğa etkisini veren denklemin :

$$y = 0,0003x^2 - 0,0131x + 1,0141 \quad (4.5)$$

NaOH yüzdesinin(x) yoğunluğa(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 0,0975x^2 - 0,101x + 0,8904 \quad (4.6)$$

olduğu sonucuna varılmıştır.

Sodyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün pH değerini en küçük yapan koşulların incelendiği durumda; sıcaklığın(x) pH değerine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = -0,0063x^2 + 0,6238x - 10,079 \quad (4.7)$$

Metanol yüzdesinin(x) pH değerine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = -0,007x^2 + 0,2291x + 3,2073 \quad (4.8)$$

NaOH yüzdesinin(x) pH değerine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = -13,543x^2 + 9,7925x + 3,5065 \quad (4.9)$$

olduğu sonucuna varılmıştır.

Sodyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün orp değerini en küçük yapan koşulların incelendiği durumda; sıcaklığın(x) orp değerine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 0,7334x^2 - 72,627x + 1837,2 \quad (4.10)$$

Metanol yüzdesinin(x) orp değerine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = -0,6461x^2 + 25,46x - 154,42 \quad (4.11)$$

NaOH yüzdesinin(x) orp değerine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 416,96x^2 - 148,79x + 70,07 \quad (4.12)$$

olduğu sonucuna varılmıştır.

Sodyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün viskozite değerini en küçük yapan koşulların incelendiği durumda; sıcaklığın(x) viskoziteye(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 0,0212x^2 - 2,0417x + 59,868 \quad (4.13)$$

Metanol yüzdesinin(x) viskoziteye(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 0,0555x^2 - 2,4306x + 37,98 \quad (4.14)$$

NaOH yüzdesinin(x) viskoziteye(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 10,418x^2 - 15,918x + 16,534 \quad (4.15)$$

olduğu sonucuna varılmıştır.

Sodyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün ısııl değerini en büyük yapan koşulların incelendiği durumda; sıcaklığın(x) ısııl değere(y) etkisini veren denklemin :

$$y = -0,0066x^2 + 0,7104x + 14,705 \quad (4.16)$$

Metanol yüzdesinin(x) ısııl değere(y) etkisini veren denklemin :

$$y = -0,0396x^2 + 1,5185x + 19,17 \quad (4.17)$$

NaOH yüzdesinin(x) ısı değere(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 9,1675x^2 - 11,087x + 35,932 \quad (4.18)$$

olduğu sonucuna varılmıştır.

Potasyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün hacmini en büyük yapan koşulların incelendiği durumda; sıcaklığın(x) ürün hacmine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 0,0283x^2 - 2,8163x + 277,66 \quad (4.19)$$

Metanol yüzdesinin(x) ürün hacmine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 0,4356x^2 - 17,403x + 378,13 \quad (4.20)$$

KOH yüzdesinin(x) ürün hacmine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = -62,666x^2 + 148,66x + 134 \quad (4.21)$$

olduğu sonucuna varılmıştır.

Potasyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün yoğunluğunu en küçük yapan koşulların incelendiği durumda; sıcaklığın(x) yoğunluğa(y) etkisini veren denklemin :

$$y = -5E-05x^2 + 0,0049x + 0,7408 \quad (4.22)$$

Metanol yüzdesinin(x) yoğunluğa(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 0,0003x^2 - 0,0125x + 0,9846 \quad (4.23)$$

KOH yüzdesinin(x) yoğunluğa(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 0,028x^2 - 0,0572x + 0,884 \quad (4.24)$$

olduğu sonucuna varılmıştır.

Potasyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün pH değerini en küçük yapan koşulların incelendiği durumda; sıcaklığın(x) pH değerine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 0,009x^2 - 0,8494x + 24,628 \quad (4.25)$$

Metanol yüzdesinin(x) pH değerine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = -0,025x^2 + 1,1041x - 6,683 \quad (4.26)$$

KOH yüzdesinin(x) pH değerine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = -1,3534x^2 + 2,3901x + 4,3633 \quad (4.27)$$

olduğu sonucuna varılmıştır.

Potasyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün orp değerini en küçük yapan koşulların incelendiği durumda; sıcaklığın(x) orp değerine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = -0,446x^2 + 41,81x - 853,4 \quad (4.28)$$

Metanol yüzdesinin(x) orp değerine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 0,9604x^2 - 43,69x + 573,51 \quad (4.29)$$

KOH yüzdesinin(x) orp değerine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 121,2x^2 - 234,73x + 185,7 \quad (4.30)$$

olduğu sonucuna varılmıştır.

Potasyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün viskozite değerini en küçük yapan koşulların incelendiği durumda; sıcaklığın(x) viskozitesine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 0,0057x^2 - 0,6734x + 28,469 \quad (4.31)$$

Metanol yüzdesinin(x) viskozitesine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 0,059x^2 - 2,4683x + 34,466 \quad (4.32)$$

KOH yüzdesinin(x) viskozitesine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 5,0666x^2 - 11,4x + 14,833 \quad (4.33)$$

olduğu sonucuna varılmıştır.

Potasyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün ısı değerini en büyük yapan koşulların incelendiği durumda; sıcaklığın(x) ısı değere(y) etkisini veren denklemin :

$$y = -0,0066x^2 + 0,6723x + 19,194 \quad (4.34)$$

Metanol yüzdesinin(x) ısı değere(y) etkisini veren denklemin :

$$y = -0,038x^2 + 1,4223x + 23,049 \quad (4.35)$$

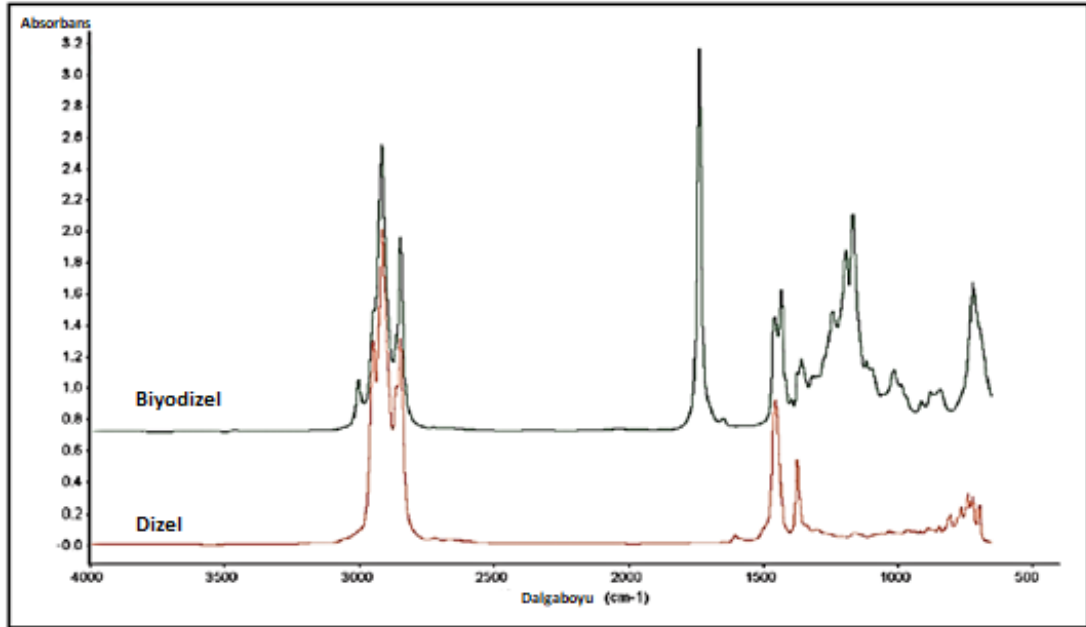
KOH yüzdesinin(x) viskozitesine(y) etkisini veren denklemin :

$$y = 1,4668x^2 - 4,4348x + 38,517 \quad (4.36)$$

olduğu sonucuna varılmıştır.

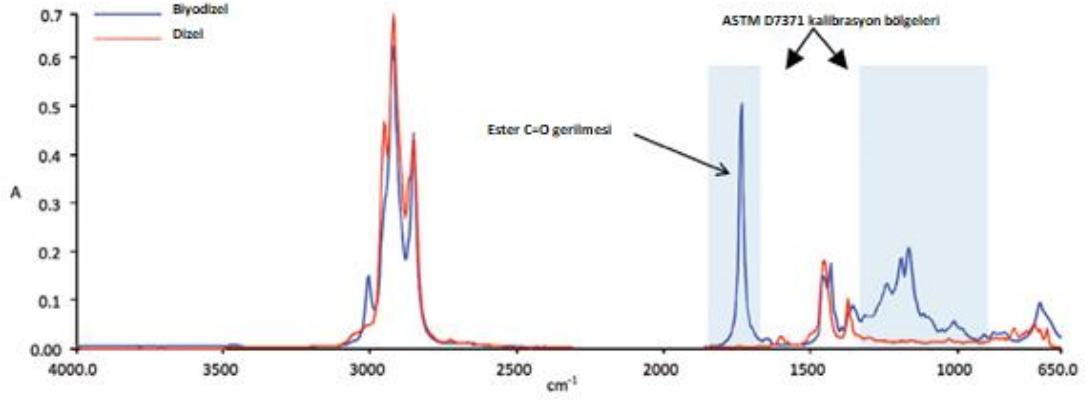
4.5. Karakterizasyon

FTIR 'da biyodizel analizini inceleyen; Thermo Scientific dergisinde de yayımlanan araştırmaya göre petrol kaynaklı dizel yakıtlar ile biyodizel grafikleri arasındaki farklar incelendiğinde biyodizelin 1750 cm^{-1} dalga boylarında pik verdiği görülmüştür bu sonuç bize FTIR yardımı ile dizel ile biyodizeli ayırt edebilmemize olanak sağlamaktadır (Bradley, 2015).



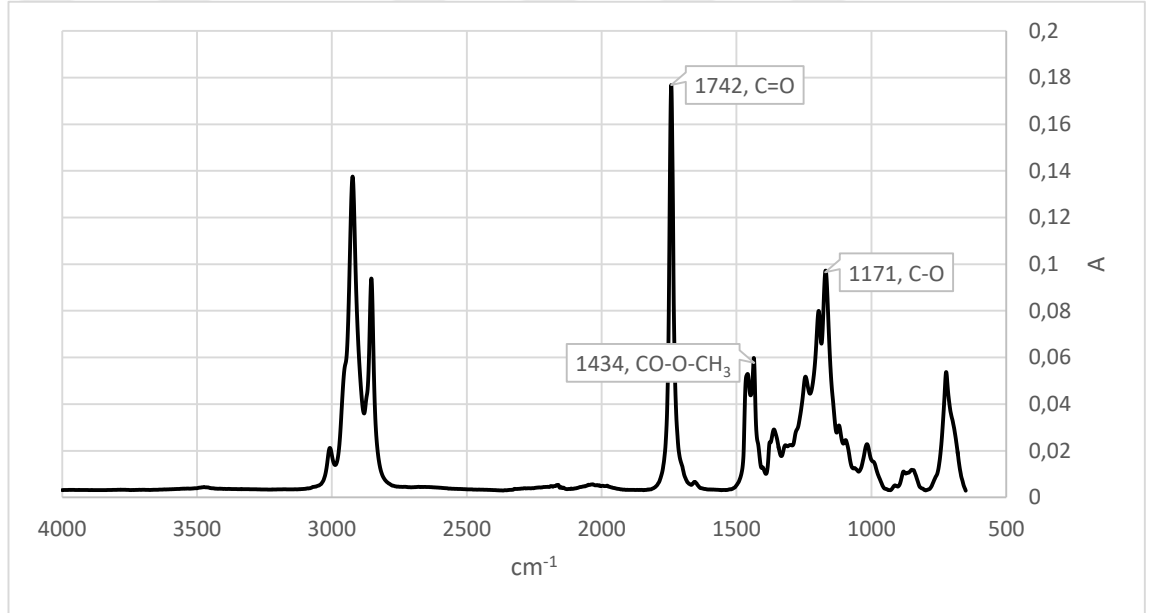
Şekil 4.31. Dizel ile biyodizel kıyaslama grafiği (Bradley, 2015)

Biyodizel karışımlarının FTIR 'da analizini inceleyen bir diğer çalışmada ise dizel yakıt karışımlarındaki biyodizeli tespit etmek için 1745 cm^{-1} dalga boyu yakınlarında sert bir pik olması gerektiği nitelenmektedir. Burada sert piki meydana getirenin karbon-ester bağının ($\text{C}=\text{O}$) olduğunu açıklamaktadır.



Şekil 4.32. Dizel ile biyodizel grafikleri arasındaki farklı pik alanlarının gösterimi (Perston, 2014)

Transesterifikasyondan sonucu üretilen metil esteri gösteren en belirgin pik 1435cm^{-1} dalga boyundadır (Perston, 2014).



Şekil 4.33. Üretim parametreleri $T(60^\circ\text{C})$, $\text{CH}_3\text{OH} \% 25$, $\text{NaOH} \% 1.0$ olan biyodizel için karakterizasyon çalışması

FTIR analizindeki 1742 cm^{-1} , 1171 cm^{-1} ve 1434 cm^{-1} dalga boylarındaki absorpsiyon pikleri biyodizelin karakteristik pik dalga boylarıdır ki biyodizel-dizel yakıt karışımlarının kalite kontrollerinde de bu piklere bakılarak içerisinde biyodizel olup olmadığı tespit edilmektedir.

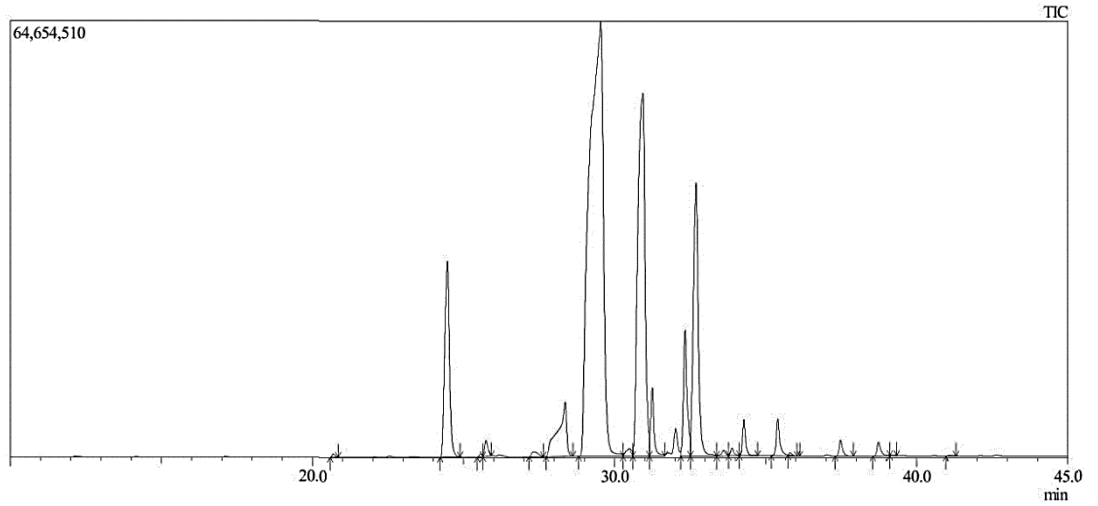
Gösterilen pikler çalışma sırasında laboratuvar koşullarında üretilen biyodizellerin içeriğinin yağ asidi metil esterlerinden meydana geldiğinin göstergesidir.

C=O, C-O ve CO-O-CH₃ grupları trigliseridlerin metil estere dönüştüğünün göstergesidir (Oyerinde, Bello, 2015).

Numuneler arasından FTIR grafiklerine bakılarak biyodizel piklerini temiz veren en uygun 4 adedi seçilerek GC-MS (Gaz kromatografisi ve Kütle spektroskopisi cihazları) ile Yağ Asidi Metil Esteri kantitatif analizi Rize Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında yaptırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Biyodizelin Avrupa Birliğindeki EN 14214:2012 standartına göre ester içeriği minimum %96.5 olarak belirtilmektedir.

Şekil 4.34 'de 1 numaralı numune olan üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 20, KOH % 0.5 olan biyodizel için GC-MS grafiği verilmiştir.



Şekil 4.34. Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 20, KOH % 0.5 olan biyodizel için GC-MS analiz grafiği

Kantitatif sonuçlar için yapılan 1 numaralı numunenin analiz grafiğinde yağ asitlerinin alıkonma sürelerine bakılarak cinsi ve alan hesabından yüzde değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 20, KOH % 0.5 olan biyodizel için GC-MS analiz sonuçları

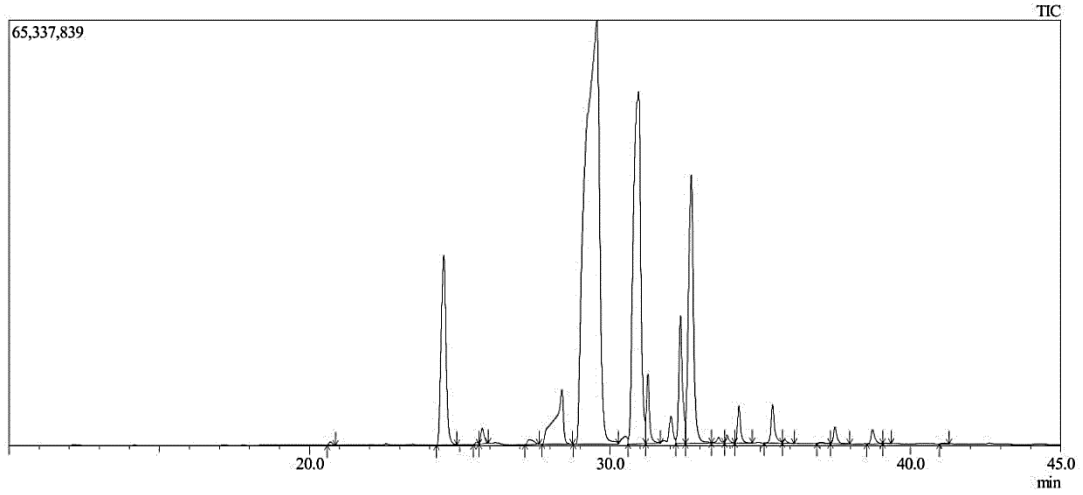
Pik	Altkonma süresi (R-time)-(dk)	% Alan	İsim
1	20.701	0.08	Tetradecanoic acid, methyl ester
2	24.475	7.33	Hexadecanoic acid, methyl ester
3	25.560	0.05	9-Hexadecenoic acid, methyl ester
4	28.373	3.65	Octadecanoic acid, methyl ester
5	29.556	47.71	9-Octadecenoic acid, methyl ester
6	30.951	20.74	9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester
7	31.267	1.77	Eicosanoic acid, methyl ester
8	32.715	10.71	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester
9	33.907	0.21	cis-11,14-Eicosadienoic acid, methyl ester
10	35.422	1.09	13-Docosenoic acid, methyl ester
11	35.831	0.05	Tricosanoic acid, methyl ester
12	37.501	0.43	Tetracosanoic acid, methyl ester
13	38.757	0.41	15-Tetracosenoic acid, methyl ester
14	41.112	0.03	Hexacosanoic acid, methyl ester
	Toplam	% 94.26	

Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 20, KOH % 0.5 olan biyodizel için GC-MS analiz sonuçlarının bulunduğu çizelge incelendiğinde ürün içeriğinin %94.26 oranında yağ asidi metil esterinden meydana geldiği tespit edilmiş olup biyodizel standartlarına yakın bir değerdir.

Metil esterlerin haricinde EK25 'da yüzde alanları gösterilen Methyl hexadec-9-enoate, n-Propyl 9,12-hexadecadienoate, Methyl 10-trans,12-cis-octadecadienoate, Methyl 5-eicosenoate, Methyl 9-cis,11-trans-octadecadienoate, Methyl 20-methyl-heneicosanoate, Methyl 23-methyl-tetracosanoate içerikte bulunmaktadır.

Metil esterler arasında baskın olanlar ise %47.71 oranında 9-Octadecenoic acid, %20.74 oranında 9,12-Octadecadienoic acid, %10.71 oranında 9,12,15-Octadecatrienoic acid, %7.33 oranında Hexadecanoic acid, %3.65 oranında Octadecanoic acid ve %1.77 oranında Eicosanoic acid 'dir.

Şekil 4.35 'te numaralı numune olan üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 25, KOH % 1.0 olan biyodizel için GC-MS grafiği verilmiştir.



Şekil 4.35. Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 25, KOH % 1.0 olan biyodizel için GC-MS analiz grafiği

Kantitatif sonuçlar için yapılan 2 numaralı numunenin analiz grafiğinde yağ asitlerinin alıkonma sürelerine bakılarak cinsi ve alan hesabından yüzde değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 25, KOH % 1.0 olan biyodizel için GC-MS analiz sonuçları

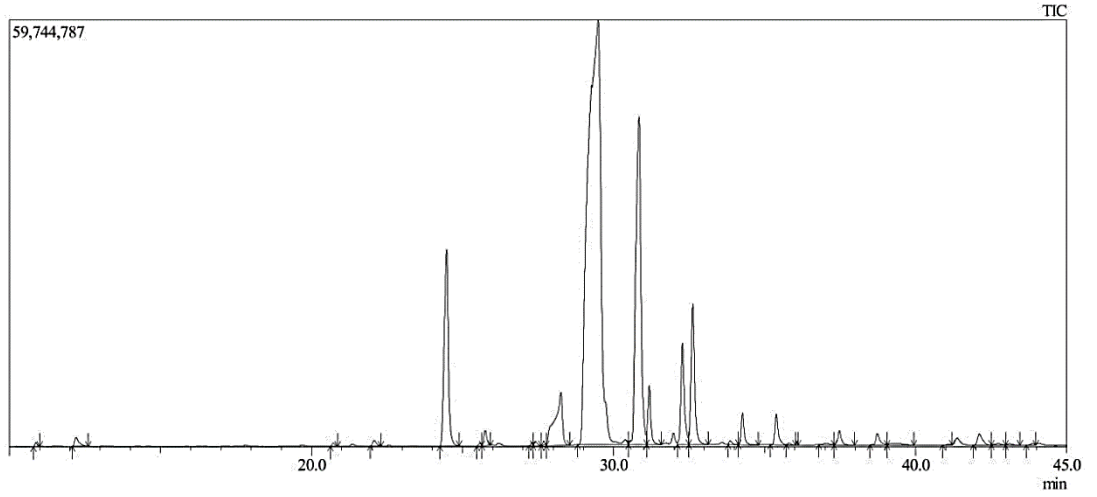
Pik	Alıkonma süresi (R-time)-(dk)	% Alan	İsim
1	20.704	0.09	Tetradecanoic acid, methyl ester
2	24.479	7.29	Hexadecanoic acid, methyl ester
3	25.560	0.05	9-Hexadecenoic acid, methyl ester
4	28.411	3.74	Octadecanoic acid, methyl ester
5	29.580	47.88	9-Octadecenoic acid, methyl ester
6	30.963	20.73	9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester
7	31.281	1.72	Eicosanoic acid, methyl ester
8	32.725	10.72	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester
9	33.914	0.21	cis-11,14-Eicosadienoic acid, methyl ester
10	35.429	1.09	13-Docosenoic acid, methyl ester
11	35.834	0.10	Tricosanoic acid, methyl ester
12	37.023	0.05	11-Eicosenoic acid, methyl ester
13	37.506	0.45	Tetracosanoic acid, methyl ester
14	38.760	0.41	15-Tetracosenoic acid, methyl ester
15	41.112	0.03	Hexacosanoic acid, methyl ester
	Toplam	% 94.56	

Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 25, KOH % 1.0 olan biyodizel için GC-MS analiz sonuçlarının bulunduğu çizelge incelendiğinde ürün içeriğinin %94.56 oranında yağ asidi metil esterinden meydana geldiği tespit edilmiş olup biyodizel standartlarına yakın bir değerdir.

Metil esterlerin haricinde EK26 'da yüzde alanları gösterilen Methyl hexadec-9-enoate, n-Propyl 9,12-hexadecadienoate, Methyl 5-eicosenoate, Methyl 9-cis,11-trans-octadecadienoate, Methyl 20-methyl-heneicosanoate, Methyl 22-methyl-tetracosanoate içerikte bulunmaktadır.

Metil esterler arasında baskın olanlar ise %47.88 oranında 9-Octadecenoic acid, %20.73 oranında 9,12-Octadecadienoic acid, %10.72 oranında 9,12,15-Octadecatrienoic acid, %7.29 oranında Hexadecanoic acid, %3.74 oranında Octadecanoic acid ve %1.72 oranında Eicosanoic acid 'dir.

Şekil 4.36 'da numaralı numune olan üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 20, NaOH % 0.2 olan biyodizel için GC-MS grafiği verilmiştir.



Şekil 4.36. Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 20, NaOH % 0.2 olan biyodizel için GC-MS analiz grafiği

Kantitatif sonuçlar için yapılan 3 numaralı numunenin analiz grafiğinde yağ asitlerinin alıkonma sürelerine bakılarak cinsi ve alan hesabından yüzde değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5. Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 20, NaOH % 0.2 olan biyodizel için GC-MS analiz sonuçları

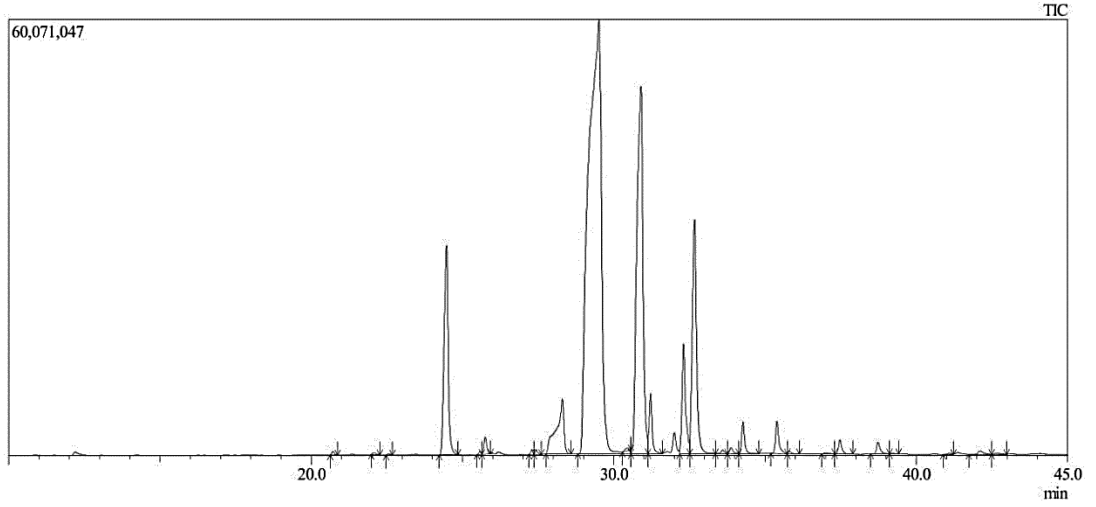
Pik	Alkonma süresi (R-time)-(dk)	% Alan	İsim
1	12.205	0.41	Octanoic acid, methyl ester
2	20.735	0.09	Tetradecanoic acid, methyl ester
3	24.484	8.03	Hexadecanoic acid, methyl ester
4	25.579	0.07	9-Hexadecenoic acid, methyl ester
5	28.268	4.02	Octadecanoic acid, methyl ester
6	29.504	54.81	9-Octadecenoic acid, methyl ester
7	30.861	16.78	9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester
8	31.202	1.73	Eicosanoic acid, methyl ester
9	32.301	3.44	11-Eicosenoic acid, methyl ester
10	32.643	5.08	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester
11	33.895	0.12	11,13-Eicosadienoic acid, methyl ester
12	35.407	1.06	13-Docosenoic acid, methyl ester
13	35.826	0.05	Tricosanoic acid, methyl ester
14	37.024	0.11	cis-11-Eicosenoic acid, methyl ester
15	37.496	0.50	Tetracosanoic acid, methyl ester
16	39.218	0.21	Pentacosanoic acid, methyl ester
17	41.115	0.04	Hexacosanoic acid, methyl ester
18	42.129	0.57	Oxiraneoctanoic acid, 3-octyl-, methyl ester
Toplam		% 97.2	

Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 20, NaOH % 0.2 olan biyodizel için GC-MS analiz sonuçlarının bulunduğu çizelge incelendiğinde ürün içeriğinin %97.2 oranında yağ asidi metil esterinden meydana geldiği tespit edilmiş olup biyodizel standartlarına uygun bir değerdir.

Metil esterlerin haricinde EK27 'de yüzde alanları gösterilen Hexanal, 2,4-Decadienal, Methyl hexadec-9-enoate, n-Propyl 9,12-hexadecadienoate, Methyl 16-acetoxyheptadecanoate, Methyl 4-oxooctanoate, Methyl 20-methyl-heneicosanoate, Methyl 13,16-docosadienoate içerikte bulunmaktadır.

Metil esterler arasında baskın olanlar ise %54.81 oranında 9-Octadecenoic acid, %16.78 oranında 9,12-Octadecadienoic acid, %5.08 oranında 9,12,15-Octadecatrienoic acid, %8.03 oranında Hexadecanoic acid, %4.02 oranında Octadecanoic acid ve %1.73 oranında Eicosanoic acid 'dir.

Şekil 4.37 'de 4 numaralı numune olan üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 25, NaOH % 0.4 olan biyodizel için GC-MS grafiği verilmiştir.



Şekil 4.37. Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 25, NaOH % 0.4 olan biyodizel için GC-MS analiz grafiği

Kantitatif sonuçlar için yapılan 4 numaralı numunenin analiz grafiğinde yağ asitlerinin alıkonma sürelerine bakılarak cinsi ve alan hesabından yüzde değerleri hesaplanmıştır.

Seçilen dört numune için GC-MS analiz sonuçları değerlendirildiğinde, KOH 'in katalizör olarak kullanıldığı ilk iki numunede ester dönüşüm oranları % 94.26 ve %94.56 olarak ölçülmüştür; kıyaslandığında ikinci numunede metanol oranı yüzde 5 ve KOH oranı yüzde 0.05 artırılmıştır sonuç olarak ester dönüşümü yüzde 0.30 artmıştır.

NaOH 'un katalizör olarak kullanıldığı ikinci iki numunede ester dönüşüm oranları % 97.20 ve %97.76 olarak ölçülmüştür; kıyaslandığında ikinci numunede metanol oranı yüzde 5 ve NaOH oranı yüzde 0.02 artırılmıştır sonuç olarak ester dönüşümü yüzde 0.56 artmıştır.

Metil ester dönüşüm oranlarına bakıldığında katalizör olarak NaOH kullanıldığında dönüşümün yaklaşık %3 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6. Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 25, NaOH % 0.4 olan biyodizel için GC-MS analiz sonuçları

Pik	Alkonma süresi (R-time)-(dk)	% Alan	İsim
1	20.725	0.09	Tetradecanoic acid, methyl ester
2	22.566	0.03	Pentadecanoic acid, methyl ester
3	24.483	7.60	Hexadecanoic acid, methyl ester
4	25.578	0.07	9-Hexadecenoic acid, methyl ester
5	28.314	3.70	Octadecanoic acid, methyl ester
6	29.521	50.23	9-Octadecenoic acid, methyl ester
7	30.914	20.10	9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester
8	31.237	1.58	Eicosanoic acid, methyl ester
9	32.325	3.49	11-Eicosenoic acid, methyl ester
10	32.688	8.89	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester
11	33.895	0.18	cis-11,14-Eicosadienoic acid, methyl ester
12	35.413	1.00	13-Docosenoic acid, methyl ester
13	35.820	0.08	Tricosanoic acid, methyl ester
14	37.017	0.05	9-Octadecenoic acid, methyl ester
15	37.496	0.42	Tetracosanoic acid, methyl ester
16	39.220	0.02	Pentacosanoic acid, methyl ester
17	41.111	0.03	Hexacosanoic acid, methyl ester
18	42.130	0.15	Oxiraneoctanoic acid, 3-octyl-, methyl ester
19	42.657	0.05	9-Octadecenoic acid, methyl ester
Toplam		% 97.76	

Üretim parametreleri T(60°C), CH₃OH % 25, NaOH % 0.4 olan biyodizel için GC-MS analiz sonuçlarının bulunduğu çizelge incelendiğinde ürün içeriğinin %97.76 oranında yağ asidi metil esterinden meydana geldiği tespit edilmiş olup biyodizel standartlarına uygun bir değerdir.

Metil esterlerin haricinde EK22 'de yüzde alanları gösterilen 2,4-Decadienal, Methyl hexadec-9-enoate, n-Propyl 9,12-hexadecadienoate, Methyl 16-acetoxyheptadecanoate, Methyl 10-trans,12-cis-octadecadienoate, Methyl 9-cis,11-trans-octadecadienoate, Methyl 20-methyl-heneicosanoate içerikte bulunmaktadır.

Metil esterler arasında baskın olanlar ise %50.23 oranında 9-Octadecenoic acid, %20.10 oranında 9,12-Octadecadienoic acid, %8.89 oranında 9,12,15-Octadecatrienoic acid, %7.60 oranında Hexadecanoic acid, %3.70 oranında Octadecanoic acid ve %1.58 oranında Eicosanoic acid 'dir.

4.6. Parametrelerin Hassasiyet Analizi

Reaksiyon parametrelerinin ürün özelliklerine etkisinin hassasiyetini tespit edilmesi üzerine yaptığımızda giriş parametrelerin reaksiyon sırasında kullanılan orta değerlerine +/-%10 ilave ve azaltma uygulayarak her %10 luk değişimde ürün özelliğine % kaç etki ettiği araştırılarak parametre hassasiyeti incelenmiş, tespit edilen sonuçlar aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 4.7. KOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin ürün hacmi üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi

	%	%	%	%	Orta Değer	%	%	%	%
KOH	-40	-30	-20	-10	1%	10	20	30	40
Hacime Etkisi %	3,35	2,64	1,98	1,36		0,78	0,2	-0,36	-0,93
Metanol	-40	-30	-20	-10	20%	10	20	30	40
Hacime Etkisi %	-3,46	-2,98	-2,14	-0,83		0,87	2,91	5,4	8,27
Sıcaklık	-40	-30	-20	-10	50°C	10	20	30	40
Hacime Etkisi %	-1,45	-1,22	-0,85	-0,31		0,37	1,19	2,24	3,52

Parametrelerin ürün üzerine etkilerini veren denklemler polinomal olduğundan etki doğrusal değildir, %10 'luk artış ve azalışlarda değerlerin polinom üzerinde bulunduğu noktalardaki etkileri tek tek incelenmiştir; istenilen aralıktaki etki çizelgeden tespit edilebilir.

Çizelge 4.8. KOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin orp değeri üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi

	%	%	%	%	Orta Değer	%	%	%	%
KOH	-40%	-30%	-20%	-10%	1%	10%	20%	30%	40%
Orp Etkisi %	-5,81	-4,94	-3,29	-0,61		2,74	6,71	11,2	15,74
Metanol	-40%	-30%	-20%	-10%	20%	10%	20%	30%	40%
Orp Etkisi %	-15,04	-16,27	-16,57	-14,64		-8	1,94	15,74	29,23
Sıcaklık	-40%	-30%	-20%	-10%	50°C	10%	20%	30%	40%
Orp Etkisi %	104,2	38,88	15,27	-2,24		-20,56	-55,02	-206	295,4

Çizelge 4.9. KOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin pH değeri üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi

	%	%	%	%	Orta Değer	%	%	%	%
KOH	-40%	-30%	-20%	-10%	1%	10%	20%	30%	40%
Ph Etkisi %	-5,81	-4,94	-3,29	-0,61		2,74	6,71	11,2	15,74
Metanol	-40%	-30%	-20%	-10%	20%	10%	20%	30%	40%
Ph Etkisi %	-15,04	-16,27	-16,57	-14,64		-8	1,94	15,74	29,23
Sıcaklık	-40%	-30%	-20%	-10%	50°C	10%	20%	30%	40%
Ph Etkisi %	104,2	38,88	15,27	-2,24		-20,56	-55,02	-206	295,4

Çizelge 4.10. KOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin viskozite üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi

	%	%	%	%	Orta Değer	%	%	%	%
KOH	-40%	-30%	-20%	-10%	1%	10%	20%	30%	40%
Viskoziteye Etkisi %	-3,35	-3,17	-2,76	-2,04		-0,89	0,4	2,11	4,26
Metanol	-40%	-30%	-20%	-10%	20%	10%	20%	30%	40%
Vizkoziteye Etkisi %	-9,94	-9,59	-8,14	-4,95		0,22	6,5	13,81	20,9
Sıcaklık	-40%	-30%	-20%	-10%	50°C	10%	20%	30%	40%
Viskoziteye Etkisi %	-8,12	-8,27	-7,94	-6,79		-4,14	0,95	3,58	9,21

Çizelge 4.11. KOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin yoğunluk üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi

	%	%	%	%	Orta Değer	%	%	%	%
KOH	-40%	-30%	-20%	-10%	1%	10%	20%	30%	40%
Yoğunluğa Etkisi %	-0,16	-0,13	-0,1	-0,05		0,02	0,1	0,2	0,33
Metanol	-40%	-30%	-20%	-10%	20%	10%	20%	30%	40%
Yoğunluğa Etkisi %	-0,7	-0,61	-0,47	-0,26		0,02	0,35	0,77	1,32
Sıcaklık	-40%	-30%	-20%	-10%	50°C	10%	20%	30%	40%
Yoğunluğa Etkisi %	0,62	0,5	0,33	0,09		-0,2	-0,56	-1,03	-1,64

Çizelge 4.12. KOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin ısı değeri üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi

	%	%	%	%	Orta Değer	%	%	%	%
KOH	-40%	-30%	-20%	-10%	1%	10%	20%	30%	40%
Isıl Değere Etkisi %	-0,69	-0,62	-0,54	-0,46		-0,38	-0,30	-0,22	-0,13
Metanol	-40%	-30%	-20%	-10%	20%	10%	20%	30%	40%
Isıl Değere Etkisi %	1,53	1,15	0,61	-0,12		-0,96	-2,04	-3,50	-5,50
Sıcaklık	-40%	-30%	-20%	-10%	50°C	10%	20%	30%	40%
Isıl Değere Etkisi %	2,30	1,91	1,37	0,63		-0,29	-1,37	-2,82	-4,80

Çizelge 4.13. NaOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin ürün hacmi üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi

	%	%	%	%	Orta Değer	%	%	%	%
NaOH	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	0,4%	0,10	0,20	0,30	0,40
Hacime Etkisi %	2,06	1,78	1,39	0,84		0,13	-0,68	-1,75	-3,18
Metanol	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	20%	0,10	0,20	0,30	0,40
Hacime Etkisi %	-1,04	-0,37	0,59	1,87		3,10	4,72	6,59	8,66
Sıcaklık	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	50°C	0,10	0,20	0,30	0,40
Hacime Etkisi %	27,22	17,39	9,75	2,33		-5,49	-15,88	-34,41	-82,89

Çizelge 4.14. NaOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin orp değeri üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi

	%	%	%	%	Orta Değer	%	%	%	%
NaOH	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	0,4%	0,10	0,20	0,30	0,40
Orp Etkisi %	4,01	5,63	7,48	9,53		10,43	12,19	13,90	15,50
Metanol	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	20%	0,10	0,20	0,30	0,40
Orp Etkisi %	16,11	11,36	6,84	1,92		-3,48	-10,39	-21,42	-43,33
Sıcaklık	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	50°C	0,10	0,20	0,30	0,40
Orp Etkisi %	-32,63	-39,90	-45,20	-27,29		55,65	108,48	97,37	78,87

Çizelge 4.15. NaOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin pH değeri üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi

	%	%	%	%	Orta Değer	%	%	%	%
NaOH	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	0,4%	0,10	0,20	0,30	0,40
Ph Etkisi %	1,30	0,91	0,36	-0,38		-1,21	-2,31	-3,79	-5,83
Metanol	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	20%	0,10	0,20	0,30	0,40
Ph Etkisi %	1,02	0,44	-0,36	-1,46		-2,60	-4,27	-6,59	-9,94
Sıcaklık	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	50°C	0,10	0,20	0,30	0,40
Ph Etkisi %	18,96	13,13	7,90	2,42		-3,52	-11,04	-23,22	-48,35

Çizelge 4.16. NaOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin viskozite üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi

	%	%	%	%	Orta Değer	%	%	%	%
NaOH	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	0,4%	0,10	0,20	0,30	0,40
Viskoziteye Etkisi %	-2,26	-2,41	-2,54	-2,63		-2,42	-2,40	-2,29	-2,06
Metanol	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	20%	0,10	0,20	0,30	0,40
Vizkoziteye Etkisi %	1,02	0,44	-0,36	-1,46		-2,60	-4,27	-6,59	-9,94
Sıcaklık	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	50°C	0,10	0,20	0,30	0,40
Viskoziteye Etkisi %	18,96	13,13	7,90	2,42		-3,52	-11,04	-23,22	-48,35

Çizelge 4.17. NaOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin yoğunluk üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi

	%	%	%	%	Orta Değer	%	%	%	%
NaOH	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	0,4%	0,10	0,20	0,30	0,40
Yoğunluğa Etkisi %	-0,16	-0,15	-0,14	-0,12		-0,09	-0,06	-0,01	0,05
Metanol	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	20%	0,10	0,20	0,30	0,40
Yoğunluğa Etkisi %	-0,78	-0,71	-0,58	-0,39		-0,11	0,19	0,60	1,11
Sıcaklık	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	50°C	0,10	0,20	0,30	0,40
Yoğunluğa Etkisi %	-1,01	-0,88	-0,68	-0,38		0,03	0,50	1,11	1,89

Çizelge 4.18. NaOH katalizörlüğünde üretilen biyodizelin ısı değeri üzerine giriş parametrelerinin yüzde etkisi

	%	%	%	%	Orta Değer	%	%	%	%
NaOH	-40%	-30%	-20%	-10%	0,4%	10%	20%	30%	40%
Isıl Değere Etkisi %	-0,52	-0,53	-0,52	-0,50		-0,41	-0,35	-0,26	-0,14
Metanol	-40%	-30%	-20%	-10%	20%	10%	20%	30%	40%
Isıl Değere Etkisi %	1,90	1,48	0,89	0,08		-0,86	-2,05	-3,65	-5,87
Sıcaklık	-40%	-30%	-20%	-10%	50°C	10%	20%	30%	40%
Isıl Değere Etkisi %	2,99	2,58	2,01	1,25		0,26	-0,84	-2,31	-4,31

Potasyum hidroksitin ve Sodyum hidroksitin katalizörlüğünde üretilen biyodizeller için alınan ölçüm sonuçlarının excelde grafiğe geçirilmesi ve sonucunda elde edilen ampirik denklem üzerinde ölçümlerin %10'ar artırılıp azaltılarak denenmesi ile sonuçlar üzerine etkileri tespit edilmiş ve giriş parametrelerinin ürün özelliklerine etkisinin hassasiyeti, boyutu incelenmiş ve yüzde etkileri yukarıdaki çizelgelerde ayrı ayrı verilmiş olup aranan özellik ve parametre için çizelgelerden nokta atış tespitleri yapılabilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sodyum hidroksit ve potasyum hidroksitin ayrı ayrı katalizör olarak kullanıldığı bu çalışmada; sıcaklığın, katalizör çözeltisindeki metanol yüzdesinin ve katalizör miktarının değişmesi durumunda bu değişkenlerin ürün özelliklerinden olan yoğunluğa, pH değerine, orp değerine, ürün hacmine, viskoziteye ve ısıl değere nasıl etki ettiği tespit edilmiştir.

Ürünler enstrümental olarak FTIR ve GC-MS ile analiz edilmiş karakterizasyonları yapılarak kontrol edilmiştir.

Minitab programından alınan veriler excelde grafiğe dökülerek sıcaklığın, metanol yüzdesinin ve NaOH yüzdesinin ürün özelliklerine değişimini veren denklemler elde edilmiştir.

Sodyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün hacmini en büyük yapan koşulların sıcaklığın 50°C olduğu, metanol yüzdesinin %25 (v/v) olduğu ve NaOH yüzdesinin %0,4 (w/w) olduğu durumda sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Sodyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün yoğunluğunu en küçük yapan koşulların sıcaklığın 50°C olduğu, metanol yüzdesinin %25 (v/v) olduğu ve NaOH yüzdesinin %0,6 (w/w) olduğu durumda sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Sodyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün pH değerini en küçük yapan koşulların sıcaklığın 50°C olduğu, metanol yüzdesinin %25 (v/v) olduğu ve NaOH yüzdesinin %0,6 (w/w) olduğu durumda sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Sodyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün orp değerini en küçük yapan koşulların sıcaklığın 50°C olduğu, metanol yüzdesinin %25 (v/v) olduğu ve NaOH yüzdesinin %0,2 (w/w) olduğu durumda sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Sodyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün viskozite değerini en küçük yapan koşulların sıcaklığın 50°C olduğu, metanol yüzdesinin %20 (v/v) olduğu ve NaOH yüzdesinin %0,6 (w/w) olduğu durumda sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Sodyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün ısıl değerini en büyük yapan koşulların sıcaklığın 50°C olduğu, metanol yüzdesinin %20 (v/v) olduğu ve NaOH yüzdesinin %0,2 (w/w) olduğu durumda sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Potasyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün hacmini en büyük yapan koşulların sıcaklığın 60°C olduğu, metanol yüzdesinin %25 (v/v) olduğu ve KOH yüzdesinin %1 (w/w) olduğu durumda sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Potasyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün yoğunluğunu en küçük yapan koşulların sıcaklığın 60°C olduğu, metanol yüzdesinin %20 (v/v) olduğu ve KOH yüzdesinin %1 (w/w) olduğu durumda sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Potasyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün pH değerini en küçük yapan koşulların sıcaklığın 50°C olduğu, metanol yüzdesinin %16,7 (v/v) olduğu ve KOH yüzdesinin %1,5 (w/w) olduğu durumda sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Potasyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün orp değerini en küçük yapan koşulların sıcaklığın 60°C olduğu, metanol yüzdesinin %25 (v/v) olduğu ve KOH yüzdesinin %1 (w/w) olduğu durumda sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Potasyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün viskozite değerini en küçük yapan koşulların sıcaklığın 60°C olduğu, metanol yüzdesinin %20 (v/v) olduğu ve KOH yüzdesinin %1 (w/w) olduğu durumda sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Potasyum hidroksit katalizör olarak kullanıldığında ürün ısıl değerini en büyük yapan koşulların sıcaklığın 50°C olduğu, metanol yüzdesinin %20 (v/v) olduğu ve KOH yüzdesinin %0.5 (w/w) olduğu durumda sağlandığı sonucuna varılmıştır.

FTIR analizleriyle karakterizasyon kısmında belirtilen diğer akademik çalışmalarda da olduğu gibi ürün içeriğinin biyodizelden meydana gelip gelmediği tetkik edilmiş ve biyodizel dizel karışımlarında biyodizel varlığının tespitinin yaygın olarak bu yöntemle yapıldığını görülmüştür.

GC-MS analiz cihazlarında yapılan tetkiklerde ise ürün içeriğinin kantitatif analizi Rize Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında yaptırılmış ve biyodizellerin ihtiva ettiği yağ asidi metil esterleri belirlenmiş ve karakterizasyonu yapılmıştır.

Grafiklere baktığımızda sodyum hidroksit katalizör olarak kullanılarak üretilen biyodizelerde dönüşümün daha verimli olduğu ve içeriğindeki metilester miktarının standartların üzerinde olduğu dolayısıyla daha kaliteli ürün elde edildiği görülmüştür.

Benzer çalışmalar yapılırken potasyum hidroksit yerine sodyum hidroksitin katalizör olarak tercih edilmesi elde edilen sonuçlar ışığında önerilmektedir.

Tüm bu çalışmalar sonucunda başta biyodizel üretimi yapan firmalar için klavuz olabilecek veriler ışığında biyodizelin özelliklerinde iyileştirmeye gitmek için reaksiyon parametrelerinde ne gibi değişiklik yapılması gerektiği belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışmalara ek olarak ileride biyodizelin yakıt özelliklerini içerdiği yağ asitlerinden hangisinin nasıl etkilediği ve kaliteyi artıracak yağ asidi türlerinin reaksiyon sırasında nasıl artırılacağı çalışılabilir.

KAYNAKLAR

- Abak, H., (2008). Sulu çözeltilerden metilen mavisinin fındık kabuğu yüzeyine adsorpsiyon ve adsorpsiyon kinetiği. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, 99, Balıkesir.
- Akay, F. (2017). Atık zeytinyağından elde edilen biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Anabilim Dalı, 3, Afyon
- Alptekin, E. (2007). Biyodizel ile dizel yakıtlarının harmanlanmasında yakıt özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, 18, Kocaeli
- Aslan, M. (2015). Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin projelendirilerek imal edilmesi ve yabancı zeytinden (oleaoleaster) üretilecek biyodizelin yakıt özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, 19, Bursa
- Anonim (2018). The Reaction of Biodiesel: Transesterification. <https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/684> (Erişim tarihi : 05.03.2018)
- Anonim (2012). Biyokütle Sektör Raporu. Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı. https://www.baka.org.tr/uploads/1349952570biyokutle-sektor-raporu_11eylul.Pdf. (Erişim tarihi : 27.02.2017)
- Anonim (2017). Bitkisel kökenli yerli yakıtlar: Biyodizel ve alkol. <http://www.dunyagida.com.tr/kose-yazisi/bitkisel-kokenli-yerli-yakitlar-biyodizel-ve-alkol/7118>. (Erişim tarihi : 19.07.2017)
- Anonim (2017). Dünyada Ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji. Seta. <https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf> (Erişim tarihi : 11.08.2017)
- Anonim (2017). Kolza Bitkileri, Özellikleri. Techworm. <http://www.tech-worm.com/kolza-bitkisi-nedir-ozellikleri-nelerdir>. (Erişim tarihi : 05.09.2017)
- Anonim (2017). Bitkisel Yağlar, Bitkisel Yağ Sanayicileri Derneği. http://www.bysd.org.tr/uploads/dosyalar/bitkisel_yaglar.pdf. (Erişim tarihi : 06.09.2017)
- Anonim (2017). Motorin türlerine biodizel harmanlanması hakkında tebliğ. <http://www.epdk.org.tr/TR/Dokuman/8006>. (Erişim tarihi : 09.10.2017)
- Anonim (2017). Bitkisel üretime destekleme ödemesi yapılmasına dair tebliğ. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/09/20170917-12-1.pdf>. (Erişim tarihi : 03.11.2017)
- Bradley, M. (2015). Biodiesel (FAME) analysis by FT-IR, Thermo Fisher Scientific, Madison, WI, 51258, 2-3

- Cheng J. and Li Tao (2015) Combustion dynamics of biodiesel produced by supercritical methanol transesterification, State Key Laboratory of Clean Energy Utilization, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China, Fuel Processing Technology 131 (2015) 409–413
- Farid A. and Kiatkittipong W. (2015) Process design of continuous biodproduction by reactive distillation: Comparison between homogeneous and heterogeneous catalysts, Engineering Department, Lancaster University, Lancaster, LA1 4YR, United Kingdom, Chemical Engineering and Processing 92 (2015) 33–44
- Gomes, M. and Sanos D. Q. (2015) Purification of biodiesel by dry washing, employing starch and cellulose as natural adsorbents, Federal University of Uberlândia, Chemistry Institute, Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1D, Campus Santa Mônica, Uberlândia, Brazil, Minas Gerais 155 (2015) 1–6
- Guan-Yi, C. and Shan R. (2015) Transesterification of palm oil to biodiesel using rice husk ash-based catalysts, School of Environmental Science and Engineering, State Key Lab of Engines, Tianjin University, Tianjin, China, 133 (2015) 8–13
- Günay, S. (2017). For the pupose of energy farming, sunflower, rape, soybean agriculture in turkey, Eastern Geographical Review, 20, 170-171
- Koç, M. (2011). Biyodizel üretimine uygun türkiye’de yetişen ve yetiştirilecek bitkileri ve biyodizel teknolojilerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 63, İstanbul
- Kösekul, Y. (2017). Kanola yağından dmc-biyodizel üretimi için katalizör tasarımı ve kinetik çalışmalar. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, 5, Ankara
- Nurull Muna, D. and Siti Rozaimah, S. (2015) Production of biodiesel and its wastewater treatment Technologies, Department of Chemical and Process Engineering, Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan, Selangor, Malaysia, Process Safety and Environmental Protection 94 (2015) 487–508
- Obie F. and Takashi Y. (2014) New approach of catalyst-free biodiesel production from canola oil in supercritical tert-butyl methyl ether (MTBE), Department of Mechanical Science and Engineering, Hiroshima University, 1-4-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Japan, Fuel 135 (2014) 172–181
- Oyerinde A.Y. and Bello, E. I. (2015). Use of fourier transformation infrared (FTIR) spectroscopy for analysis of functional groups in peanut oil biodiesel and its blends. 1Department of Mechanical Engineering, Federal University of Technology, P.M.B.704, Akure, Ondo State, Nigeria. 13(3): 9

- Perston, B. and Harris, N. (2014). Biodiesel blend analysis by FT-IR, Perkinelmer, 008859-01, 2-3
- Sadia, N. and Hui L. (2015) Preparation of biodiesel from soybean oil using La/Mn oxide catalyst, State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, PR China, Fuel Processing Technology 131 (2015) 290–296
- Silvana, A. and Sarruguça, J. (2015). Optimization of NIR spectroscopy based PLSR models for critical properties of vegetable oils used in biodiesel production, Institute for Biotechnology and Bioengineering, Instituto Superior Técnico, University of Lisbon, Lisbon, Portugal, 150 (2015) 697–704
- Şanlı, H. (2014). Atık kızartma yağlarının karakterizasyonu ve biyodizel üretiminde değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, 54, Kocaeli
- Şeker, S. (2007). Biyodizel üretimi ve katkı maddelerinin yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, 12, Ankara
- Wakil M.A. and Kalam M. (2015) Influence of biodiesel blending on physicochemical properties and importance of mathematical model for predicting the properties of biodiesel blend, Center for Energy Sciences, Department of Mechanical Engineering, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia, 94 (2015) 51–67
- Yaşar, F. (2016). Yosun yağından biyodizel üretimi ve bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanılması. Doktora Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 3, Batman
- Yılmazçoban, N. (2012). Biyodizel atıksularının biyolojik arıtılabilirliğinin incelenmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 7, Sakarya
- Yurdaarman, N. (2009). Çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, 1-2, İstanbul

**EK 1 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(40°C), CH₃OH % 16.7, KOH % 0.5
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	3006.9	0,0203
2	2923.11	0,1376
3	2853.5	0,0942
4	1741.62	0,1659
5	1458.44	0,0542
6	1435.85	0,0573
7	1361.37	0,0300
8	1243.66	0,0525
9	1195.11	0,0784
10	1169.34	0,0999
11	1015.78	0,0246
12	853.37	0,0114
13	722.37	0,0526

**EK 2 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(40°C), CH₃OH % 20, KOH % 1.0
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	2922,07	0,0799
2	2853,04	0,0581
3	1741,2	0,1229
4	1458,3	0,0383
5	1435,53	0,0448
6	1360,84	0,0221
7	1243,83	0,0393
8	1194,89	0,0646
9	1169,4	0,0830
10	1014,58	0,0186
11	855,13	0,0085
12	722,49	0,0450

**EK 3 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(40°C), CH₃OH % 25, KOH % 1.5
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	3007,01	0,0156
2	2922,55	0,1007
3	2853,29	0,0713
4	1741,36	0,1424
5	1458,26	0,0450
6	1435,6	0,0525
7	1361,21	0,0243
8	1243,9	0,0446
9	1195,22	0,0720
10	1169,58	0,0889
11	1015,01	0,0206
12	852,88	0,0091
13	722,54	0,0469

**EK 4 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(50°C), CH₃OH % 16.7, KOH % 1.0
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	3006,59	0,0129
2	2922,27	0,0963
3	2853,17	0,0687
4	1741,21	0,1386
5	1458,26	0,0428
6	1435,69	0,0481
7	1361,23	0,0241
8	1244,02	0,0443
9	1195,24	0,0685
10	1169,16	0,0853
11	1015,96	0,0195
12	850,85	0,0086
13	722,52	0,0474

**EK 5 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(50°C), CH₃OH % 20, KOH % 1.5
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	3006,69	0,0171
2	2923,04	0,1205
3	2853,46	0,0829
4	1741,4	0,1557
5	1458,46	0,0470
6	1435,69	0,0543
7	1361,18	0,0263
8	1244,32	0,0482
9	1195,36	0,0757
10	1169,64	0,0928
11	1015,99	0,0215
12	845,64	0,0091
13	722,49	0,0477

**EK 6 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(50°C), CH₃OH % 25, KOH % 0.5
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	3006,86	0,0171
2	2922,96	0,1290
3	2853,45	0,0888
4	1741,48	0,1630
5	1458,38	0,0496
6	1435,79	0,0548
7	1361,44	0,0279
8	1244,21	0,0504
9	1195,39	0,0767
10	1169,4	0,0948
11	1015,96	0,0218
12	853,08	0,0097
13	722,49	0,0507

**EK 7 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(60°C), CH₃OH % 16.7, KOH % 1.5
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	2921,6	0,0709
2	2852,84	0,0530
3	1741,23	0,1202
4	1458,27	0,0369
5	1435,47	0,0428
6	1360,79	0,0210
7	1243,68	0,0386
8	1194,94	0,0609
9	1168,81	0,0767
10	1015,73	0,0178
11	843,85	0,0090
12	722,24	0,0465
13	2921,6	0,0709

**EK 8 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(60°C), CH₃OH % 20, KOH % 0.5
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	3007,34	0,0155
2	2923,08	0,1276
3	2853,48	0,0866
4	1741,74	0,1646
5	1458,51	0,0458
6	1435,75	0,0496
7	1361,3	0,0226
8	1243,72	0,0459
9	1195,17	0,0725
10	1169,18	0,0923
11	1015,97	0,0173
12	850,47	0,0063
13	722,22	0,0498

**EK 9 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(60°C), CH₃OH % 25, KOH % 1.0
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	3007,34	0,0212
2	2923,2	0,1376
3	2853,53	0,0940
4	1741,73	0,1769
5	1458,46	0,0530
6	1435,59	0,0599
7	1361,06	0,0291
8	1244,08	0,0518
9	1195,27	0,0800
10	1169,42	0,0973
11	1015,99	0,0228
12	850,09	0,0118
13	722,4	0,0538

**EK 10 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(40°C), CH₃OH % 16.7, NAOH % 0.2
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	3006,97	0,0246
2	2923,33	0,1345
3	2853,54	0,0916
4	1741,8	0,1429
5	1651,87	0,0484
6	1588,27	0,0480
7	1458,59	0,0495
8	1435,06	0,0559
9	1391,85	0,0476
10	1358,98	0,0591
11	1266,74	0,0677
12	1169,67	0,1346
13	1073,69	0,0567
14	1011,45	0,0483
15	940,35	0,0402
16	857,24	0,0373
17	834,07	0,0422
18	722,55	0,0800
19	655,81	0,0134

**EK 11 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(40°C), CH₃OH % 20, NaOH % 0.4
OLAN BİYODİZELİN FTİR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	3006,57	0,0201
2	2923,38	0,1301
3	2853,58	0,0878
4	2035,28	0,0056
5	1741,63	0,1459
6	1652,01	0,0396
7	1588,07	0,0393
8	1458,36	0,0513
9	1435,25	0,0600
10	1391,9	0,0410
11	1359,32	0,0547
12	1265,79	0,0610
13	1194,06	0,0938
14	1169,91	0,1263
15	1073,74	0,0462
16	1011,53	0,0422
17	940,57	0,0306
18	856,9	0,0315
19	834,67	0,0347
20	722,61	0,0722
21	656,02	0,0091

**EK 12 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(40°C), CH₃OH % 25, NaOH % 0.6
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	3006,51	0,0243
2	2923,32	0,1122
3	2853,44	0,0773
4	2036,85	0,0102
5	1741,45	0,1240
6	1651,77	0,0699
7	1588,25	0,0723
8	1434,61	0,0648
9	1391,82	0,0641
10	1358,97	0,0744
11	1281,42	0,0789
12	1169,9	0,1480
13	1073,78	0,0686
14	1011,41	0,0584
15	940,08	0,0546
16	857,48	0,0480
17	834,58	0,0543
18	722,68	0,0876
19	655,25	0,0165

**EK 13 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(50°C), CH₃OH % 16.7, NAOH % 0.4
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	3007,11	0,0228
2	2923,39	0,1290
3	2853,55	0,0873
4	2161,66	0,0082
5	1741,73	0,1442
6	1651,8	0,0508
7	1588,39	0,0513
8	1434,91	0,0608
9	1391,91	0,0497
10	1359,05	0,0622
11	1280,51	0,0665
12	1169,77	0,1371
13	1073,87	0,0535
14	1011,69	0,0469
15	940,26	0,0394
16	857,03	0,0366
17	834,73	0,0409
18	722,69	0,0786
19	655,73	0,0119

**EK 14 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(50°C), CH₃OH % 20, NaOH % 0.6
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	2922,14	0,0736
2	2852,92	0,0537
3	2162,83	0,0064
4	1741,12	0,1043
5	1651,86	0,0387
6	1588,47	0,0388
7	1434,89	0,0490
8	1391,95	0,0368
9	1358,96	0,0480
10	1280,92	0,0500
11	1169,63	0,1103
12	1073,98	0,0404
13	1011,72	0,0374
14	940,11	0,0290
15	856,85	0,0284
16	835,1	0,0314
17	722,62	0,0653
18	655,28	0,0082

**EK 15 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(50°C), CH₃OH % 25, NAOH % 0.2
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	3007	0,0217
2	2923,19	0,1258
3	2853,49	0,0863
4	1741,59	0,1452
5	1651,91	0,0357
6	1588,84	0,0344
7	1458,43	0,0490
8	1435,28	0,0571
9	1391,93	0,0358
10	1359,41	0,0502
11	1245,94	0,0562
12	1194,03	0,0903
13	1169,75	0,1232
14	1074,24	0,0418
15	1012,09	0,0397
16	940,13	0,0278
17	835,41	0,0297
18	722,59	0,0679
19	655,77	0,0091

**EK 16 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(60°C), CH₃OH % 16.7, NAOH % 0.6
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	2923,06	0,1117
2	2853,49	0,0773
3	2037,79	0,0058
4	1741,27	0,1281
5	1652,06	0,0320
6	1590,33	0,0294
7	1458,43	0,0437
8	1435,46	0,0516
9	1391,93	0,0298
10	1359,51	0,0434
11	1245,2	0,0510
12	1170,22	0,1184
13	1074,7	0,0381
14	1012,23	0,0365
15	940,74	0,0242
16	835,83	0,0231
17	722,89	0,0574
18	655,59	0,0063

**EK 17 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(60°C), CH₃OH % 20, NaOH % 0.2
OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ**

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	3006,97	0,0236
2	2923,12	0,1308
3	2853,46	0,0899
4	2034,6	0,0067
5	1741,61	0,1451
6	1652,17	0,0268
7	1590,42	0,0233
8	1458,35	0,0490
9	1435,65	0,0533
10	1392,14	0,0270
11	1359,72	0,0399
12	1244,16	0,0534
13	1169,77	0,1175
14	1012,73	0,0335
15	940,37	0,0204
16	836,49	0,0199
17	722,71	0,0589

EK 18 - ÜRETİM PARAMETRELERİ T(60°C), CH₃OH % 25, NaOH % 0.4 OLAN BİYODİZELİN FTIR PİKLERİNİN HAM VERİLERİ

Pik Numarası	cm⁻¹	A
1	3007,17	0,0199
2	2922,9	0,1066
3	2853,32	0,0738
4	2163,16	0,0058
5	1741,58	0,1236
6	1651,88	0,0169
7	1591,13	0,0116
8	1458,24	0,0409
9	1435,73	0,0433
10	1360,71	0,0254
11	1169,08	0,0960
12	940,4	0,0109
13	856,65	0,0110
14	722,59	0,0463

EK 19 – ÜRÜN KODLARINA GÖRE ÖLÇÜLEN ISIL DEĞERLER

KOH için	Isıl değer (MJ/kg)	NaOH için	Isıl değer (MJ/kg)
K01	36,0808	N01	32,988
K02	36,6818	N02	33,716
K03	33,6742	N03	30,8354
K04	36,1553	N04	33,4435
K05	35,4298	N05	32,845
K06	37,1213	N06	34,6635
K07	36,3915	N07	34,0607
K08	36,7972	N08	34,5934
K09	33,8103	N09	31,7335

K 20 - ÜRÜN KODLARINA GÖRE ÖLÇÜLEN HACİM DEĞERLERİ

KOH için	Hacim (ml)	NaOH için	Hacim (ml)
K01	194	N01	162
K02	212	N02	176
K03	225	N03	218
K04	220	N04	234
K05	210	N05	202
K06	193	N06	198
K07	213	N07	145
K08	191	N08	176
K09	228	N09	194

EK 21 – ÜRÜN KODLARINA GÖRE ÖLÇÜLEN YOĞUNLUK DEĞERLERİ

KOH için	Yoğunluk (gr/ml)	NaOH için	Yoğunluk (gr/ml)
K01	0,8616	N01	0,887
K02	0,850	N02	0,868
K03	0,8636	N03	0,8616
K04	0,860	N04	0,8636
K05	0,8604	N05	0,8604
K06	0,868	N06	0,8664
K07	0,8596	N07	0,8728
K08	0,8576	N08	0,8688
K09	0,8544	N09	0,8652

EK 22 – ÜRÜN KODLARINA GÖRE ÖLÇÜLEN PH DEĞERLERİ

KOH için	pH	NaOH için	pH
K01	4,48	N01	5,17
K02	5,16	N02	4,58
K03	5,36	N03	4,52
K04	4,91	N04	6,34
K05	4,36	N05	5,23
K06	4,46	N06	4,39
K07	4,99	N07	3,77
K08	6,72	N08	5,21
K09	6,13	N09	4,85

EK 23 – ÜRÜN KODLARINA GÖRE ÖLÇÜLEN ORP DEĞERLERİ

KOH için	Orp (mV)	NaOH için	Orp (mV)
K01	132,1	N01	81,4
K02	91,1	N02	108,9
K03	93	N03	126,7
K04	105,8	N04	19,2
K05	128,6	N05	94,9
K06	131,9	N06	4,37
K07	97,3	N07	171,1
K08	31,9	N08	85,2
K09	19,6	N09	103,7

EK 24 – ÜRÜN KODLARINA GÖRE ÖLÇÜLEN VİSKOZİTE DEĞERLERİ

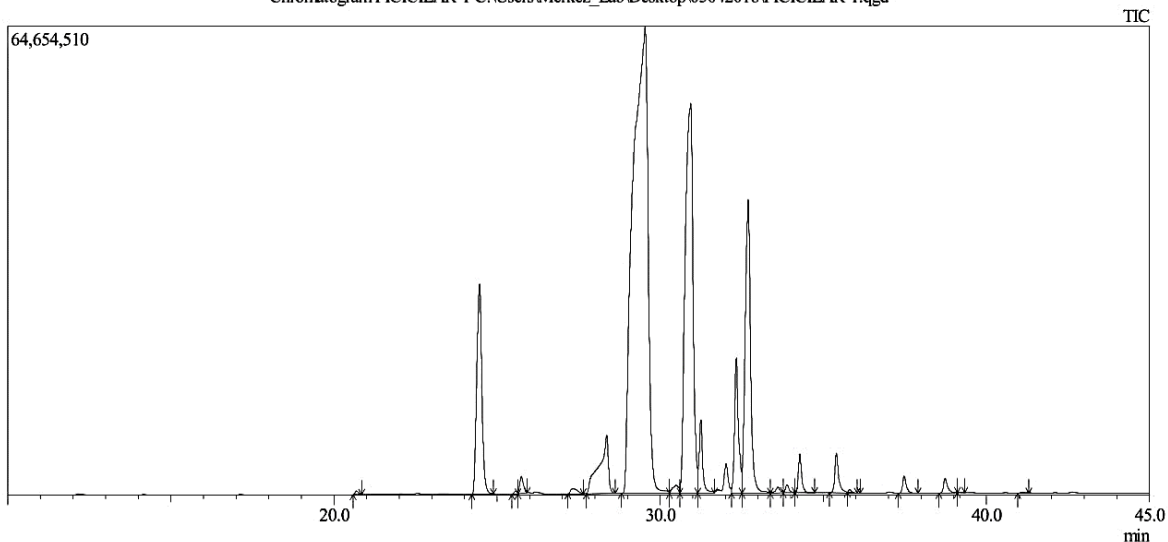
KOH için	Viskozite (cP)	NaOH için	Viskozite (cP)
K01	12,2	N01	15,2
K02	8,5	N02	11,8
K03	11,1	N03	9,2
K04	8,9	N04	9,9
K05	8,3	N05	9,5
K06	9,7	N06	12,7
K07	8,0	N07	13,5
K08	9,3	N08	13,4
K09	8,1	N09	13,8

EK 25 – REAKSİYON PARAMETRELERİ T(60°C), CH3OH % 20, KOH % 0.5 OLAN BİYODİZELİN GC-MS PROGRAM ÇIKTISI

Sample Information

Analyzed by : Admin
 Analyzed : 05.04.2018 13:50:09
 Sample Type : Unknown
 Level # : 1
 Sample Name : FICICILAR-1
 Sample ID : FICICILAR-1
 IS Amount : [1]=1
 Sample Amount : 1
 Dilution Factor : 1
 Vial # : 1
 Injection Volume : 1.00
 Data File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\05042018\FICICILAR-1.qgd
 Org Data File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\05042018\FICICILAR-1.qgd
 Method File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\METOTFAME son.qgm
 Org Method File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\METOTFAME son.qgm
 Report File :
 Tuning File : C:\GCMSsolution\System1\Tune1\05042018.qgt
 Modified by : Admin
 Modified : 05.04.2018 15:07:44

Chromatogram FICICILAR-1 C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\05042018\FICICILAR-1.qgd



Peak Report TIC

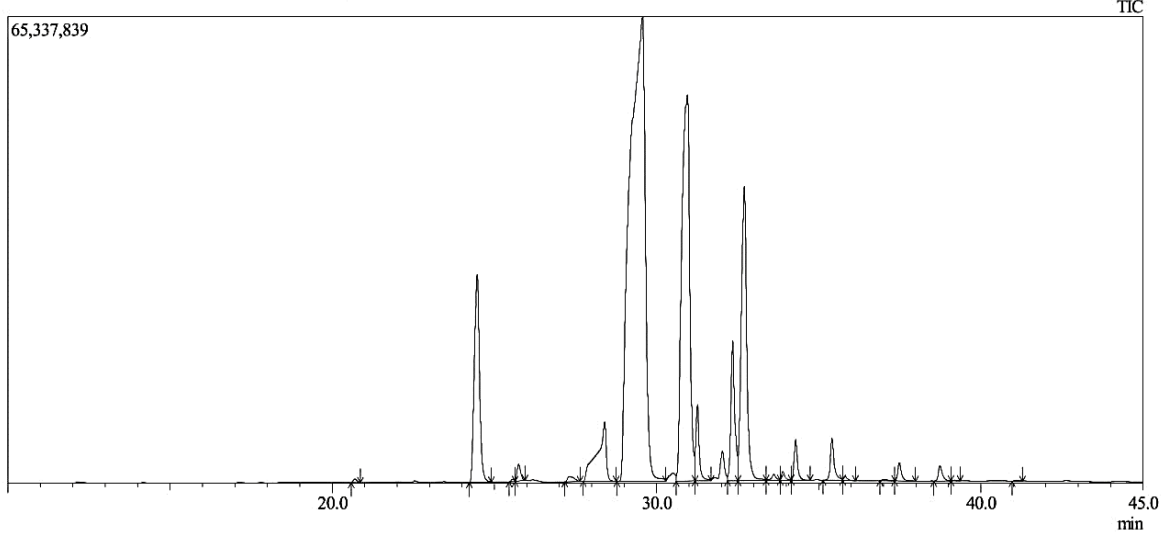
Peak#	R. Time	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Name
1	20.701	3599916	0.08	508421	0.21	7.08	Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS)
2	24.475	314040144	7.33	28984848	11.86	10.83	Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS)
3	25.560	2324911	0.05	341797	0.14	6.80	9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS)
4	25.752	17756985	0.41	2277756	0.93	7.80	Methyl hexadec-9-enoate
5	27.312	10823948	0.25	726279	0.30	14.90	n-Propyl 9,12-hexadecadienoate
6	28.373	156266348	3.65	7982204	3.27	19.58	Octadecanoic acid, methyl ester (CAS)
7	29.556	2044178879	47.71	64156807	26.25	31.86	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-
8	30.515	15177228	0.35	1084450	0.44	14.00	Methyl 10-trans,12-cis-octadecadienoate
9	30.951	888510469	20.74	53334810	21.82	16.66	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester
10	31.267	75676694	1.77	9967711	4.08	7.59	Eicosanoic acid, methyl ester (CAS)
11	32.353	155640407	3.63	17769282	7.27	8.76	Methyl 5-eicosenoate
12	32.715	459062552	10.71	40181148	16.44	11.42	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z)
13	33.626	8008385	0.19	786193	0.32	10.19	Methyl 9-cis,11-trans-octadecadienoate
14	33.907	8986974	0.21	1123299	0.46	8.00	cis-11,14-Eicosadienoic acid, methyl ester
15	34.301	37661216	0.88	5074437	2.08	7.42	Methyl 20-methyl-heneicosanoate
16	35.422	46818793	1.09	5321161	2.18	8.80	13-Docosenoic acid, methyl ester
17	35.831	2172055	0.05	355713	0.15	6.11	Tricosanoic acid, methyl ester (CAS)
18	37.501	18526692	0.43	2252822	0.92	8.22	Tetracosanoic acid, methyl ester
19	38.757	17402813	0.41	1916086	0.78	9.08	15-Tetracosenoic acid, methyl ester, (Z)-
20	39.215	629010	0.01	83606	0.03	7.52	Methyl 23-methyl-tetracosanoate
21	41.112	1276842	0.03	152201	0.06	8.39	Hexacosanoic acid, methyl ester
		4284541261	100.00	244381031	100.00		

**EK 26 – REAKSİYON PARAMETRELERİ T(60°C), CH3OH % 25, KOH %
1.0 OLAN BİYODİZELİN GC-MS PROGRAM ÇIKTISI**

Sample Information

Analyzed by : Admin
 Analyzed : 05.04.2018 12:56:33
 Sample Type : Unknown
 Level # : 1
 Sample Name : FICICILAR-2
 Sample ID : FICICILAR-2
 IS Amount : [1]=1
 Sample Amount : 1
 Dilution Factor : 1
 Vial # : 2
 Injection Volume : 1.00
 Data File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\05042018\FICICILAR-2.qgd
 Org Data File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\05042018\FICICILAR-2.qgd
 Method File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\METOT\FAME son.qgm
 Org Method File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\METOT\FAME son.qgm
 Report File :
 Tuning File : C:\GCMSsolution\System1\Tune1\05042018.qgt
 Modified by : Admin
 Modified : 05.04.2018 15:08:46

Chromatogram FICICILAR-2 C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\05042018\FICICILAR-2.qgd



Peak Report TIC

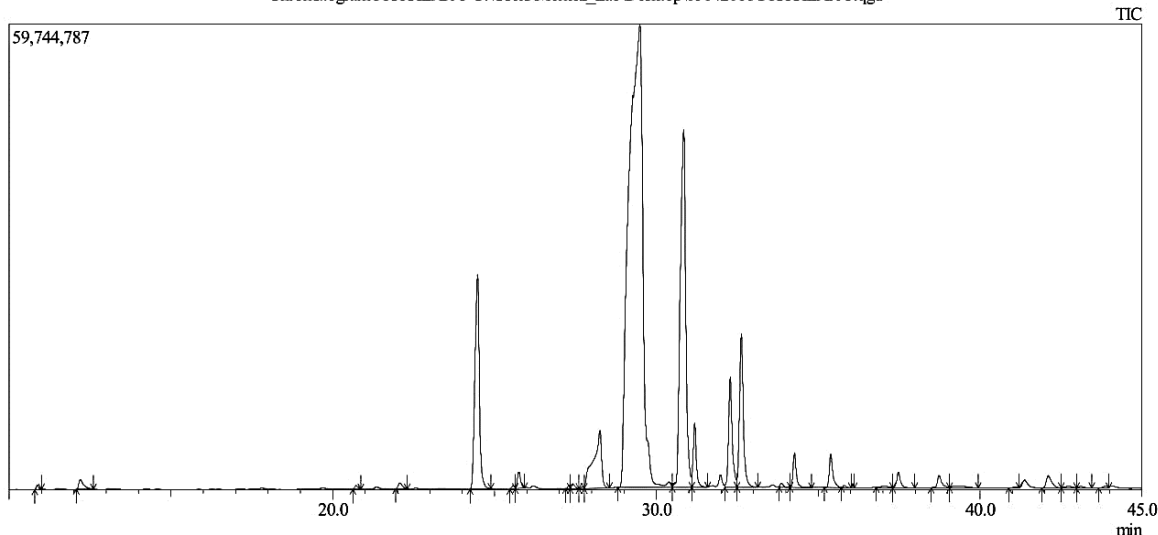
Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Name
1	20.704	3888298	0.09	533171	0.21	7.29	Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS)
2	24.479	323778938	7.29	29093927	11.69	11.13	Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS)
3	25.560	2319895	0.05	341492	0.14	6.79	9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS)
4	25.755	18400851	0.41	2339115	0.94	7.87	Methyl hexadec-9-enoate
5	27.313	11104306	0.25	740754	0.30	14.99	n-Propyl 9,12-hexadecadienoate
6	28.411	165940887	3.74	8344392	3.35	19.89	Octadecanoic acid, methyl ester (CAS)
7	29.580	2125591067	47.88	64871570	26.06	32.77	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (CAS)
8	30.963	920134517	20.73	53917651	21.66	17.07	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester
9	31.281	76557108	1.72	10305832	4.14	7.43	Eicosanoic acid, methyl ester (CAS)
10	32.366	162541581	3.66	19306874	7.76	8.42	Methyl 5-eicosenoate
11	32.725	476014208	10.72	40406392	16.23	11.78	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z)
12	33.634	8633702	0.19	850486	0.34	10.15	Methyl 9-cis,11-trans-octadecadienoate
13	33.914	9242018	0.21	1222879	0.49	7.56	cis-11,14-Eicosadienoic acid, methyl ester
14	34.309	40232926	0.91	5549469	2.23	7.25	Methyl 20-methyl-heneicosanoate
15	35.429	48199973	1.09	5594654	2.25	8.62	13-Docosenoic acid, methyl ester
16	35.834	4250273	0.10	522101	0.21	8.14	Tricosanoic acid, methyl ester (CAS)
17	37.023	2319135	0.05	204782	0.08	11.32	11-Eicosenoic acid, methyl ester
18	37.506	20153875	0.45	2458817	0.99	8.20	Tetracosanoic acid, methyl ester
19	38.760	18422423	0.41	2081357	0.84	8.85	15-Tetracosenoic acid, methyl ester, (Z)-
20	39.215	680049	0.02	88919	0.04	7.65	Methyl 22-methyl-tetracosanoate
21	41.112	1222093	0.03	154195	0.06	7.93	Hexacosanoic acid, methyl ester
		4439628123	100.00	248928829	100.00		

EK 27 – REAKSİYON PARAMETRELERİ T(60°C), CH3OH % 20, NaOH %

Sample Information

Analyzed by : Admin
 Analyzed : 05.04.2018 12:02:52
 Sample Type : Unknown
 Level # : 1
 Sample Name : FICICILAR-3
 Sample ID : FICICILAR-3
 IS Amount : [1]=1
 Sample Amount : 1
 Dilution Factor : 1
 Vial # : 3
 Injection Volume : 1.00
 Data File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\05042018\FICICILAR-3.qgd
 Org Data File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\05042018\FICICILAR-3.qgd
 Method File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\METOT\FAME son.qgm
 Org Method File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\METOT\FAME son.qgm
 Report File :
 Tuning File : C:\GCMSolution\System\Tune1\05042018.qgt
 Modified by : Admin
 Modified : 05.04.2018 15:04:57

Chromatogram FICICILAR-3 C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\05042018\FICICILAR-3.qgd



Peak Report TIC

Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Name
1	10.882	2751115	0.09	552036	0.27	4.98	Hexanal (CAS)
2	12.205	13309202	0.41	1280583	0.63	10.39	Octanoic acid, methyl ester (CAS)
3	20.735	2991302	0.09	459937	0.23	6.50	Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS)
4	22.081	6887034	0.21	765400	0.38	9.00	2,4-Decadienal, (E,E)- (CAS)
5	24.484	257794640	8.03	27491491	13.55	9.38	Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS)
6	25.579	2320648	0.07	378314	0.19	6.13	9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS)
7	25.758	14478379	0.45	2094233	1.03	6.91	Methyl hexadec-9-enoate
8	27.300	2277373	0.07	376320	0.19	6.05	n-Propyl 9,12-hexadecadienoate
9	27.415	4789241	0.15	576386	0.28	8.31	Methyl 16-acetoxyheptadecanoate
10	27.710	1412922	0.04	229596	0.11	6.15	Methyl 4-oxooctanoate
11	28.268	128936099	4.02	7399211	3.65	17.43	Octadecanoic acid, methyl ester (CAS)
12	29.504	1759879882	54.81	58872921	29.03	29.86	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-
13	30.861	538816247	16.78	45403949	22.39	11.87	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester
14	31.202	55648365	1.73	7914399	3.90	7.03	Eicosanoic acid, methyl ester (CAS)
15	32.301	110586006	3.44	13828838	6.82	8.00	11-Eicosenoic acid, methyl ester
16	32.643	163080674	5.08	19483566	9.61	8.37	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z)
17	33.895	3886242	0.12	533647	0.26	7.28	11,13-Eicosadienoic acid, methyl ester
18	34.287	30600955	0.95	4249800	2.10	7.20	Methyl 20-methyl-heneicosanoate
19	35.407	34019368	1.06	4078252	2.01	8.34	13-Docosenoic acid, methyl ester
20	35.826	1749348	0.05	284692	0.14	6.14	Tricosanoic acid, methyl ester (CAS)
21	37.024	3650867	0.11	209464	0.10	17.43	cis-11-Eicosenoic acid, methyl ester
22	37.496	16145980	0.50	1962451	0.97	8.23	Tetracosanoic acid, methyl ester
23	38.755	15130999	0.47	1529293	0.75	9.89	CIS-15-TETRACOSENSAEURE, METHYLE
24	39.218	6864861	0.21	231246	0.11	29.69	Pentacosanoic acid, methyl ester
25	41.115	1308869	0.04	145566	0.07	8.99	Hexacosanoic acid, methyl ester
26	42.129	18413193	0.57	1527636	0.75	12.05	Oxiraneoctanoic acid, 3-octyl-, methyl ester, cis
27	42.760	4040652	0.13	274332	0.14	14.73	E,E,Z-1,3,12-Nonadecatriene-5,14-diol
28	43.129	2705316	0.08	232935	0.11	11.61	Oxiraneoctanoic acid, 3-octyl-, methyl ester, tra
29	43.895	2677148	0.08	243489	0.12	10.99	Hexadecadienoic acid, methyl ester (CAS)
30	46.519	3505488	0.11	219184	0.11	15.99	Methyl 13,16-docosadienoate
		3210658415	100.00	202829167	100.00		

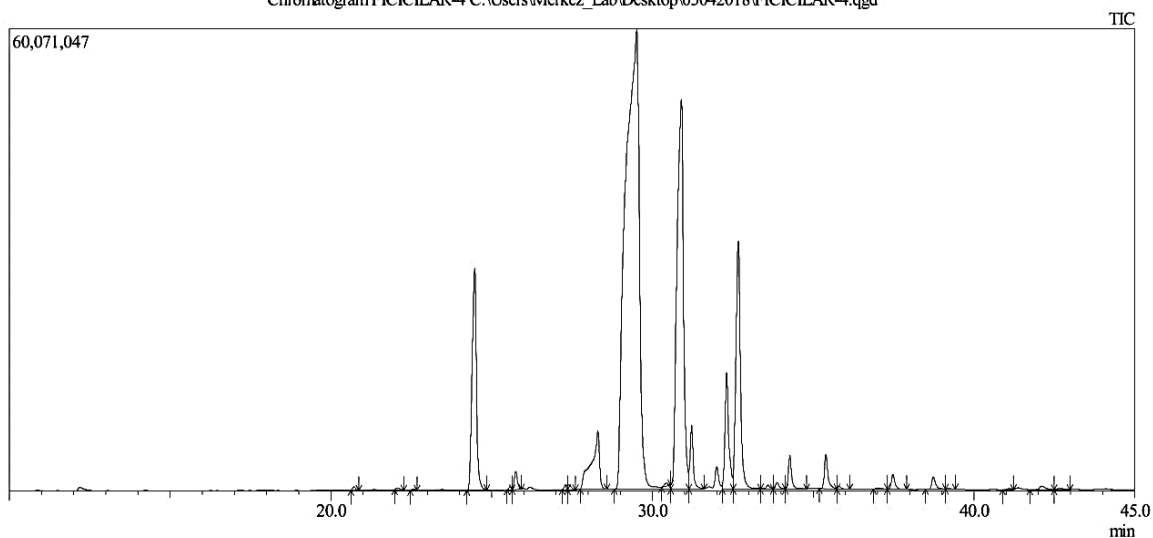
EK 28- REAKSİYON PARAMETRELERİ T(60°C), CH3OH % 25, NaOH %

0.4 OLAN BİYODİZELİN GC-MS PROGRAM ÇIKTISI

Sample Information

Analyzed by : Admin
 Analyzed : 05.04.2018 10:58:20
 Sample Type : Unknown
 Level # : 1
 Sample Name : FICICILAR-4
 Sample ID : FICICILAR-4
 IS Amount : [1]=1
 Sample Amount : 1
 Dilution Factor : 1
 Vial # : 4
 Injection Volume : 1.00
 Data File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\05042018\FICICILAR-4.qgd
 Org Data File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\05042018\FICICILAR-4.qgd
 Method File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\METOT\FAME son.qgm
 Org Method File : C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\METOT\FAME son.qgm
 Report File :
 Tuning File : C:\GCMSsolution\System1\Tune1\05042018.qgt
 Modified by : Admin
 Modified : 05.04.2018 15:06:29

Chromatogram FICICILAR-4 C:\Users\Merkez_Lab\Desktop\05042018\FICICILAR-4.qgd



Peak Report TIC

Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Name
1	20.725	3063193	0.09	496783	0.23	6.17	Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS)
2	22.079	2501640	0.07	310283	0.14	8.06	2,4-Decadienal, (E,E)- (CAS)
3	22.566	1074988	0.03	181696	0.08	5.92	Pentadecanoic acid, methyl ester (CAS)
4	24.483	266884841	7.60	28828660	13.07	9.26	Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS)
5	25.578	2304043	0.07	390978	0.18	5.89	9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS)
6	25.757	15526748	0.44	2317113	1.05	6.70	Methyl hexadec-9-enoate
7	27.300	4286230	0.12	634654	0.29	6.75	n-Propyl 9,12-hexadecadienoate
8	27.409	4781320	0.14	639074	0.29	7.48	Methyl 16-acetoxyheptadecanoate
9	28.314	129982806	3.70	7522111	3.41	17.28	Octadecanoic acid, methyl ester (CAS)
10	29.521	1763089003	50.23	59425088	26.94	29.67	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (CAS)
11	30.468	3476298	0.10	369982	0.17	9.40	Methyl 10-trans,12-cis-octadecadienoate
12	30.914	705339535	20.10	50323111	22.81	14.02	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester
13	31.237	55383948	1.58	7895734	3.58	7.01	Eicosanoic acid, methyl ester (CAS)
14	32.325	122371533	3.49	14747295	6.68	8.30	11-Eicosenoic acid, methyl ester
15	32.688	312208314	8.89	31776122	14.40	9.83	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z)
16	33.616	4548654	0.13	510001	0.23	8.92	Methyl 9-cis,11-trans-octadecadienoate
17	33.895	6434080	0.18	842709	0.38	7.63	cis-11,14-Eicosadienoic acid, methyl ester
18	34.291	29850097	0.85	4269479	1.94	6.99	Methyl 20-methyl-heneicosanoate
19	35.413	35124287	1.00	4348092	1.97	8.08	13-Docosenoic acid, methyl ester
20	35.820	2741537	0.08	373828	0.17	7.33	Tricosanoic acid, methyl ester (CAS)
21	37.017	1897824	0.05	161468	0.07	11.75	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (CAS)
22	37.496	14598335	0.42	1897813	0.86	7.69	Tetracosanoic acid, methyl ester
23	38.753	13557119	0.39	1561565	0.71	8.68	CIS-15-TETRACOSENSAEURE, METHYLE
24	39.220	580661	0.02	75053	0.03	7.74	Pentacosanoic acid, methyl ester
25	41.111	1222489	0.03	133425	0.06	9.16	Hexacosanoic acid, methyl ester
26	42.130	5240459	0.15	453186	0.21	11.56	Oxiraneoctanoic acid, 3-octyl-, methyl ester, cis
27	42.657	1894852	0.05	131413	0.06	14.42	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (CAS)
		3509964834	100.00	220616716	100.00		

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Mert Mehmet NAYIR

Doğum Yeri : Samsun

Doğum Tarihi : 27.02.1989

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Samsun Anadolu Lisesi (2007)

Lisans : Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği
(2012)

Yüksek Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (2018)

İletişim Bilgileri

Adres : Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Kimya Mühendisliği Bölümü Kurupelit/SAMSUN

E-posta : mertmehmetnayir@hotmail.com