

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİYODİZEL ile DİZEL YAKITLARININ
HARMANLANMASINDA YAKIT ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Ertan ALPTEKİN

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi

Danışman: Doç. Dr. Mustafa ÇANAKÇI

KOCAELİ, 2007

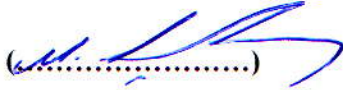


KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİYODİZEL ile DİZEL YAKITLARININ
HARMANLANMASINDA YAKIT ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ertan ALPTEKİN**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 04 Haziran 2007

Tezin Savunulduğu Tarih: 13 Temmuz 2007

Tez Danışmanı	Üye	Üye
Doç.Dr. Mustafa ÇANAKÇI	Prof.Dr. A. Nilgün AKIN	Yrd.Doç.Dr. Cenk SAYIN
		

KOCAELİ, 2007

ÖNSÖZ

Dizel yakıtları birçok alanda kullanılmakta ve ülke ekonomisinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Petrolün her geçen gün azalması, geçmişte yaşanan petrol krizleri ve çevre bilincinin artması ile yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Biyodizel dizel motorları için, bitkisel ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen alternatif bir yakıttır. Avrupa Birliğinin 2003/30/EC Direktifi ile 2007 sonunda piyasaya arz edilen fosil yakıtlarına %3,5 oranında biyoyakıt eklenmesi zorunluluğu getirilmiştir. Böylelikle Türkiye'nin biyodizel ihtiyacı gündeme gelmiştir. Biyodizel her geçen gün daha da ilgi çekmekte ve başlangıçta dizel yakıtı ile belli oranlarda karıştırılarak ticarileştirilmesi düşünülmektedir. Bu nedenle petrol kökenli dizel yakıtı ve biyodizel ile oluşturulan karışımların özelliklerinin belirlenmesi gerekir.

Bu alanda bana çalışma fırsatı veren, tez aşamasında fikir ve görüşleri ile beni yönlendiren, sorduğum her soruya yanıt alabildiğim KOÜ Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilimdalı Başkanı saygıdeğer hocam Doç.Dr. Mustafa ÇANAKÇI'ya, KOÜ Makine Eğitimi Bölüm Başkanı Prof.Dr. İbrahim KILIÇASLAN'a, çalışmalarında katkısından dolayı Arş.Gör.Dr. Ahmet Necati ÖZSEZEN'e ve Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü personeline çok teşekkür ederim. Ayrıca tüm hayatım boyunca beni destekleyen, teşvik eden, bugünlere getiren aileme ve çalışmalarım boyunca beni yalnız bırakmayan, desteğini her zaman arkamda hissettiğim arkadaşım Gamze ZEYBEK'e sonsuz minnet duygularımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3. BİTKİSEL YAĞLAR	18
3.1. Bitkisel Yağların Kimyasal Yapısı.....	18
3.2. Bitkisel Yağların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	20
3.3. Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı	21
3.4. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi	22
3.5. Hammadde Olarak Atık Bitkisel Yağlar	25
4. BİYODİZEL	28
4.1. Biyodizel Nedir?	28
4.2. Biyodizelin Dizel Yakıtına Göre Avantajları ve Dezavantajları.....	28
4.3. Biyodizel ve Dizel Yakıt Standartları	30
4.4. Biyodizel Maliyeti ve Biyodizel Tesisleri.....	33
4.5. Türkiye’de Biyodizel	34
5. MATERYAL ve YÖNTEM.....	37
5.1. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Bitkisel Yağlar.....	37
5.2. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Cihazlar ve Laboratuvar Aletleri	38
5.3. Biyodizel Üretim Prosesi	44
5.4. Karışımların Özelliklerinin Belirlenmesi	48
5.4.1. Karışımların hazırlanması	48
5.4.2. Kinematik viskozite ölçümü	48
5.4.3. Yoğunluk ölçümü.....	49
5.4.4. Akma noktası ölçümü	50
5.4.5. Parlama noktası ölçümü	51
5.4.6. Distilasyon eğrilerinin belirlenmesi	51
5.4.7. Toplam ve serbest gliserin ölçümü	52
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	54
6.1. Yoğunluk Değişimi	54
6.2. Kinematik Viskozite Değişimi	59
6.3. Akma Noktası Değişimi.....	64
6.4. Distilasyon Eğrilerinin Değişimi	69
6.5. Parlama Noktalarının Değişimi.....	80
6.6. Toplam ve Serbest Gliserin Ölçüm Sonuçları.....	85
7. ÖNERİLER.....	87

KAYNAKLAR	90
EKLER.....	97
KİŞİSEL YAYINLAR.....	113
ÖZGEÇMİŞ	114

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Trigliserit	19
Şekil 3.2. Yağ Asidinin Kimyasal Şekli	19
Şekil 3.3. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi.....	23
Şekil 3.4. Bitkisel Yağlardan Metanol ve Potasyum Hidroksit Kullanılarak Transesterifikasyon Yöntemiyle Biyodizel Üretimi	24
Şekil 3.5. Transesterifikasyon Yönteminde İzopropil Alkol ve Potasyum Hidroksit Kullanım Reaksiyonu.....	25
Şekil 3.6. Ön İyileştirme Reaksiyonu	27
Şekil 5.1. Manyetik Karıştırıcılar.....	42
Şekil 5.2. Viskozite Ölçüm Cihazı.....	42
Şekil 5.3. Yoğunluk Ölçer.....	42
Şekil 5.4. Parlama Noktası Ölçüm Cihazı.....	43
Şekil 5.5. Distilasyon Cihazı ve Su Banyosu.....	43
Şekil 5.6. Saf Su Üretim Cihazı	43
Şekil 5.7. Hassas Teraziler	44
Şekil 5.8. Alkol-Katalizör Karışımının Reaksiyon Kabına Eklenmesi.....	46
Şekil 5.9. Gliserin-Ester Faz Ayrımı.....	47
Şekil 5.10. Su-Ester Faz Ayrımı	47
Şekil 6.1. APYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Yoğunluklarının Değişimi	55
Şekil 6.2. AÇYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Yoğunluklarının Değişimi.....	56
Şekil 6.3. SYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Yoğunluklarının Değişimi.....	56
Şekil 6.4. MYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Yoğunluklarının Değişimi.....	57
Şekil 6.5. KYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Yoğunluklarının Değişimi	58
Şekil 6.6. PYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Yoğunluklarının Değişimi	58
Şekil 6.7. APYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Viskozitelerinin Değişimi	60
Şekil 6.8. AÇYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Viskozitelerinin Değişimi	61
Şekil 6.9. SYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Viskozitelerinin Değişimi.....	62
Şekil 6.10. MYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Viskozitelerinin Değişimi	62
Şekil 6.11. KYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Viskozitelerinin Değişimi	63
Şekil 6.12. PYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Viskozitelerinin Değişimi.....	64
Şekil 6.13. Testlerde Kullanılan Biyodizellerin Distilasyon Eğrileri	70
Şekil 6.14. S.Extra ve Dizel Yakıtlarının Distilasyon Eğrileri	70
Şekil 6.15. APYB-S.Extra Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi. 71	
Şekil 6.16. AÇYB-S.Extra Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi. 72	
Şekil 6.17. SYB-S.Extra Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi.... 73	
Şekil 6.18. MYB-S.Extra Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi .. 74	
Şekil 6.19. KYB-S.Extra Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi ... 74	
Şekil 6.20. PYB-S.Extra Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi.... 75	
Şekil 6.21. APYB-N.Dizel Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi. 76	
Şekil 6.22. AÇYB-N.Dizel Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi. 77	
Şekil 6.23. SYB-N.Dizel Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi ... 77	
Şekil 6.24. MYB-N.Dizel Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi.. 78	
Şekil 6.25. KYB-N.Dizel Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi .. 79	

Şekil 6.26. PYB-N.Dizel Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi ...	79
Şekil 6.27. APYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Parlama Noktalarının Değişimi	82
Şekil 6.28. AÇYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Parlama Noktalarının Değişimi	82
Şekil 6.29. SYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Parlama Noktalarının Değişimi	83
Şekil 6.30. MYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Parlama Noktalarının Değişimi	83
Şekil 6.31. KYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Parlama Noktalarının Değişimi	84
Şekil 6.32. PYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Parlama Noktalarının Değişimi	85

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Yağ Asitlerinin Kimyasal Yapısı.....	20
Tablo 3.2. Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri.....	21
Tablo 4.1. Amerika Biyodizel Standartları.....	30
Tablo 4.2. Avrupa Biyodizel Standartları.....	31
Tablo 4.3. Avrupa Dizel Yakıtı Standartları.....	32
Tablo 4.4. Amerika Dizel Yakıtı Standartları.....	33
Tablo 5.1. Kullanılan Bitkisel Yağların Bazı Özellikleri.....	38
Tablo 5.2. Manyetik Karıştırıcıların Teknik Özellikleri.....	38
Tablo 5.3. Viskozitemetre Banyosu Teknik Özellikleri.....	39
Tablo 5.4. Cannon-Fenske Viskozitemetre Tüpü Çeşitleri ve Ölçüm Aralıkları.....	39
Tablo 5.5. Yoğunluk Ölçüm Cihazı Teknik Özellikleri.....	40
Tablo 5.6. Parlama Noktası Ölçüm Cihazı Teknik Özellikleri.....	40
Tablo 5.7. Distilasyon Cihazı ve Su Banyosunun Teknik Özellikleri.....	41
Tablo 5.8. Saf Su Üretim Cihazı Teknik Özellikleri.....	41
Tablo 5.9. Hassas Terazilerin Teknik Özellikleri.....	41
Tablo 5.10. Bazı Yağların Yakıt Özellikleri.....	45
Tablo 5.11. Testlerde Kullanılan Biyodizel ve Dizel Yakıtlarının Bazı Özellikleri.....	48
Tablo 6.1. APYB-S.Extra Karışımlarının Yoğunluk Değişimleri.....	59
Tablo 6.2. S.Extra-Biyodizel Karışımlarının Akma Noktaları.....	66
Tablo 6.3. N.Dizel-Biyodizel Karışımlarının Akma Noktaları.....	66
Tablo 6.4. Transesterifikasyon Reaksiyonu Sonuçları.....	86

BIYODİZEL ile DİZEL YAKITLARININ HARMANLANMASINDA YAKIT ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ertan ALPTEKİN

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, dizel yakıtı, yakıt özellikleri

Özet: Yapılan bu çalışmada, atık bitkisel yağ ve farklı bitkisel yağlardan biyodizel üretilmiştir. Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak ayçiçek, kanola, soya, pamuk, mısırözü ve atık bitkisel yağ olarak palmye atık yağı kullanılmıştır. Üretilen biyodizeller, iki farklı dizel yakıtı ile harmanlanarak belirli oranlarda karışımlar oluşturulmuştur. Oluşturulan bu karışımların yoğunluk, viskozite, parlama noktası, distilasyon eğrileri ve akma noktası gibi bazı yakıt özellikleri belirlenmiştir.

Yapılan testler %20'ye kadar biyodizel içeren karışımlar ile dizel yakıtları arasında pek fazla fark olmadığını göstermiştir. Üretilen biyodizeller dizel yakıtları ile karıştırıldığında, biyodizel miktarı arttıkça yoğunluk, viskozite, distilasyon sıcaklıkları ve akma noktası değerlerinin biyodizel değerlerine yaklaştığı görülmüştür. Fakat parlama noktası biyodizel miktarına göre farklılık göstermektedir.

DETERMINATION of the FUEL PROPERTIES of BIODIESEL - DIESEL FUEL BLENDS

Ertan ALPTEKİN

Keywords: Biodiesel, diesel fuel, fuel properties

Abstract: In this study, biodiesels were produced from waste vegetable oil and vegetable oils. Sunflower, canola, soybean, cottonseed, corn oils as vegetable oil and waste palm oil were used in biodiesel production. Fuel mixtures were prepared in specific proportions by blending biodiesel with two different diesel fuels. Some fuel properties of these blends such as density, viscosity, flash point, distillation curves and pour point were determined.

The test results showed that there is not so much difference between diesel fuels and blends including biodiesel up-to 20%. When the biodiesel amount increased in the mixture, the density, viscosity, distillation curves and pour point values of the blends approached to the pure biodiesel values. But, flash point showed some difference considering the biodiesel amount.

1. GİRİŞ

Enerji insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılamada gereksinim duyduğu en önemli olgudur ve ekonomik kalkınmanın bir lokomotifidir. Neredeyse bütün toplumların enerji sorunu ile karşı karşıya kalması göz önüne alındığında, enerji konusu önemli bir yer tutmaktadır. Bununla birlikte, enerji sadece insanların temel ihtiyaçlarını karşılamada değil, uluslararası politikalara yön veren etkili bir güç olmasıyla göze çarpmaktadır. Geçmişten günümüze toplumların temel enerji kaynakları petrol, doğalgaz, kömür ve elektrik enerjisi olmuştur. Nüfusun giderek artması, teknolojik gelişmeler, sanayileşme ve kalkınmanın gereksinimlerinden dolayı her geçen gün insanoğlunun enerji ihtiyacı artmaktadır. Artan bu enerji ihtiyacına karşın, üretilen enerji yeterli olmamaktadır.

Dünyada enerji gereksiniminin %80'i kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil kaynaklı yakıtlarla karşılanmaktadır. Fosil yakıtların dünyada bilinen rezerv dağılımları, petrol eşdeğeri olarak, %68 kömür, %18 petrol ve %14 doğalgaz olarak bilinmektedir [1]. Yapılan araştırmalara göre: petrolün 41, doğalgazın 62, kömürün ise önümüzdeki 218 yıl içinde tükeneyeceği belirlenmiştir [2]. Bununla birlikte, fosil yakıtların neden olduğu çevre kirliliği göz ardı edilemez durumdadır. Bu yakıtların yanma sonucu çevreye yaydıkları emisyonlar, çevre kirliliğinin yanı sıra birçok olumsuzluk meydana getirmektedir. Yapılan çalışmalara göre, enerji kaynaklarının kullanımında değişiklik yapılmazsa, küresel çapta enerji açığı ve kirliliğin 2030 yılına kadar %50 artacağı uyarısında bulunulmuştur [3].

Fosil yakıtların yanması sonucu oluşan emisyonların en zararlılarından biri SO_2 'dir. Genel olarak yakıtın yapısındaki kükürt miktarı ile SO_2 emisyonları orantılıdır. Yakıtın bünyesindeki kükürt SO_2 'yi oluşturur. Kükürt oksitler su ile birleşerek sülfirik asit oluştururlar. Sudaki çözünürlükleri yüksek olduğu için yağmur damlacıkları ile birleşirler ve asit yağmurları olarak yeryüzüne ulaşırlar. İnsan sağlığı

ve doğal denge açısından SO₂ emisyonlarının bir üst sınırı vardır. Bunun üzerine çıkıldığında toplu ölümlere varan durumlarla karşılaşılabılır [4].

Hidrokarbon esaslı yakıtların yanması sonucu açığa çıkan CO, HC, NO_x ve partikül emisyonları atmosferi kirleterek çevre sorunlarına neden olur. Bunun yanında ciddi sağlık problemleri de oluşturmaktadırlar. Özellikle büyük şehirlerde toplam hava kirliliği göz önüne alındığında, taşıtların eksozlarından çıkan gazların neden olduğu hava kirliliği önemli bir paya sahiptir. Yine karbon içerikli yakıtlar kullanılan sabit tesis motorları, endüstriyel kazanlar ve motorlar hava kirliliğine neden olmaktadır. Hava kirliliğinin yanı sıra diğer bir etken de sera etkisidir. Güneşten gelen ışınların yarıya yakın kısmı atmosferin üst tabakasında tutulmaktadır. Güneş ışınları, atmosferi aşarak yeryüzünü ısıtmakta ve gelen ışınlar tekrar atmosfere doğru yansımaktadır. Karbondioksit ve su buharı gibi bir kısım gazlar, güneşten gelen ışınları tutarak ısı dengeyi sağlar. Fakat sera gazlarının yoğunluğunun artmasıyla birlikte, güneş ışınları gereğinden daha fazla tutulur. Bu da yeryüzünün daha fazla ısınmasına neden olmaktadır. Bu durumun, buzulların erimesi, okyanusların yükselmesi, sel baskınları ve çölleşme gibi ciddi sonuçlar doğuracak iklim değişikliklerine yol açabileceği düşünülmektedir. Oksijen-karbon dioksit dengesinin bozulması; tropik ormanların tahribine, fotosentez olayının azalmasına ve karbon dioksit konsantrasyonunun artmasına da neden olmaktadır [5]. Sera gazlarının %55'ini CO₂ oluşturmaktadır. CO₂ fosil yakıt kullanımından kaynaklanan ve engellenemeyen bir sonuçtur. Diğer gazlar gibi filtre edilip tutulması kolay değildir.

Petrol ve petrol ürünleri yaşamın birçok alanında kullanılmakla beraber, özellikle taşımacılık sektöründe önemli bir yere sahiptir. Dizel yakıtı olan motorin benzine göre daha fazla kullanılmakta ve her geçen gün motorin kullanımı benzine göre daha da artmaktadır. Petrol rezervlerinin belirli yerlerde toplanmış olması, siyasi ve ekonomik nedenler, geçmişte petrol krizlerinin yaşanmasına sebep olmuştur. Özellikle 1974'de yaşanan petrol krizi sonucunda, petrol ürünleri piyasadan çekilmiş ve bu nedenle de petrol fiyatları artış göstermiştir [6]. Günümüzde de petrol fiyatları sürekli artmaktadır. Petrolün her geçen gün azalması, geçmişte yaşanan petrol krizleri ve çevre bilincinin artması, yeni enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır.

Özellikle petrole bağımlı ülkelerde, enerji açısından dışa bağımlılığın azaltılması için alternatif yakıt arayışlarına önem verilmiştir.

Çevre dostu ya da yeşil enerji türleri olarak adlandırdığımız enerji kaynakları geleceğin enerji kaynaklarıdır. Çevre koruma ölçütleri içerisinde ve bunlarla gelen yaptırımlar, günümüzde ulusal sınırları aşmakta ve uluslararası bir boyut kazanmaktadır. Bu nedenle, uluslararası ortak çözümlere etkin katılım sağlanmalı, yenilenebilir, çevre dostu enerji kaynakları desteklenmeli ve geliştirilmelidir. Enerji sektöründe teknolojik yenilik, çok boyutludur. Buna göre: eski, hantal ve verimsiz enerji teknolojileri, ilke olarak kullanılmamalı, maliyet düşürücü teknolojilere öncelik verilmelidir. Ayrıca ülkeler eskimiş enerji sistemlerinin tutsağı olmamalı, yeni yenilenebilir ve temiz enerji teknolojilerine yatırım yaparak, bu alandaki az gelişmişliklerini, çok büyük bir ekonomik ve toplumsal gelişme atılımına dönüştürmelidir. Enerji kullanımı, üç büyük etkene göre biçimlenmekte ve gelişmektedir. Bunlar, piyasa koşullarının geçerliliği, çevre sağlığını koruma ve teknolojik yeniliklerdir [7].

Günümüzde benzin ve dizel yakıtına alternatif yakıtlar etanol ve biyodizeldir. Etanol etilenin hidratlaşması ve şekerli bitkilerin fermantasyonu ile üretilmektedir. Ayrıca tarımsal artıklar, endüstriyel artıklar ve atıklar da etanol eldesi için kullanılabilir. Etanol, buji ateşlemeli motorlarda herhangi bir değişiklik yapmadan benzine katılarak kullanılmaktadır. Etanolün gelecekte benzinin yerini alabileceği düşünülmektedir. Biyodizel ise bitkisel veya hayvansal yağlardan üretilen ve dizel motorlarında hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılabilen alternatif dizel yakıtıdır. Toksik etkisi olmayan, doğada kolay bozulabilir, temiz ve çevreci bir yakıttır. Dizel motorlarında saf halde kullanıldığı gibi, petrol kökenli dizel yakıtlarıyla karıştırılarak da kullanılabilir. Birçok avantajı olmasına rağmen biyodizelin hammaddesini oluşturan bitkisel yağların maliyeti bir dezavantajdır. Etanol şu anda ülkemizde, benzine %2 oranında karıştırılarak satılmaktadır [8]. Bununla birlikte, biyodizelin de ülkemizde başlangıçta dizel yakıtı ile belirli oranlarda karıştırılarak ticarileştirilmesi düşünülmektedir.

Türkiye bugün toplam enerjisinin yaklaşık %70'ini ithal eden bir ülkedir. Bu değer 2020 yılında yaklaşık %20 olacağı düşünülmektedir [9]. Tarım ülkesi olan ülkemizde, biyodizel öncelikli bir seçenektir. Kırsal kesimin ekonomik yapısının güçlenmesi ve iş imkanlarının yanı sıra, yan sanayinin de gelişmesine katkıda bulunacaktır. Biyodizelin stratejik konumu da göz ardı edilemez bir durumdur. Biyodizelin atık yağlardan da üretilmesi maliyeti düşüren etkenlerdendir. Türkiye'de her yıl 300 bin ton atık yağ oluşmaktadır. Bu atık yağlar biyodizel üretiminde kullanıldığında yılda 480 milyon YTL kazanç sağlanacaktır. Ayrıca, oluşan bu atık yağlar biyodizel üretiminde kullanıldığında, motorine göre atmosfere atılan sera gazı CO₂ miktarı 900 bin ton azalacaktır. Avrupa Birliğinin 2003/30/EC direktifi, 2005 sonunda piyasaya arz edilen fosil yakıtların yerine %2 biyo-yakıt konulması zorunluluğunu getirmiştir. Her yıl bu oranın; 2006 yılında %2,75, 2007 yılında %3,50, 2008 yılında %4,25, 2009 yılında %5,00, 2010 yılında %5,75 olması hedeflenmektedir. Bu yüzden, yılda 12 milyon ton motorin kullanan Türkiye'nin 2005 yılı verilerine göre 240 bin ton, 2006 yılı verilerine göre ise 330 bin ton biyodizeli ulaşımda kullanması gerekmektedir. 2010 yılına kadar ulaşımda kullanılan motorin miktarı değişmezse, 2010 yılında kullanılması gerekli biyodizel miktarı 690 bin ton olacaktır [5]. Bu nedenlerden dolayı, ülkemizde biyodizel olan ilgi hızla büyümekte ve biyodizel üretimi yaygınlaşmaktadır. Ancak üretilen biyodizelin standartları sağlanması gerekmektedir. Aksi takdirde kullanım anında biyodizel, motor parçalarına ve yakıt pompası gibi elemanlara zarar verecektir. Bu yüzden üretilen biyodizeller ve dizel yakıtı ile karışım oluşturulduğunda, karışım özelliklerinin belirlenmesi gerekir.

Yapılan bu çalışmada, atık ve bitkisel yağlardan biyodizel üretimi yapılmıştır. Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak ayçiçek, kanola, soya, pamuk, mısırözü ve atık yağ olarak palmye atık yağı kullanılmıştır. Üretilen biyodizeller ve iki farklı dizel yakıtı ile ayrı ayrı harmanlanarak belirli oranlarda karışımlar oluşturulmuştur. Oluşturulan bu karışımların yoğunluk, viskozite, parlama noktası, distilasyon eğrileri ve akma noktası gibi yakıt özellikleri belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerle birlikte üretilen biyodizellerin dizel yakıtı ile birlikte hangi oranlarda nasıl bir sonuç verdiği ve dizel yakıtı ile birlikte kullanılabilirliği incelenmiştir. Bunun yanı sıra üretilen biyodizeller ve dizel yakıtları arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Rudolf Diesel'in dizel motorunu icat etmesinden bu yana, bitkisel yağlar dizel motorları için alternatif bir yakıt olarak kendini göstermiştir. 1920'li yıllarda petrol endüstrisinin gelişmesiyle birlikte bitkisel yağlara olan ilgi azalmış ve zamanla önemini yitirmiştir. Ancak savaş gibi acil durumlarda bitkisel yağların kullanılmasına devam edilmiştir. Örneğin II. Dünya Savaşı sırasında Almanya ve müttefikleri araçlarında biyokütle yakıtlarını kullanmışlardır. Buna rağmen, biyoyakıtlara gereken ilgi gösterilmemiştir. 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizlerinin ardından alternatif yakıtlar üzerine yapılan araştırmalar artmıştır. Bitkisel yağlarla yapılan birçok çalışma, bitkisel yağların kısa süreli ve acil durumlarda kullanılabileceğini göstermiştir. Çünkü uzun kullanım süresinde bitkisel yağlar motor problemlerine sebep olmuştur. Bu bölümde bitkisel yağların ve biyodizelin dizel motorlarda kullanımı, biyodizel üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili geçmişten günümüze yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

Goering ve ark. [10], onbir farklı bitkisel yağın yakıt özelliklerini belirlemişlerdir. Buna göre, bitkisel yağların yoğunluğunun, parlama noktasının ve viskozitesinin 2 nolu dizel yakıtına göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca setan sayısı ve ısı değeri bakımından 2 nolu dizel yakıtına göre yakın olduğunu, ancak soğuk akış özellikleri açısından bitkisel yağların daha kötü olduğunu belirlemişlerdir. Kullanılan yağlar arasında, yakıt özellikleri bakımından en iyi yağların mısır, kanola, susam, pamuk ve soya yağları olduğu belirtilmiştir.

Humke ve Barsic [11], soya yağı ve soya yağı-dizel yakıt karışımlarını doğal emişli bir dizel motorunda test etmişlerdir. Bitkisel yağların ve karışımlarının dizel motorunda kullanılması ile birlikte enjektörlerde meydana gelen kalıntılar sonucu, motor performansında düşüş ve eksoz emisyonlarında artış gözlemlenmiştir. Ayrıca termik verim %1-%2 oranında düşmüştür.

Mazed ve ark. [12], fındık, soya ve pamuk yağını tek silindirli, direkt enjeksiyonlu ve ön yanma odalı iki farklı dizel motorunda test ederek, performanslarını karşılaştırmıştır. %100, %25 ve %10'luk oranlar ile yağları dizel yakıtıyla karıştırmışlardır. Yapılan kısa süreli testlerde, maksimum güçte yakıt tüketimi, dizel yakıtına oranla yağlarda ve karışımlarda artmıştır. Direkt enjeksiyonlu motorda dizel yakıtında 3000 d/d'da 2,98 kW güç elde edilirken, fındık yağında 2,86 kW, soya ve pamuk yağında 2,98 kW güç elde edilmiştir. Ön yanma odalı motorda ise, 2500 d/d'da dizel yakıtında 8,43 kW, fındık yağında 8 kW, soya yağında 8,24 kW ve pamuk yağında 8,16 kW olmuştur. Yağların ve karışımların kullanılmasıyla birlikte duman yoğunluğu direkt enjeksiyonlu motorda artarken, ön yanma odalı motorda azalmıştır. Bu çalışmada bitkisel yağlar, ön yanma odalı dizel motorunda direkt enjeksiyonlu motora göre daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Lague ve ark. [13], atık bitkisel yağların ön yanma odalı dizel motorunda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Atık yağları dizel yakıtı ile %20 ve %50 oranlarda karıştırarak test etmişlerdir. İlk 200 saat ve her 200 saatlik kullanımdan sonra motor sökülüş, piston sekmanları değiştirilmiş ve silindirler honlanmıştır. Önce dizel yakıtı, sonra %20-%80 karışım ve son olarak da %50-%50 karışım test edilmiştir. Soğuk havalarda, karışımlar kullanılırken, 10°C sıcaklıkta bile ilk çalıştırma esnasında bir problem yaşanmamıştır. Fren özgül yakıt tüketimi dizel yakıtında 273,26 g/kW-h iken, %20-%80 karışımda 277,45 g/kW-h'ye, %50-%50 karışımda 290,12 g/kW-h'ye yükselmiştir. Karışımlar motorda, dizel yakıtına nazaran daha çok karbon birikintisine sebep olmuştur. Ancak bu fazlalık, piston sekmanlarının yapışmasına yada pistonun hareketini zorlaştıracak bir etki meydana getirmemiştir. Yapılan bu çalışmayla, atık yağların ön yanma odalı bir dizel motorunda kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Cığızoğlu ve ark. [14], kullanılmış ayçiçek yağı ile dizel yakıtını hacimsel olarak %20-%80 oranlarında karıştırmış ve bu karışımı ön yanma odalı bir dizel motorunda 1200–2100 d/d aralığındaki çeşitli devirlerde test etmişlerdir. Yapılan deneylerde, 2/3 motor yükünde karışımın, dizel yakıtına oranla özgül yakıt sarfiyatını arttırdığı görülmüştür. Karışımın ısı değeri düşük olması ile birlikte, elde edilen tork ve güçte azalma olmuştur. Tam yük şartlarında özgül yakıt tüketimi dizel yakıtınıninkine

yakın ölçülmüştür. Ancak duman yoğunluğunda belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca tam yük şartlarında, güç ve torkta belirgin bir farklılık görülmemiştir.

Demirsoy ve Kındırlioğlu [15], bitkisel yağlar ile dizel yakıtını karıştırarak dizel motorlarında kullanılabilirliğini incelemiştir. Yapılan çalışmada, %85 ayçiçek yağı ve %15 dizel yakıtı içeren karışım kullanıldığında, elde edilen momentin dizel yakıtı kullanıldığında elde edilen momentten daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Fakat yağların kullanılmasıyla, silindirde karbon birikintisi meydana gelmiştir.

Walton [16], soya yağı, palmye ve pamuk yağını dizel motorunda denemiştir. Yapılan deneyler sonucunda, kullanılan yağlar motor performans karakteristikleri bakımından dizel yakıtı ile benzer özellikler göstermiştir. Çeşitli gaz keleşi açıklıklarında ve farklı hızlarda dizel yakıtına oranla yakıt ekonomisi sağlanmıştır. Ancak kullanılan yağlar motorda karbon birikintilerine sebep olmuş ve yağlar için akma noktası problemleri ortaya çıkmıştır. Palmye yağı, bakır ve pirinçle reaksiyona girip oksitlenmeye sebep olmuştur. Bunun üzerine Walton, trigliseritleri parçalamayı ve yağ asitlerini yakıt olarak kullanmayı ileri sürmüştür.

Yücesu ve ark. [17], tek silindirli bir dizel motorunda bitkisel yağ kullanımının motor performansı ve eksoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada ham ayçiçek yağı, ham pamuk yağı, ham soya yağı, bu yağlardan elde edilen biyodizeller, rafine edilmiş haşhaş yağı, kanola yağı ve mısır yağı kullanılmıştır. Yağlar biyodizele dönüştürüldüğünde, viskoziteleri azalmış, ısı değeri bir miktar artmış ve yoğunluk azalmıştır. Yapılan deneylerde bitkisel yağların kullanılmasıyla birlikte ilk harekete geçişte zorluklar meydana gelmiştir. Motor momenti, güç ve termik verim dizel yakıtına oranla düşmüştür. Ham yağlardan üretilen biyodizeller, bitkisel yağlara oranla daha yüksek motor momenti ve güç üretmiş ve dizel yakıtınıninkine yakın motor performans karakteristikleri göstermiştir. Bitkisel yağlar kullanıldığında, duman koyuluğu artmıştır. Yapılan deneylerde, bitkisel yağların ve biyodizellerin NO_x emisyonları, dizel yakıtına oranla daha düşük belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalara bakıldığında, bitkisel yağların kısa süreli kullanımı mümkün olmasına rağmen, uzun süreli kullanıma elverişli olmadığı görülmektedir. Bu yüzden bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

Freedman ve ark. [18], pamuk yağı, soya yağı, fındık yağı ve ayçiçek yağından biyodizel üretmişler ve alkol oranı, katalizör miktarı, katalizör tipi ve reaksiyon sıcaklığının biyodizel üretimindeki etkilerini incelemişlerdir. Ayçiçek yağı ile yapılan deneylerde alkol olarak metanol, katalizör olarak %0,5 sodyum metoksit (NaOCH_3) kullanıldığında ve 60°C reaksiyon sıcaklığında 1 saat sonunda, alkol oranı 3:1 iken ester dönüşümü %82 olmuş, alkol oranı 6:1 olduğunda ise dönüşüm %98'e yükselmiştir. Benzer olarak diğer yağlarda da dönüşümler, 6:1 oranda %93-%98 arasında elde edilmiştir. Alkol molar oranı 3:1 seçildiğinde, diğer yağlarda %74-%89 dönüşüm elde edilmiştir. Alkol olarak metanolün yanısıra etanol ve bütanol de kullanılmıştır. 3:1 alkol molar oranı, %0,5 NaOCH_3 kullanıldığında ve reaksiyon sıcaklığı kullanılan alkolün kaynama noktasının biraz altında seçildiğinde, 1 saat sonunda dönüşüm bütanol, etanol ve metanol için sırasıyla, %88, %81 ve %82 olmuştur. Alkol molar oranı 6:1'e yükseltildiğinde dönüşümler %96-%98 arasında belirlenmiştir. 6:1 alkol molar oranı kullanıldığında reaksiyon sonundaki biyodizelin yapısında bulunan toplam gliserit miktarı, 3:1 molar orana göre daha azdır. Her iki durum için biyodizelin yapısında bulunan monogliserit ve digliseritler trigliseritlerden daha azdır. Yan ürün olarak elde edilen gliserin miktarını belirleyebilmek için, alkol molar oranı 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 5:1, 6:1 olarak seçilmiştir. En fazla gliserin 6:1 oranda elde edilmiştir. Reaksiyon sıcaklığının etkisini görebilmek amacıyla soya yağı kullanılmış, 60°C , 45°C ve 32°C olmak üzere farklı reaksiyon sıcaklıkları seçilmiştir. %1 NaOH ve 6:1 alkol molar oranında 0,1 saat içinde dönüşümler 60°C , 45°C ve 32°C 'de sırasıyla %94, %87 ve %64 olarak belirlenmiştir. 1 saatlik reaksiyon sonunda ise dönüşümler birbirine yakın elde edilmiştir. 6:1 alkol oranında, %0,5 NaOCH_3 , %1 NaOH kadar etkili olduğu görülmüştür. Ancak 3:1 alkol molar oranında %0,5 NaOCH_3 , %1 NaOH 'a göre daha üstündür. 3 alkol için %1 sülfirik asit (H_2SO_4) kullanıldığında, 6:1 ve 20:1 alkol molar oranında sırasıyla, 3 saat ve 18 saatte tatmin edici sonuçlar elde edilmemiştir. Reaksiyon sıcaklıkları alkollerin kaynama noktalarının biraz altında, alkol molar oranı 30:1 seçilmiş ve bütanol, etanol ve metanol için reaksiyon süreleri sırasıyla 3,

22 ve 69 saat seçilmiştir. 3 alkol içinde bu süreler sonunda dönüşüm oranları birbirine yakın belirlenmiştir. Maksimum ester dönüşümünün elde edilmesi için yağın serbest yağ asidi miktarının %0,5'in altında olması gerektiği vurgulanmıştır.

Sims [19], iç yağından alkol olarak metanol, etanol ve bütanol kullanarak biyodizel üretmiştir. Üretilen biyodizellerin yakıt özelliklerini belirlemiş ve kısa süreli motor performans karakteristiklerini incelemiştir. Alkol olarak metanol kullanıldığında üretilen biyodizelin parlama noktası 23°C, alkol olarak etanol kullanıldığında biyodizelin parlama noktası 33°C ve alkol olarak bütanol kullanıldığında parlama noktası 53°C olmuştur. Distilasyon eğrilerine bakıldığında, biyodizellerin ilk kaynama noktaları, iç yağı metil ester için 104,5°C, iç yağı etil ester için 99°C ve iç yağı bütil ester için 113,5°C tespit edilmiştir. Parlama noktaları ve ilk kaynama noktalarının düşük çıkmasının, biyodizellerin içinde kalan artık metanolden kaynaklandığı söylenmektedir. Üretilen biyodizellerin akma noktaları 6°C olarak belirlenmiştir. Motor performansı açısından karşılaştırma yapıldığında, dizel yakıtıyla pek farklılık görülmemiştir. Ancak biyodizel kullanıldığında yakıt tüketimi artmıştır.

Alfuso ve arkadaşları [20], kolza metil esterini direkt enjeksiyonlu, turboşarjlı bir dizel motorunda denemişlerdir. Yapılan testlerle birlikte, aynı enjeksiyon zamanı için, dizel yakıtına nazaran NO_x emisyonlarında artış gözlemlenmiştir. HC ve CO emisyonlarında bir miktar düşme tespit edilmiştir. Ancak duman yoğunluğunda belirgin bir azalma görülmüştür. Alfuso ve arkadaşları bu sistemde eksoz gazı resirkülasyonu (EGR) kullanılarak NO_x, HC ve CO emisyonlarının azaltılabileceğini belirtmişlerdir.

Işığigür ve ark. [21], aspir yağından metil ester üretmişlerdir. Ürettikleri esteri dört silindri, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda, aynı koşullarda dizel yakıtı ile, motor performansı ve eksoz emisyon karakteristikleri bakımından karşılaştırmışlardır. Deneyler sonucunda ester ile dizel yakıtı birbirine yakın motor karakteristikleri göstermiştir. CO ve HC emisyonlarında dizel yakıtına nazaran daha düşük belirlenmiştir. Ayrıca metil esterinin dizel yakıtına kıyasla çok az kükürt içermesi, esterinin diğer üstün bir yanı olduğu belirtilmiştir.

Peterson ve ark. [22], kanola, soya, iç yağı ve kolza yağlarından etil ve metil esterler üretmişlerdir. Ürettikleri esterleri kısa süreli testlerle dizel motorunda denemişlerdir. Üretilen biyodizeller kıyasladığında, etil esterlerin metil esterlere göre viskozitesinin daha yüksek olduğu, akma ve bulutlanma noktasının daha düşük olduğunu belirlemiştir. Yapılan motor testlerinde, metil esterin dizel yakıtına oranla daha düşük, ancak etil estere oranla biraz yüksek güç ve tork ürettiği görülmüştür. Etil ve metil esterlerin yakıt tüketimi neredeyse aynı, fakat dizel yakıtına oranla biraz daha fazla ölçülmüştür. Bunun yanında, esterler için duman koyuluğu dizel yakıtından belirgin bir şekilde düşük saptanmıştır. Ayrıca etil esterlerin, metil esterlere göre enjektörlerde daha fazla karbon birikintisine neden olduğu belirlenmiştir.

Ali ve Hanna [23], iç yağından ürettikleri metil esteri etanol ile karıştırmışlardır. Bu karışımın viskozitesi dizel yakıtı ile aynı olduğunda karışımdaki ester miktarı hacimsel olarak %65, etanol miktarı %35'tir. Oluşturulan bu karışımla, dizel yakıtı belirli oranlarda karıştırılmış ve karışımların viskozite, yoğunluk ve setan indeksi saptanmıştır. Yapılan deneylere göre, ester-etanol ve dizel yakıtı karışımlarının yoğunlukları 0,835-0,830 g/cm³ arasında değişmiştir. Ester-etanol karışımının setan indeksi, dizel yakıtına oranla daha yüksektir ve karışımdaki dizel yakıtı oranı arttıkça setan indeksi azalmıştır. Esterin ilk kaynama noktası 210,5°C iken, dizel yakıtının 202°C'dir. Karışımlarda etanol kullanılması ve etanolün kaynama noktasının 78°C olması, karışımların ilk kaynama noktasının düşük olmasına neden olmuştur. Karışımların ilk kaynama noktası 65-76°C arasında değişmiştir. Son kaynama noktaları ise, 306-326°C arasındadır. Bu değerler son kaynama noktası 361°C olan dizel yakıtına nazaran daha düşüktür.

Muniyappa ve ark. [24], sığır iç yağından farklı reaksiyon şartlarında NaOH kullanarak biyodizel üretmişlerdir. Fakat bazı reaksiyonlar için biyodizelde jelleşme görülmüştür. Yağın yüksek oranda doymuş yağ asidi içeriği ve trigliserid dönüşümünün düşük olması, tamamlanamayan reaksiyonla birlikte monogliserit, digliserit ve trigliseritlerin erime noktalarının yükselmesine sebep olmuştur. Bu nedenlerle biyodizelde jelleşme görüldüğü belirtilmiştir.

Graboski ve ark. [25], soya yağı metil esterini 2 nolu dizel yakıtı ile %20, %35, %65'lik oranlarda karıştırarak dizel motorunda test etmişlerdir. Yapılan testler sonucunda %35 biyodizel içeren karışım için NO_x miktarı %1 artmış, partikül miktarı ise %26 azalmıştır. %100 biyodizel için NO_x miktarı %11 artarken, partikül madde %66, CO %47 ve HC %44 azalmıştır.

Karaosmanoğlu ve ark. [26], biyodizelin rafine aşamasında 50°C sıcaklıktaki distile su ile yıkanmasının en iyi rafine prosesi olduğunu belirtmiştir. Sıcak su ile yıkama işleminden sonra biyodizelin saflığı yaklaşık %99 olmuştur.

Schumacher ve ark. [27], soya yağı biyodizel ve dizel yakıt karışımlarına soğuk akış özelliklerini iyileştirici bir madde (SVO) ekleyerek, soğuk akış özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Soğuk akış özelliklerini iyileştirici maddeden, %0, %0,1, %0,2, %0,5, %0,75, %1, %2 oranlarında, B100, B40, B30, B20 ve %100 dizel yakıtıyla hacimsel oranlarda karıştırmışlardır. Karıştırma işlemi için iki yöntem uygulamışlardır. Birinci işlemde önce soya yağı biyodizel ile SVO'yu karıştırmışlar, daha sonra dizel yakıtını eklemişlerdir. İkinci işlemde ise, önce biyodizel ile dizel yakıtını karıştırmış, daha sonra SVO'dan eklemişlerdir. Birinci işlem için, saf biyodizelin akma noktası -6,7°C iken, %0,2 SVO eklendiğinde akma noktası -12,2°C, %2 SVO eklenmesiyle akma noktası -17,7°C olmuştur. %100 dizel yakıtında akma noktası -26,1°C iken, %1 SVO eklendiğinde akma noktası -31,6°C'e düşmüştür. İkinci işlem için, dizel-biyodizel karışımlarında akma noktası %0,5 ve %1 SVO'da değişmezken, %2 SVO'da akma noktası düşmüştür. Birinci işlem için bulutlanma noktası sonuçlarına bakıldığında, saf biyodizelin bulutlanma noktası -4,4°C iken, %0,2 SVO konulduğunda -6,7°C ve %2 SVO konulduğunda bu değer değişmemiş ve -6,7°C'de kalmıştır. Dizel yakıtının bulutlanma noktası -17,7°C iken, %1 ve %2 SVO konulduğunda -12,2°C'ye düştüğü görülmüştür. İkinci işlem için dizel-biyodizel karışımlarında bulutlanma noktası pek değişmemiştir. SVO eklenmesiyle birlikte, viskozitenin de arttığı ya da azaldığı tespit edilmiştir.

Canakci ve Gerpen [28], asit katalizör kullanarak, alkol molar oranı, reaksiyon sıcaklığı, katalizör miktarı, reaksiyon zamanı, su içeriği ve serbest yağ asidi miktarının biyodizel üretimindeki etkilerini incelemişlerdir. Reaksiyon süresi 48 saat,

alkol molar oranı 6:1 ve %3 sülfirik asit (H₂SO₄) kullanıldığında, reaksiyon sıcaklıkları 25°C, 45°C ve 60°C seçildiğinde, ester dönüşümleri sırasıyla %8,3, %57,2 ve %87,8 olmuştur. Reaksiyon sıcaklığının artmasıyla birlikte esterlerin yoğunlukları da azalmıştır. Yine reaksiyon süresi 48 saat, katalizör miktarı %3 ve reaksiyon sıcaklığı 60°C seçildiğinde molar oranın etkisini görebilmek için, 3,3:1, 3,9:1, 6:1 ve 30:1 molar oranlar kullanılmıştır. 30:1 molar oranda ester dönüşümü %98,4'e yükselmiştir. Farklı katalizör miktarları kullanılan deneylerde %1, %3, %5 katalizör miktarları seçilmiştir. Reaksiyon süresi 48 saat, alkol molar oranı 6:1 ve reaksiyon sıcaklığı 60°C seçildiğinde, ester dönüşümü %1 katalizörde %72,7 iken, %5 katalizörde %95 olmuştur. Yapılan çalışmada diğer bir parametre reaksiyon sıcaklığının etkisidir. 48 ve 96 saat olmak üzere iki farklı reaksiyon zamanı seçilmiştir. Ester dönüşümü 48 saatte %87,8 iken, 96 saatte %95,1'e yükselmiştir. Asit katalizörler ile yüksek dönüşüm elde etmek için uzun reaksiyon sürelerinin esas alınması gerektiği söylenmiştir. 48 saat sonra ester yoğunluğu 0,8876 gr/cm³ iken, 96 saat sonra 0,8838 g/cm³ olmuştur. Alkol tipinin etkisini görebilmek için, metanolün yanında izo-proponol, 1-bütanol ve etanol de kullanılmıştır. %3 katalizör ve 6:1 alkol molar oranı, 48 saat reaksiyon süresi ve reaksiyon sıcaklıkları alkollerin kaynama noktaları göz önüne alınarak etanol ve izoproponol için 75°C, metanol için 60°C ve 1-bütanol için 110°C olarak seçilmiştir. En yüksek ester dönüşümü etanolde %95,8 olarak elde edilmiştir. İzoproponol kullanıldığında ester dönüşümü %92,9, 1-bütanolde kullanıldığında %92,1 ve metanol kullanıldığında %87,8 olarak tespit edilmiştir. Serbest yağ asidi miktarının etkisini görebilmek için soya yağının asit değeri %5, %10, %15, %20 ve %33 olacak şekilde palmitik asit eklenmiştir. Reaksiyon süresi 96 saat, katalizör miktarı %3 ve reaksiyon sıcaklığı 60°C seçildiğinde, %5 serbest yağ asidi miktarı ve sonrasında ester dönüşümü %90'ın altına düşmüştür.

Tat ve Gerpen yaptıkları çalışmalarda [29, 30], biyodizel ile 1 nolu ve 2 nolu dizel yakıtını %75, %50 ve %20 oranlarda karıştırarak viskozite ve yoğunluklarını belirlemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça viskozite artmıştır. Viskozitedeki bu artış lineer olarak gerçekleşmemiştir. Yoğunluk da karışım içerisindeki biyodizel miktarı arttıkça artmıştır. Ancak yoğunluktaki artış viskozitenin aksine lineer olarak gerçekleşmiştir. Yapılan

deneylerde viskozite ve yoğunluklar farklı sıcaklıklarda da ölçülmüştür. Sıcaklık arttıkça viskozite ve yoğunluk azalmış, sıcaklık azaldıkça viskozite ve yoğunluk artmıştır. Oluşturulan denklemlerle viskozite ve yoğunluğun karışım içerisindeki biyodizel miktarına bağlı olarak hesaplanabileceği belirtilmiştir.

Kinast [31], biyodizel ve dizel yakıtı karışımlarının yakıt özelliklerini inceleyen kapsamlı bir çalışma yapmıştır. Yaptığı bu çalışmada soya yağı, kanola yağı, domuz yağı, yenilenebilir iç yağ, yenilenemez iç yağ, düşük serbest yağ içeren sarı gres ve yüksek serbest yağ asidi içeren sarı gresten biyodizel üretmiştir. Ürettiği biyodizelleri %0,25, %0,5, %1, %3, %5, %10, %20, %35, %50 oranlarda dizel yakıtı ile karıştırarak özelliklerini belirlemiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında biyodizel miktarı arttıkça ölçülen viskozitelerin lineer olarak değişmediği görülmektedir. Bazı düşük yüzdeleri (%0,5, %1, %3, %5) biyodizel içeren karışımlar için yapılan ölçümlerde viskozite beklenmedik bir şekilde dizel yakıtından düşük çıkmıştır. Akma noktası sonuçlarında dizel yakıtının akma noktası -27°C iken, %1 biyodizel eklenmesiyle bile akma noktası 3°C - 6°C arasında düşüş göstermiştir. Bulutlanma noktası testlerinde dizel yakıtının bulutlanma noktası -18°C iken, %1 biyodizel eklenmesi ile birlikte bulutlanma noktası 1°C - 3°C arasında düşmüştür. Soğuk filtre tıkanma noktası testlerinde, bu değer dizel yakıtında akma noktası ile bulutlanma noktası arasında, biyodizellerde ise akma noktasına çok yakın elde edilmiştir. Setan sayısı karışım içerisindeki biyodizel miktarı arttıkça artmıştır. Aynı şekilde karışımların yağlayıcı özelliği biyodizel miktarı arttıkça artmıştır. Üretilen biyodizellerin distilasyon eğrilerine bakıldığında ilk kaynama noktalarının 304 - 329°C arasında, parlama noktaları ise 128 - 173°C arasında belirlenmiştir.

Canakci ve Gerpen [32], yüksek serbest yağ asidi içeren yağlardan biyodizel üretmiştir. Bu çalışmada asit katalizör kullanılarak asit katalizör miktarının, reaksiyon süresinin, alkol türü ve oranının yağın serbest yağ asidi (SYA) miktarı üzerinde nasıl değiştirdiği incelenmiştir. Soya yağına kütleli olarak %20 ve %40 palmitik asit eklendiğinde, asit değeri sırasıyla $41,33$ ve $91,73$ mg KOH/g olmuştur. Transesterifikasyondan önce yapılan ön iyileştirmede, SYA'ya göre alkol molar oranı 9:1 seçildiğinde, H_2SO_4 kullanılmadığında asit değeri 1 saatte %20 palmitik asit içeren karışım için $33,38$ mg KOH/g, %25 katalizör kullanıldığında 0,5 saat

içerisinde asit değeri 0,92 mg KOH/g, 1 saat içerisinde 0,54 mg KOH/g olarak belirlenmiştir. %40 palmitik asit içeren karışımda ise asit değeri 1 saat sonunda 6,25 mg KOH/g olmuştur. Daha yüksek miktarlarda katalizör kullanıldıysa da, hedeflenen değer 2 mg KOH/g'a ulaşılmamıştır. Farklı alkol olarak etanol kullanılmıştır. Reaksiyon sıcaklığı 75°C'ye yükseltilmiş ve alkol molar oranı yine 9:1 seçilmiştir. 1 saatlik reaksiyon sonunda, %20 palmitik asit içeren karışım için %25 katalizör kullanıldığında asit değeri 3,00 mg KOH/g, %40 palmitik içeren karışımda %25 katalizör kullanıldığında 6,40 mg KOH/g olmuştur. 1 saat sonunda asit değeri etanol için daha yüksek olsa da ilk yarım saat için etanol ile yapılan reaksiyonlar daha hızlı gerçekleşmiş ve yarım saat sonunda asit değeri metanole göre daha düşük tespit edilmiştir. Asit miktarının istenilen değere düşmemesi halinde ön iyileştirme reaksiyonu tekrarlanmış ve asit değeri 2 mg KOH/g'ın altına düşürülmüştür.

Ulusoy ve Alibaş [33], ayçiçek yağından biyodizel üretmişlerdir. Üretilen biyodizel ve dizel yakıtını tek silindirli bir motorda denemişlerdir. Her iki yakıtla da, motorun özgül yakıt tüketimi, efektif gücü ve dönme momenti gibi değerler belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, motor momenti, efektif güç, saatlik yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi değerleri açısından biyodizel ve dizel yakıtı arasında bariz bir farklılığın olmadığını tespit etmiştir.

Kalum ve Masjuki [34], palmiye yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile %7,5 ve %15 oranlarda karıştırarak 4 silindirli indirekt enjeksiyonlu bir dizel motorunda test etmişlerdir. Deney sonuçlarında en yüksek gücü 1600 d/d'da %15-%85 biyodizel-dizel karışımında 12,4 kW olarak elde etmişlerdir. %7,5-%92,5 karışımda 11,44 kW ve dizel yakıtında 10,48 kW güç elde edilmiştir. Güçte elde edilen bu artışın, biyodizel-dizel karışımlarına eklenen korozyon önleyici maddeden kaynaklandığı söylenmektedir. Eksoz emisyonlarına bakıldığında NO_x miktarı ve CO miktarı azalmıştır. HC miktarında ise belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Gönderilen yakıtın ortalama %60'ı 0°-20° krank açısı içerisinde yanar, üst ölü noktadan 20°-50° krank açısı sonra da tamamı yanmış olur. Dizel yakıtına oranla yüksek ısı dağılımı ve yüksek silindir basıncıyla birlikte, %15-%85 karışımda HC miktarı %45 azalmıştır. Yapılan bu çalışmayla birlikte, motor yağında seyrelme meydana gelmiş ve motor yağının viskozitesi düşmüştür.

Cetinkaya ve Karaosmanoglu [35], kullanılmış kızırtma yağından biyodizel üretmişlerdir. Alkol olarak metanol, katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanmışlardır. Transesterifikasyon reaksiyonu için, yağ 50°C'ye kadar ısıtılmış ve alkol eklenmiş, karışımın sıcaklığı 55°C olduğunda da katalizör eklenmiştir. Ester dönüşümünü belirleyebilmek için belirli aralıklarla reaksiyondan örnekler alınmıştır. Alkol-yağ oranı 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, katalizör miktarı %1 ve %2 olacak şekilde transesterifikasyon reaksiyonları yapılmıştır. %1 katalizör ve 1:3 molar oranda, ester içeriği 210 dakikada %37,48'e yükselmiştir. Ancak bu dakikadan sonra ester içeriği düşmüş ve 4,5 saat sonunda %35,06 olmuştur. Molar oran 1:4 seşildiğinde, 2,5 saat sonra ester içeriği %56,70 olmuş, ancak 4,5 saat sonunda ester içeriği tekrar düşmüş ve %40,32 olmuştur. 1:5 oranda 2 saat sonunda ester içeriği %82,83, 4,5 saat sonra % 75,17 olmuştur. 1:6 oran seşildiğinde ilk 20 dakikada %58,84 ester içeriği elde edilmiş ve 1 saatten sonra ester içeriği %100 olmuştur. Aynı şartlarda katalizör miktarı %1'den %2'ye çıkarılmıştır. 1:4 oranda ilk yarım saatte dönüşüm olmamış, en yüksek ester dönüşümü ise 1 saatte %57,02 olmuştur. 4,5 saat sonunda ester dönüşümü %46,84'tür. 1:5 oranda ilk 20 dakikada dönüşüm olmamış ve 90 dakika sonunda %83,59 ester içeriği tespit edilmiştir. 4,5 saat sonunda ise %100 ester içeriği elde edilmiştir. 1:6 oranda ise ilk 10 dakikada ester içeriği %30,29 ve 40 dakikadan sonra ester içeriği %100 olmuştur. Ayrıca yapılan bu çalışmada toplam gliserin miktarının sıcak su ile yıkama işlemi yaparak %0,25'in altına düşürölmüştür. Bu değerini yakalayabilmek için 7 yıkamanın yeterli olduğunu belirtmişlerdir.

şanlı [36], farklı alkol ve katalizör kullanımının biyodizelin özelliklerine etkisini incelemiştir. Hammaddede olarak ayçiçek, mısırözü, soya, kanola, fındık ve pamuk yağı, alkol olarak metanol, etanol, 2-propanol ve 1-bütanol, katalizör olarak KOH, NaOH ve H₂SO₄ kullanmıştır. Yapılan bu çalışmanın sonucunda en uygun alkolün metanol olduğunu belirlemiştir. Alkol-yağ molar oranı 6:1 seşildiği durumdaki biyodizel eldesi ile 9:1 arasındaki biyodizel eldesinin pek değermediği görölmüştür. %1 KOH kullanımı ile sağlanan yakıt özellikleri, %1 NaOH ile sağlanamamıştır. Yine %1,5 KOH kullanıldığında, biyodizel eldesi, %1 kullanıma göre pek değermemiştir. Ancak %1,5 NaOH kullanıldığında biyodizelde jelleşme görölmüştür.

Lee ve ark. [37], common-rail dizel motorunda biyodizel-dizel yakıt karışımlarının yanma karakteristiklerini incelemişlerdir. Biyodizel, dizel yakıtı ile karıştırıldığında, viskozite, yüzey tansiyonu ve setan sayısı artmıştır. Farklı yakıt özellikleri ile birlikte karışımların püskürtme karakteristiği, dizel yakıtıninkine göre çok küçük farklarla kendini göstermiştir. Bunu esas alarak, biyodizelin dizel motorlarda çok küçük modifikasyonlarla ya da modifikasyona gerek kalmadan kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Özkan ve ark. [38], yaptıkları çalışmada biyodizel ve gliserinli biyodizeli dizel yakıtı ile karıştırarak test etmişlerdir. Yaptıkları testlerde, 2000 d/d'a kadar 3 yakıtta benzer özellikler göstermiştir. Ancak bunun üzerindeki devirlerde dizel yakıtından belirgin farkta yüksek fren gücü değerleri elde edilmiştir. Biyodizelde maksimum tork 2250 d/d'da 18,4 Nm, dizel ve gliserinli biyodizelde 1500 d/d'da sırasıyla 21,0 ve 19,7 Nm tork elde edilmiştir. Biyodizel ve gliserinli biyodizel dizel yakıtına nazaran daha fazla yakıt tüketimine sebep olmuştur. Yapılan deneyler sonucu gliserinin motor performansını etkin bir şekilde değiştirdiği belirtilmiştir.

Encinar ve ark. [39], kullanılmış kızartma yağından, alkol molar oranı 3:1-9:1, katalizör miktarı %0,5-1,5, reaksiyon sıcaklığı 65°C-25°C ve katalizör tipini değiştirerek biyodizel üretmişlerdir. Ürettikleri biyodizellerin yoğunluk, viskozite, akma-bulutlanma noktası ve parlama noktalarını ölçmüşlerdir. 3:1 alkol molar oranı, %1 KOH ve 65°C reaksiyon sıcaklığında 2 saat sonunda ester dönüşümü %70 çıkmıştır. 6:1 oranda en iyi dönüşüm elde edilmiştir. 9:1 oran kullanıldığında gliserin tam olarak ayrıştırılamamış ve ester dönüşümü yüksek çıkmıştır. Farklı katalizörlerin denendiği deneylerde, NaOCH₃, KOCH₃, NaOH katalizörleri arasında en iyi sonucu KOH vermiştir. En iyi katalizörün belirlenmesiyle birlikte, %0,5,%1,%1,25 %1,5 katalizör olmak üzere, 65°C reaksiyon sıcaklığında 6:1 alkol oranında en yüksek ester dönüşümü %1 KOH'da görülmüştür. %1'den daha fazla katalizör miktarlarında ester dönüşümü düşmüştür. Bunun nedeni olarak yağın serbest yağ asidi miktarının %1'in üzerinde olması gösterilmiştir. Reaksiyon sıcaklığı 65°C, 45°C ve 25°C için, ilk 5 dakikadaki ester dönüşümleri sırasıyla %84,7, %61,6 ve %49,3 olmuştur. 2 saatin sonunda ise dönüşümler sırasıyla %94,2, %79,9 ve %69,8 olmuştur. Bu çalışmada, 65°C reaksiyon sıcaklığı, %1 KOH olmak üzere molar oranlara göre

distilasyon eğrileri belirlenmiştir. Ester dönüşümü düştükçe, %90 distilasyon için sıcaklıklar yükselmiştir. Üretilen biyodizellerin parlama noktaları 169-178°C arasındadır. Akma noktaları ise -6,1 ile -2,1°C arasındadır.

Yamık ve İçingür [40], tek silindirli 4 zamanlı direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda ürettikleri etil esteri deneyerek, motor performansı, duman koyuluğu, avansa bağlı olarak moment değişimi ve ses seviyesi gibi özelliklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. %20 etanol ve %5 H₂SO₄ ve 65-85°C sıcaklığında reaksiyon yaparak ürettikleri etil esterinin viskozitesi 7,48 mm²/s, yoğunluğu 0,89 gr/cm³ ve ısı değeri 30436 kJ/kg olarak belirlenmiştir. Yapılan deneylerle birlikte, maksimum motor momentinin elde edildiği motor devrinde, etil ester ile dizel yakıtı arasındaki moment farkı %8 olarak belirlenmiştir. Maksimum gücün elde edildiği motor devrinde, moment farkı %18 olmuştur. Etil esterinin özgül yakıt sarfiyatı dizel yakıtına göre belirgin bir farkla artış göstermiştir. Ses seviyelerine bakıldığında, etil esterinin ses seviyesi dizel yakıtına oranla daha düşüktür.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında biyodizel-dizel yakıt karışımlarının özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili yapılan pek fazla çalışma görülmektedir. Dizel yakıtların içinde bulunan sülfürün belirli seviyelerde tutulması ile birlikte düşük sülfürlü dizel yakıtları kullanılmaya başlanmıştır. Yeni nesil dizel yakıtlarının özelliklerinin farklı olması, biyodizel ile karıştırıldığında özelliklerinin belirlenmesi gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır. Yapılan bu çalışmada biyodizel-dizel yakıt karışımlarının viskozite, yoğunluk, akma noktası, parlama noktası ve distilasyon eğrileri gibi yakıt özellikleri belirlenmiştir. Özellikle parlama noktası ve distilasyon eğrileri hakkında yeterli çalışma yoktur. Bu çalışmanın amacı, literatürdeki bu eksikliği doldurulmasına katkı sağlamak ve biyodizelin yeni nesil dizel yakıtları ile karıştırıldığında yakıt özelliklerinin nasıl değiştiğini tespit etmektir.

3. BİTKİSEL YAĞLAR

Bu bölümde, biyodizelin hammaddesi olan bitkisel yağlar hakkında genel bilgiler verilmektedir. Bu bilgiler aracılığıyla, yağların kimyasal yapısı, kimyasal ve fiziksel özelliklerinden bahsedilmiştir. Bunun yanısıra, bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanımı ve yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konuları üzerinde durulmuştur.

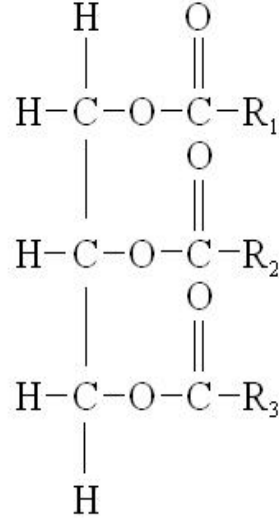
3.1. Bitkisel Yağların Kimyasal Yapısı

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 molekülüyle 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 bağ içeriyorsa, çoklu doymamış yağ asitleri olarak adlandırılır [41, 42].

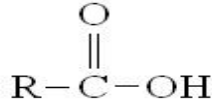
Aşağıdaki Şekil 3.1'de bir trigliseritin kimyasal yapısı görülmektedir. Şekilde görülen R harfleri yağ asitlerini simgelemektedir. Eğer trigliseritlerin içerisindeki yağ asitleri birbirleriyle aynı ise sıradan bir trigliserit, içerisindeki yağ asitleri birbirinden farklı ise karma trigliserittir. Fakat genellikle yağların içindeki yağ asitleri birbirinden farklıdır.

Yağ asitleri, karbon ve hidrojen atomlarından meydana gelmiş, karboksil asit içeren bir grup kimyasal bileşik olarak tanımlanabilir. İçerdiği karbon atomlarının sayısı, çift bağların sayısı ve zincir üzerindeki yeri bakımından birbirlerinden ayrılırlar. Eğer

yağ asitleri diğer bileşiklerle bir bağ oluşturmazsa, serbest yağ asidi olarak isimlendirilirler. Şekil 3.2’de bir yağ asidinin kimyasal şekli gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Trigliserit



Şekil 3.2: Yağ Asidinin Kimyasal Şekli

Palmitik (16:0) ve stearik asit (18:0) en çok bilinen iki doymuş yağ asididir. Bütün bitkisel yağlar, bu yağ asitlerinden en azından birini içerirler. Benzer olarak, oleik asit (18:1) bilinen tekli doymamış yağ asididir. Ayrıca bütün yağlar, bir miktar linoleik (18:2) ve linolenik (18:3) asit içerirler. Tablo 3.1’de yağ asitlerinin kimyasal yapıları verilmiştir [10]. Yağ asitlerinin yapısı iki rakam ile gösterilmiştir. İlk rakam, yağ asidinin toplam karbon atomu sayısını, ikinci rakam ise çift karbon bağ sayısını gösterir [43].

Bitkisel yağların yağ asidi içeriği, dizel motorlarında karbon oluşumunu azaltan etkili bir faktördür [43]. Diğer bir yandan, eğer yağ asitleri yapısında bir çift bağ bulunduruyorsa, 20°C ve 100°C aralığında, iki çift bağ bulunan bir yağ asidine göre oksitlenme bakımından on kat daha yavaştır. Üç çift bağ bulunan bir yağ asidine göre ise, on beş kat daha yavaş oksitlenir. Oksitlenme stabilitesi, depolama anında

sakızlaşmanın oluşumu hakkında bilgi veren önemli bir özelliktir [44, 45]. Oksitlenme ile birlikte yağın özellikleri değişmektedir. Oksitlenme ile birlikte, setan sayısı yükselir ve viskozite artar [46, 47].

Tablo 3.1: Yağ Asitlerinin Kimyasal Yapıları [10]

Yağ Asidi	Yapı
Mirstik	14:0
Palmitik	16:0
Stearik	18:0
Arakhidik	20:0
Behenik	22:0
Oleik	18:1
Rikinoleik	18:1
Erukik	22:1
Linoleik	18:2
Linolenik	18:3

Yağ asitlerinin kimyasal yapısı yakıtın birçok özelliğine etki etmektedir. Doymuşluk derecesi, zincir uzunluğu ve dallanma derecesi yağın soğuk akış özelliklerini etkiler. Örneğin, zincir uzunluğunun azalması veya karbon zincirindeki dallanmanın artmasıyla birlikte akma noktası, bulutlanma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası gibi yakıt özellikleri iyileşecektir [48]. Doymuş bir yağın, daha az doymuş bir yağa göre erime noktası daha yüksektir. Yine, zincir uzunluğunun artması erime noktasını artıracaktır. Ayrıca doymuşluk oranının artmasıyla birlikte setan sayısı da artmaktadır.

3.2. Bitkisel Yağların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri dizel yakıtıninkine 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 [42]. Bitkisel yağların setan sayıları ise dizel yakıtıninkine yakındır. Setan sayısı yakıtın tutuşabilirlik kalitesini yükseltir. Aşağıdaki Tablo 3.2’de bitkisel yağların bazı özellikleri verilmiştir.

Bitkisel yağlar çok az sülfür içerirler ya da içermezler. İnsan sağlığı ve çevre bakımından sülfür zararlı bir emisyonudur. Bitkisel yağların sülfür içermemesi çevreci bir yakıt olduğunu göstermektedir. Bitkisel yağların diğer bir özelliği de parlama noktasının dizel yakıtına göre çok yüksek olmasıdır. Bitkisel yağların parlama noktası genellikle 200 °C'nin üzerindedir. Dizel yakıtının parlama noktası ise 45 °C ile 55 °C arasındadır. Ayrıca doymuş bitkisel yağların soğuk akış özellikleri de dizel yakıtına oranla daha kötüdür.

Tablo 3.2: Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri [43]

Yağ	Viskozite mm ² /s	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	-

* B.N: Bulutlanma Noktası, A.N: Akma Noktası, P.N: Parlama Noktası

3.3. Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılması aslında çok eskiye dayanmaktadır. İlk olarak dizel motorunun mucidi Rudolph Diesel, 1898'de düzenlenen Paris'deki Dünya Sergisinde fıstık yağı ile çalıştırdığı dizel motorunu sergilemiştir. Petrol endüstrisinin gelişmesiyle birlikte ve petrol ürünlerinden elde edilen yakıtın maliyetinin daha az olması, bitkisel yağlara olan ilgiyi azaltmıştır. Bu dönemde 2 numaralı dizel yakıtı ön plana çıkmış ve dizel motorlarında bu yakıtı göre değişiklik yapılmıştır. Bitkisel yağlar 1920'lerin sonuna kadar kullanılmıştır [49].

Bitkisel yağlar dizel motorlarında kullanılabilen, yenilenebilir bir alternatif yakıttır. Geçmişten günümüze kadar bitkisel yağlar birçok araştırmacı tarafından dizel motorlarında denenmiştir. Bölüm 2'de de bahsedildiği gibi, bitkisel yağların

motorlarda kullanılmasıyla birlikte birçok motor problemi meydana gelmiştir. Bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılmasıyla birlikte nasıl bir etki meydana getirdiği maddeler halinde sıralanacak olursa:

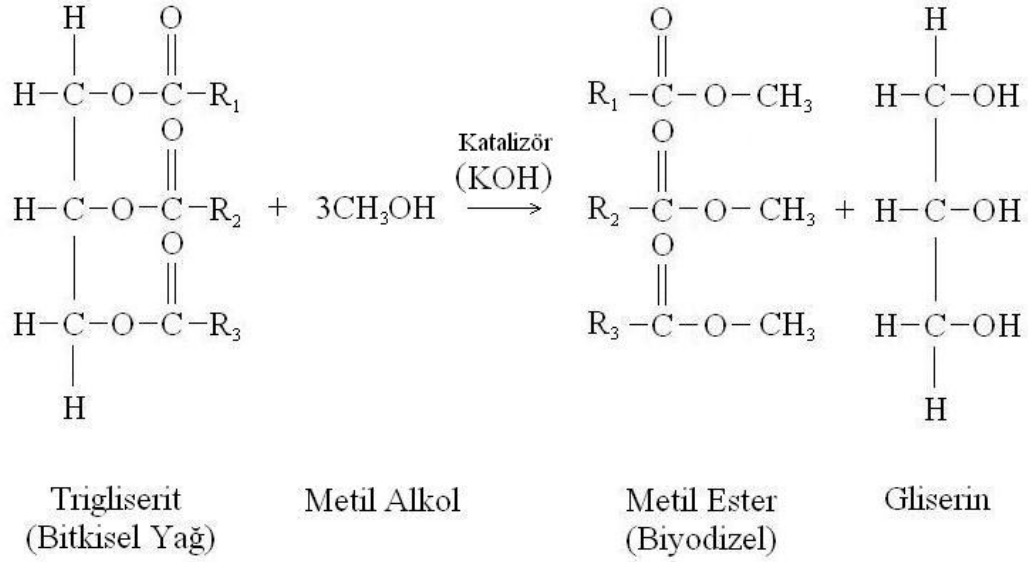
- Duman yoğunluğu artmıştır.
- Enjektörlerde karbon birikintileri meydana gelmiştir.
- Piston sekmanlarında yapışmalar ve karbon birikintileri meydana gelmiştir.
- Bitkisel yağların viskozitesi yüksektir. Bu yüzden, özellikle düşük sıcaklıklarda kullanımı daha zordur. Viskozitenin yüksek olması zayıf 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 sarfiyatı artmıştır.
- Motor momentinde bir miktar düşme görülmüştür.

Bu olumsuz sebeplerin yanında, yanma sonu eksoz emisyonlarında bir miktar iyileşme görülmüştür. Ancak meydana gelen problemler nedeniyle, bitkisel yağların dizel motorlarında sürekli kullanımının mümkün olmadığı gözükmemektedir. Bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılamamasının en büyük nedenlerinden biri viskozitelerinin yüksek olmasıdır. Yüksek viskozite, enjeksiyonu zorlaştırmakta ve kötü atomizasyona sebep olarak, hava ile yakıtın homojen bir şekilde karışmasına engel olmaktadır. Bu nedenle tam yanma gerçekleşmeyecek ve kurum oluşmasına neden olacaktır. Bunun yanında yağların, dizel yakıtına nazaran kötü uçuculukları ve soğuk akış özellikleri motor problemleri meydana getirmektedir. Bu nedenlerle birlikte, yağların dizel motorlarında sürekli olarak kullanılabilmesi için yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi gerekir.

3.4. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi

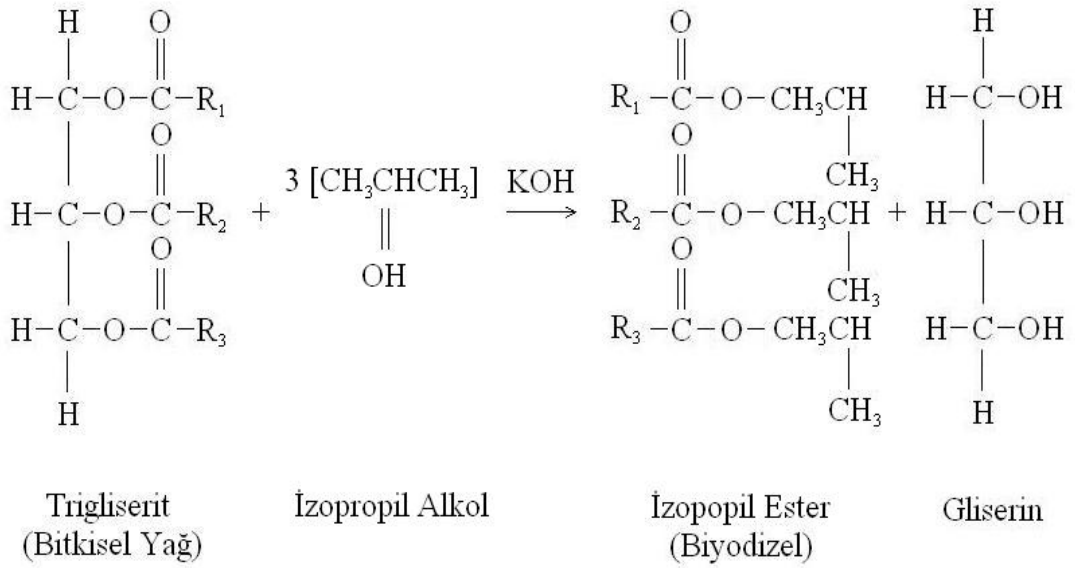
Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar, öncelikle yağların viskozitelerini azaltmaya yöneliktir. Bitkisel yağların

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 yakıtınkine daha da yaklaşmış olur [42].



Şekil 3.4: 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. Ancak farklı alkollerin kullanılmasıyla reaksiyon şartları değişmekte ve biyodizel üretimi zorlaşmaktadır. Fakat motor performansında etkin bir farklılık görülmemiştir [50]. Transesterifikasyon reaksiyonunda reaksiyonun tamlığını ve hızını arttırmak için katalizör kullanılır. En yaygın olarak kullanılan katalizörler potasyum hidroksit (KOH) ve sodyum hidroksittir (NaOH). Bunun yanı sıra, asit katalizör de kullanmak mümkündür. Ancak asit katalizörler alkali katalizörlere göre transesterifikasyon reaksiyonunda daha yavaştır ve transesterifikasyon reaksiyonu için daha fazla alkol gerektirir. Asit katalizörlü bir transesterifikasyon reaksiyonu oda sıcaklığında gerçekleştirilirken, reaksiyon çok yavaş ve ester dönüşümü düşük olarak elde edilmiştir [51]. Transesterifikasyona diğer bir örnek olarak Şekil 3.5’de izopropil alkol ve potasyum hidroksit kullanılan bir reaksiyon gösterilmektedir.



Şekil 3.5: Transesterifikasyon Yönteminde İzopropil Alkol ve Potasyum Hidroksit Kullanım Reaksiyonu

3.5. Hammadde Olarak Atık Bitkisel Yağlar

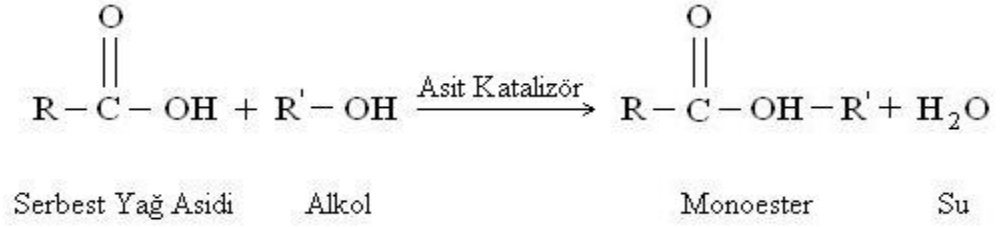
Bitkisel yağlar dizel motorlarında kullanılamayacak kadar pahalıdır. Daha çok acil ihtiyaç duyulan durumlarda, petrolün bulunamadığı yada yeterli olmadığı zamanlarda kullanılmaktadır. Bu durumda atık yağların kullanılması maliyet bakımından daha avantajlı olacaktır. Diğer bir yandan, atık yağlar çevreye atıldığında ciddi çevre problemlerine neden olmaktadır. Lokantalar, hazır yemek sanayi, restoranlar, oteller, aş evleri, balık kızartma yerleri ve hastanelerin mutfaklarından çıkan bitkisel yağlar lavaboya dökülmemelidir yada çevreye atılmamalıdır. Kullanılmış yağlar lavaboya döküldüğü zaman, dren sistemine sıvanır, kanalizasyon borusu içindeki atıkların yapışmasına ve zamanla borunun daralmasına neden olur. Kanalizasyona dökülen atık yağlar mıknaş gibi diğer atıkları tutarlar. Kanalizasyon sistemi zamanla kullanılmaz hale gelir [5]. Bu yüzden atık yağların kullanılması maliyeti düşürmekle kalmaz, bunun yanında çevreye olan olumsuz etkisi de azalmış olur. Fakat bitkisel yağların kullanım anında fiziksel ve kimyasal özellikleri değişebilmektedir. Bu yüzden atık bitkisel yağların, kullanılmamış bitkisel yağlara göre özellikleri farklıdır.

Örneğin kızartma anında, yağın sıcaklığının yükselmesiyle birlikte hidroliz, polimerizasyon, oksidasyon ve füzyon gibi birçok kimyasal reaksiyon meydana gelir.

Bu reaksiyonlar sonucu yağın özellikleri değişir. Kızartma yağlarının kullanım anında ısıya maruz kalması, içine su karışımı, trigliseritlerin hidroliz hızını, serbest yağ asidi miktarını ve viskoziteyi değiştirecektir. Yoğunluk, viskozite, sabunlaşma değeri ve serbest yağ asidi miktarı artar. Fakat iyodin değeri düşer. Viskozitenin artması kızartma sırasındaki polimerizasyondan kaynaklanır. Ayrıca polimerizasyon, yüksek molekül ağırlığına sahip bileşiklerin oluşmasına neden olur [52-54]. Bunun yanı sıra iç yağı ve hayvansal yağların doymuşluk oranı çok yüksektir. Bu nedenle, iç yağ ve hayvansal yağların soğuk havalarda kullanılmamış bitkisel yağlara göre soğuk akış özellikleri daha kötü olacaktır. Ayrıca atık yağların asit değerleri çok yüksek olabilir. Asit değerinin yüksek olması yakıt hattındaki elemanları olumsuz etkileyecektir.

Bitkisel yağların asit değerleri genellikle 1'in altındadır. Eğer yağın asit değeri 1 (mg KOH/g) ise, serbest yağ asidi miktarı yaklaşık olarak %0,5'tir. Atık bitkisel yağların kullanım anında özelliklerinin değişmesiyle birlikte serbest yağ asidi miktarı yükselebilir. Yüksek serbest yağ asidi içeren bir yağ alkali katalizörlerle reaksiyona sokulduğunda sabun oluşumu meydana gelmektedir. Serbest yağ asitleri ester dönüşümünü azaltırken, reaksiyon esnasında oluşan sabun, reaksiyon sonunda ester, gliserin ve yıkama suyunun ayrışmasına engel olur [28]. Bu yüzden serbest yağ asidi miktarı yüksek olan yağlar doğrudan alkali katalizör ile reaksiyona sokulmaz. Dolayısıyla, atık bitkisel yağlar ile transesterifikasyon reaksiyonuna geçilmeden önce yapılacak işlem, yağın serbest yağ asidi miktarını belirlemek olacaktır. Serbest yağ asidi miktarı %0,5'in üzerinde ise, alkali katalizörler yerine asit katalizörler kullanılmalıdır. Böylelikle serbest yağ asitleri monoesterlere dönüştürülür. Ön iyileştirme olarak adlandırılan bu adımla birlikte, yağın serbest yağ asidi miktarı düşürülmüş olur. Ön iyileştirme reaksiyonu için, alkol ve katalizör miktarı yağın içerdiği serbest yağ asidi miktarına göre belirlenir. Yağın serbest yağ asidi miktarı istenilen değere düşürüldükten sonra transesterifikasyon reaksiyonuna geçilir. Fakat transesterifikasyon reaksiyonunda alkol ve katalizör miktarı reaksiyona girmemiş trigliserit miktarı göz önüne alınarak belirlenir. Asit katalizörler baz katalizörlere göre çok daha yavaştır, fakat serbest yağ asitlerini estere dönüştürmek için yeterince hızlı sayılabilir. Serbest yağ asidi miktarını düşürmek için asit katalizör kullanıldığında diğer bir dezavantaj reaksiyon sırasındaki su oluşumudur. Su

reaksiyonun tamliğini engelleyecektir [32]. Şekil 3.6'da asit katalizör kullanılan bir ön iyileştirme reaksiyonu görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi serbest yağ asitleri, bir asit katalizör ve alkol eşliğinde reaksiyona sokulur. Reaksiyon sonunda serbest yağ asitleri monoesterlere dönüşürken, bunun yanında su oluşur.



Şekil 3.6: Ön İyileştirme Reaksiyonu

4. BİYODİZEL

Tezin bu bölümünde biyodizel ile ilgili genel bilgiler verilmiş, petrol kökenli dizel yakıtlarıyla karşılaştırmalar yapılmış ve biyodizel standartları gösterilmiştir. Bunun yanı sıra, biyodizelin Türkiye'deki durumundan bahsedilmiştir.

4.1. Biyodizel Nedir?

Biyodizel, hayvansal veya bitkisel yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen alternatif bir dizel yakıtıdır. Kimyasal olarak ise, uzun zincirli yağ asidi mono alkil esteri olarak tanımlanabilir [55]. 'Biyo' kökü biyolojik esaslı olduğunu, 'dizel' kelimesi ise dizel yakıtı olduğunu gösterir.

Biyodizel bitkisel veya hayvansal yağların bir alkol ve katalizör ile reaksiyona sokulmasıyla üretilir. Atık bitkisel ve hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından petrol kökenli dizel yakıtlarıyla benzerlik göstermektedir. Biyodizel, dizel motorlarında saf olarak kullanıldığı gibi petrol kökenli dizel yakıtlarıyla da karıştırılarak kullanılabilir. Saf olarak biyodizel kullanıldığında B100 olarak isimlendirilirken, %20 biyodizel ve %80 dizel yakıtı içeren bir karışım B20 olarak isimlendirilir.

4.2. Biyodizelin Dizel Yakıtına Göre Avantajları ve Dezavantajları

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, dizel yakıtına göre emisyonlar, setan sayısı, parlama noktası ve yağlayıcı özelliği bakımından daha üstündür.

Biyodizelin setan sayısı petrol kökenli dizel yakıtına göre daha fazladır. Setan sayısı, dizel yakıtının enjektörden püskürtülmesi ile birlikte kendiliğinden tutuşabilirliğinin

bir göstergesidir. Biyodizel, aromatik içermeyen ve yapısında %10-12 oksijen içeren alternatif dizel yakıttır [48]. Bu özellikleri ile birlikte biyodizel, dizel yakıtına belirli oranda konularak kullanıldığında, eksoz emisyonlarından CO, HC ve partikül miktarında azalma tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, NO_x emisyonlarında ve özgül yakıt sarfiyatında artış gözlemlenmektedir [56, 57].

Biyodizelin avantajlarından biri de yağlayıcı özelliğidir. Özellikle düşük sülfürlü dizel yakıtlarında azalan yağlayıcılığı biyodizel kullanarak arttırmak mümkündür [58]. Biyodizelin yağlayıcılığını etkileyen ana bileşikler, yağ asidi metil esterleri ve monogliseritlerdir [59]. Biyodizelin yapısında çok az sülfür bulunur. Yakıtların içinde bulunan sülfür yanma sonucu havadaki nem ile birleşerek asit yağmurlarına sebep olur. Biyodizelin yapısında çok az sülfür olması, çevreci bir yakıt olduğunu göstermektedir.

Biyodizel doğada %99,6 oranında biyolojik olarak parçalanabilir. Biyodizeli oluşturan C16-C18 metil esterleri kolayca ve hızla parçalanarak bozunur. Biyodizel suya bırakıldığında 28 günde %95'i bozulurken, dizel yakıtının sadece %40'ı bozulabilmektedir. Bu özelliği ile birlikte biyodizelin bozunabilme özelliği şekere benzemektedir [60].

Biyodizel üretilirken yan ürün olarak gliserin elde edilir. Kozmetik ve ilaç sanayi gibi birçok alanda kullanılan gliserin, içinde bulunan su ve alkol uzaklaştırılarak saflaştırılır.

Biyodizelin soğuk akış özellikleri dizel yakıtlarına oranla daha kötüdür ve soğuk havalarda ilk çalıştırma esnasında sorunlara neden olabilir. Bununla ötesinde, yüksek miktarda doymuş yağ asidi içeren biyodizeller, kış aylarında yakıt filtresinin ve yakıt hattı borularının tıkanmasına sebep olabilir [61]. Biyodizelin diğer bir dezavantajı da oksitlenmeye karşı olan eğilimidir. Havayla temas eden biyodizel, özellikle yüksek sıcaklıklarda hızla oksitlenmeye başlar. Bununla birlikte biyodizelin parlama noktası daha yüksektir. Bu yanmaya doğrudan etki etmemesine rağmen, biyodizeli depolanması ve taşınabilirliği açısından daha güvenli hale getirmektedir [39, 62, 63].

4.3. Biyodizel ve Dizel Yakıt Standartları

1980'li yıllarda Avrupa'da küçük tesislerde biyodizel üretimine başlanmıştır ve günümüzde biyodizel üretimi hızla yaygınlaşmaktadır. Amerika biyodizel üretiminde en çok soya yağını tercih ederken, Avrupa hammadde olarak kanolayı tercih etmektedir. Biyodizel üretiminde farklı yağ, alkol ve katalizör kullanılabilir. Ancak üretilen biyodizellerin dizel motorlarında sorunsuz bir şekilde ve uzun bir zaman periyodunda kullanılması için belirli standartları sağlaması gerekir. Bu standartlar Amerika'da ASTM D-6751 ve Avrupa'da EN-14214 olarak belirlenmiştir. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de Avrupa ve Amerika biyodizel standartları görülmektedir.

Tablo 4.1: Amerika Biyodizel Standartları ASTM D6751 [64]

Özellik	Test Metodu	Limit	Birim
Parlama Noktası	D93	min. 130	°C
Su ve Tortu Miktarı	D2709	mak. 0,050	% Hacimsel
Kinematik Viskozite (40 °C)	D445	1,9 – 6,0	mm ² / s
Sülfat Külü	D874	mak. 0,02	% Kütlesel
Bakır Şerit Korozyon	D130	mak. No 3	-
Setan Sayısı	D613	min. 47	-
Karbon Kalıntısı	D4530	mak. 0,050	% Kütlesel
Asit Miktarı	D664	mak. 0,80	mg KOH/g
Serbest Gliserin	D6584	mak. 0,020	% Kütlesel
Toplam Gliserin	D6584	mak. 0,24	% Kütlesel
Fosfor İçeriği	D4951	mak. 0,001	% Kütlesel
Distilasyon Sıcaklıkları (Atmosferik Basınçta, %90 Dönüşüm)	D1160	mak. 360	°C

Tablo 4.2: Avrupa Biyodizel Standartları EN14214 [65]

Özellik	Test Metodu	Limit	Birim
Ester İçeriği	EN 14103	96,5	% Kütlesel
Yoğunluk	EN ISO 3675 EN ISO 12185	0,86 - 0,90	gr/cm ³
Kinematik Viskozite (40 °C)	EN ISO 310	3,5 – 5,0	mm ² /s
Parlama Noktası	ISO / CD 3679	min. 120	°C
Kükürt	NF T 60 DIN 51608	mak. 10	mg/kg
Karbon Kalıntısı (%10)	EN ISO 10370	mak. 0,3	% Kütlesel
Setan Sayısı	-	51	-
Sülfat Külü İçeriği	ISO 3987	mak. 0,02	% Kütlesel
Su İçeriği	EN ISO 12937	mak. 500	mg/kg
Toplam Kirletici	EN 12662	mak. 24	mg/kg
Bakır Şerit Korozyon (3 saat 50°C)	EN ISO 2160	1. Sınıf	-
Oksidasyon Kararlılığı (110°C)	EN 14112	6	Saat
Asit Değeri	EN 14104	mak. 0,5	mg KOH/g
İyot Sayısı	EN 14111	mak. 120	-
Linoleik Asit Metil Ester	EN 14103	mak. 12	% Kütlesel
Alkol İçeriği	EN 14110	mak. 0,2	% Kütlesel
Monogliseric İçeriği	EN 14105	mak. 0,8	% Kütlesel
Diğliseric İçeriği	EN 14105	mak. 0,2	% Kütlesel
Trigliserit İçeriği	EN 14105	mak. 0,2	% Kütlesel
Serbest Gliserin	EN 14105 EN 14106	mak. 0,02	% Kütlesel
Toplam Gliserin	EN 14105	mak. 0,25	% Kütlesel
Fosfor İçeriği	EN 14107	10	mg/kg

Tablolardan görüleceği üzere Avrupa ve Amerika standartları arasında pek fazla fark yoktur. Biyodizelin setan sayısı Amerika standartlarına göre en az 47 iken, Avrupa standartlarında 51 olarak belirlenmiştir. Amerika standartlarında distilasyon sıcaklıkları belirlenmişken Avrupa standartlarında bu göz önüne alınmamıştır. Avrupa standartlarında alkol içeriği mevcutken, Amerika standartlarında alkol içeriği yoktur.

Standartlara uygun biyodizel dizel motorlarında modifikasyona gerek kalmadan kullanılabilir. Biyodizelin içerdiği alkol miktarı biyodizelin parlama noktasına etki eden bir faktördür. Biyodizelin içinde kalan artık alkol parlama noktasını düşüreceği gibi, yakıt pompası, conta ve elastomerleri olumsuz yönde etkileyecek, zayıf yanma karakteristiklerine sebep olacaktır. Yine biyodizelin içinde yüksek miktarda sülfat külü bulunması halinde enjektörlerde tortu ve filtre tıkanmaları meydana gelecektir. Diğer bir standart olan asit değerinin yüksek olması durumunda yakıt pompası ve filtrelerin ömrü azalacaktır [66].

Avrupa ve Amerika standartlarının yanı sıra, bir çok ülke kendi biyodizel standartlarını oluşturmaktadır. Örneğin üretilen biyodizelin soğuk akış özellikleri çevre şartlarına göre değişmekte ve ülkeden ülkeye farklılık gösterebilmektedir.

Biyodizel, dizel yakıtı ile karışım oluşturularak kullanıldığı için dizel yakıtı standartlarını hatırlatmak faydalı olacaktır. Tablo 4.3 ve 4.4’de Avrupa ve Amerika dizel yakıtı standartları görülmektedir. Bu standartlarla birlikte biyodizelin dizel yakıtına benzer özellikler taşıdığı bir kez daha göz önüne gelmektedir.

Tablo 4.3: Avrupa Dizel Yakıtı Standartları (EN 590)

Özellik	Test Metodu	Limit	Birim
Parlama Noktası	ISO 22719	min. 55	°C
Viskozite (40 °C)	ISO 3104	2 - 4,5	mm ² /s
Yoğunluk (15°C)	ASTM D 4052	0,82 – 0,86	g/cm ³
Karbon Kalıntısı (%10)	ISO 10370	mak. 0,30	% Kütlesel
Kül İçeriği	EN 26245	mak. 0,01	% Kütlesel

Tablo 4.3: (Devam) Avrupa Dizel Yakıtı Standartları

Su İçeriği	ASTM D 1744	mak. 200	mg/kg
Partikül Madde	DIN 51419	mak. 24	mg/kg
Bakır Korozyonu (50 °C'de 3 saat)	ISO 2160	mak. No 1	-
Kükürt İçeriği	EN 24260 ISO 8754	mak. 0,20	% Kütlesel
Oksitlenme Kararlılığı	ASTM D 2274	mak. 25	g/m ³
Setan Sayısı	ISO 5165	min. 49	-

Tablo 4.4: Amerika Dizel Yakıtı Standartları (ASTM D 975)

Özellik	Test Metodu	Limit	Birim
Parlama Noktası	ASTM D 93	min. 52	°C
Su ve Tortu	ASTM D 2709 ASTM D 1796	mak. 0,05	% Hacimsel
Viskozite (40°C)	ASTM D 445	1,3 – 4,1	mm ² /s
Yoğunluk (15°C)	ASTM D 1298	0,82 – 0,86	g/cm ³
Kül İçeriği	ASTM D 482	mak. 0,01	% Kütlesel
Kükürt Miktarı	ASTM D 2622	mak. 0,05	% Kütlesel
Bakır Korozyonu (50 °C'de 3 saat)	ASTM D 130	mak. No 3	-
Setan Sayısı	ASTM D 613	min. 40	-
Aromatiklik	ASTM D1319	35	% Hacimsel
Karbon Kalıntısı (%10)	ASTM D 524	mak. 0,35	% Kütlesel
Setan İndeksi	ASTM D976	46	-
Oksidasyon Kararlılığı	ASTM D 2274	25	g/m ³

4.4. Biyodizel Maliyeti ve Biyodizel Tesisleri

Biyodizelin birçok avantajı olmasına rağmen en büyük dezavantajlarından biri maliyetidir. Hammaddesinin bitkisel yağlar olması nedeniyle biyodizel vergiler eklendiğinde dizel yakıtına nazaran daha pahalıdır. Ancak atık yağlar kullanılarak biyodizel maliyeti azaltılabilir. Bu yüzden maliyeti düşürmek için atık yağlara daha çok önem verilmeli ve atık yağ potansiyeli belirlenmelidir.

Ülkemizde de biyodizel üretimi hızla yaygınlaşmaktadır. Ufak çaplı ve büyük çaplı olmak üzere birçok biyodizel üretim tesisi kurulmaktadır. Bunlar üretim miktarlarına göre ve teknik açıdan farklılık gösterebilmektedir. Bu yüzden tesislerin fiyat farklılıkları da söz konusudur. Örneğin günlük 500 litre üretim kapasitesine sahip biyodizel üretim tesisi KDV hariç 11 bin euro civarındayken, 5000 litre kapasiteli bir biyodizel tesisi 70 bin euro civarındadır. Atık bitkisel yağlardan üretildiği takdirde maliyetin ortalama 50 yeni kuruş olduğu söylenmektedir [67].

Ülkemizde kurulan birçok tesis, biyodizel üretiminde standartları yakalayamamaktadır. Yeterli saflıkta alkol kullanılmaması, yıkama esnasındaki sorunlar, kullanılan katalizörlerin kalitesi gibi alt yapı eksiklikleri üretilen biyodizelin kalitesini etkilemektedir. Ayrıca tesis maliyetini düşürmek için, tesis için kullanılan malzemenin biyodizel için uygun olmaması da üretilen biyodizelin kalitesini azaltmaktadır.

Biyodizel üretiminde en önemli noktalardan biri elde edilen biyodizelin saflık derecesidir. Üretilen biyodizelin serbest gliserin miktarı kütleli olarak %0,02'yi geçmemelidir. Günümüzde biyodizel üretim teknolojisi sürekli gelişmektedir. 1990 yılında Dr. Conneman tarafından geliştirilen prosesle birlikte santrifüj ayırma fikri ortaya çıkmıştır. Bu prosesle birlikte, reaksiyon ve yıkama işlemi aşamalarında seperatör kullanılır. Reaksiyon sırasında seperatör kullanımı dönüşümün iyi olmasını ve serbest gliserin miktarının düşük olmasını sağlar [68].

4.5. Türkiye’de Biyodizel

Avrupa Birliğinin 2003/30/EC Direktifi 2005 sonunda piyasaya arz edilen fosil yakıtların yerine %2 oranında biyoyakıt konulması zorunluluğunu getirmesiyle Türkiye’nin biyodizel ihtiyacı gündeme gelmiştir. Diğer ÷lkelerde olduğu gibi, Türkiye de biyodizel üretimine gereken önemi vermektedir. Türkiye’de yıllık biyodizel üretimi Kasım 2005 itibariyle, Gebze, Adana, İzmir, Bursa, Polatlı, şanlıurfa, Tarsus, Kırıkkale, Ankara bölgelerinde 50 bin tonu aşmış ve üretici sayısı 87’ye ulaşmıştır. Yeni tesislerle birlikte ve Enerji Verimliliği Kanunu’nun yürürlüğe girmesiyle, yıllık üretim miktarının 200 bin tonun üzerine çıkabileceği tahmin edilmektedir [5].

Biyodizelle ilgili Türkiye’de en çok yaşanan sorunlardan biri kaçak yakıtlardır. Yapılan açıklamalara göre, biyodizelin yasadışı yollardan akaryakıt piyasasına satıldığını belirlenmiştir. Yasadışı satışla birlikte alınamayan Özel Tüketim Vergisi (ÖTV) yüzünden, Türkiye yılda yaklaşık 400 milyon YTL vergi kaybına uğramaktadır. Ayrıca kaçak biyodizel ile birlikte motorin satışlarında da 2005 yılının son aylarında düşüş gözlemlenmiştir [69]. Motorin satışlarını azaltan diğer bir etken de, Türkiye’ye giren kaçak motorindir. Kaçak motorinin yıllık 2,5 milyon tonu geçtiği belirtilmektedir [70].

Her geçen yıl biyodizel üretiminin arttırılması hedeflenmektedir. ÷lkemizde biyodizel üretimi için herhangi bir engel yoktur. Fakat satılması için, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu 05.01.2006 tarih ve 630/26 sayılı kararı ile biyodizel üreticilerine “işleme lisansı” alma zorunluluğu getirmiştir [71]. Bunun en büyük nedenleri arasında Türkiye’de üretilen biyodizellerin standartlara uymaması gösterilmiştir. Çünkü standartlara uymayan yakıt motor parçalarına, yakıt pompasına v.b parçalara zarar verecektir. Lisans koşulu ile birlikte, biyodizel üreticisi üretmiş olduğu yakıtı satamayacak, sadece lisans sahibi firmalara teslim edeceklerdir. Biyodizel dizel yakıtına kıyasla pahalı olmasına rağmen, vergiden muaf tutulduğu takdirde daha ucuz olacaktır. Ancak TBMM’de kabul edilen kanun ile biyodizele litre başında 0,6498 YTL Özel Tüketim Vergisi (ÖTV) getirilmesi biyodizelin maliyetini arttıracaktır. Biyodizel için diğer ÷lkelerde vergi uygulanmamaktadır. Ancak

Türkiye’de vergi uygulanması, biyodizel üretimini olumsuz etkileyecektir. Kanundaki önemli bir husus da, ÖTV getirilirken yerli hammadde veya atık yağ için ayırım yapılmamış olmasıdır [72].

Dünyada, biyodizel üretimi 2004 yılında 2,2 milyar litre olarak tespit edilmiştir. 2000 yılından bu yana biyodizel üretimi tüm dünyada yaklaşık %30’luk bir artış göstermiştir [73]. Avrupa birliği ülkelerinde, başta Almanya, Fransa, İtalya, Çek Cumhuriyeti olmak üzere 2005 yılı sonundaki üretim miktarı 2004 yılına göre %65 artarak 3.184 bin ton olarak gerçekleşmiştir [74].

5. MATERYAL ve YÖNTEM

Ölçümlerde kullanılan biyodizeller, atık ve bitkisel yağlardan laboratuvar şartlarında üretilmiştir. Bitkisel yağ olarak ayçiçek, soya, kanola, mısırözü, pamuk yağı ve atık yağ olarak palmiye atık yağı, alkol olarak metanol ve katalizör olarak da potasyum hidroksit kullanılmıştır. Tüm yağlar için aynı reaksiyon şartları göz önüne alınarak biyodizel üretimi yapılmıştır. Petrol kökenli dizel yakıtları çeşitli firmalardan temin edilmiştir. Biyodizel, dizel ve karışımların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili ölçümler Kocaeli Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü Yakıt Laboratuvarında yapılmıştır.

5.1. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Bitkisel Yağlar

Biyodizel üretimi ülkemizde ve dünyada hızla artmakta ve her geçen gün daha önemli bir hale gelmektedir. Bununla birlikte kullanılan hammaddeler elde edilen biyodizelin kalitesinde önemli bir etkidir. Avrupa’da biyodizel hammaddesi olarak kanola kullanılırken, Amerika’da soya yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye’de ise ayçiçek yağı, üretilen yağların başında gelmektedir.

Biyodizel üretiminde altı farklı yağ kullanılmıştır. Bitkisel yağ olarak ayçiçek, kanola, mısırözü, pamuk, soya yağı ve atık yağ olarak palmiye atık yağı kullanılmıştır. Kullanılan yağların bazı özellikleri Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Kullanılan yağların bazı özellikleri incelendiğinde, bitkisel yağlar arasında fazla bir fark olmadığı görülmektedir. Ancak kullanılan palmiye atık yağının viskozitesi diğer yağlara oranla daha yüksektir. Ayrıca oda sıcaklığında katı halde olması yüksek miktarda doymuş yağ asidi içerdiğini göstermektedir. Bu özellik büyük olasılıkla üretilen biyodizelin soğuk akış özelliklerinin kötü olmasına neden olacaktır.

Tablo 5.1: Kullanılan Bitkisel Yağların Bazı Özellikleri

Yağ	Viskozite 40°C (mm ² /s)	Yoğunluk 15°C (g/cm ³)	Toplam Gliserin (% kütleli)	Asit Değeri (mg KOH/g)
Atık Palmiye Yağı	40,35	0,9040*	10,47	0,56
Ayçiçek	32,61	0,9227	9,78	0,16
Soya	31,56	0,9225	10,08	0,19
Kanola	35,74	0,9190	10,74	0,19
Pamuk	34,05	0,9216	10,91	0,10
Mısırözü	33,46	0,9214	10,68	0,23

*Oda sıcaklığında katı halde olduğu için 40 °C’de ölçüm yapılmıştır.

5.2. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Cihazlar ve Laboratuvar Aletleri

- Manyetik karıştırıcılar

Biyodizel üretiminde yağ, alkol ve katalizörün karıştırılması için Şekil 5.1’de görülen iki adet IKA ve Yellow Line marka manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Bu cihazların özellikleri Tablo 5.2’de gösterilmektedir. Bu cihazlarda sıcaklık bir termokupl sayesinde kontrol edilmektedir. İstenilen sıcaklık termokuplun dijital göstergesinden ayarlanmaktadır. Daha sonra manyetik karıştırıcının sıcaklığı ayarlanarak, sıcaklığın istenen değerde sabit kalması sağlanmaktadır.

Tablo 5.2: Manyetik Karıştırıcıların Teknik Özellikleri

Marka / Model	IKA - RCT Basic	Yellow Line – MST Basic
Termokupl	ETS D4	TC 1
Sıcaklık Aralığı (°C)	-10 / 400	-10 / 400
Hassasiyet (°C)	1	1
Maksimum Devir Sayısı (d/d)	1100	1250

- Viskozite ölçüm cihazı

Üretilen biyodizeller, dizel yakıtları ve oluşturulan karışımların 40°C'deki viskozitelerini ölçmek için Şekil 5.2'de görülen Selecta marka viskozitemetre banyosu kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3: Viskozitemetre Banyosu Teknik Özellikleri

Marka / Model	Selecta – VB 1423
Kontrol Aralığı (°C)	25-100
Sıcaklık Hassasiyeti (°C)	0,1
Kapasite (litre)	20
Ağırlık (kg)	8
Toplam Yükseklik / Çap (mm)	470-300
Güç (W)	1000

Viskozitemetre tüpü olarak ise Şekil 5.2'de görülen Cannon-Fenske marka viskozitemetre tüpü kullanılmıştır. Bu viskozitemetre tüpleri, belirli ölçüm aralıklarında kullanılmakta olup, Tablo 5.4'de bu viskozitemetre tüplerinin çeşitleri ve ölçüm aralıkları gösterilmektedir.

Tablo 5.4: Cannon-Fenske Viskozitemetre Tüpü Çeşitleri ve Ölçüm Aralıkları [75]

Çeşit	Yaklaşık Sabit	Ölçüm Aralığı (mm ² /s)
25	0,002	0,5 – 2
50	0,004	0,8 – 4
75	0,008	1,6 – 8
100	0,015	3 – 15
150	0,035	7 – 35
200	0,1	20 – 100
300	0,25	50 – 250
350	0,5	100 – 500
400	1,2	240 – 1200
450	2,5	500 – 2500
500	8	1600 – 8000
600	20	4000 – 20000

- Yoğunluk ölçüm cihazı

Yoğunluk ölçümleri 15°C’de yapılmıştır. Yoğunluk ölçümü için, Şekil 5.3’deki Anton Paar marka yoğunluk ölçer kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5: Yoğunluk Ölçüm Cihazı Teknik Özellikleri

Marka / Model	Anton Paar - DMA 35 N
Ölçüm Aralığı (g/cm³)	0-1,999
Hassasiyet (g/cm³)	0,0001
Örnek Sıcaklığı (°C)	0-100
Ağırlık (g)	275

- Parlama noktası ölçüm cihazı

Yakıtların parlama noktasının belirlenmesi için Şekil 5.4’de gösterilen Koehler Marka parlama noktası ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Tablo 5.6’da gösterilmiştir.

Tablo 5.6: Parlama Noktası Ölçüm Cihazı Teknik Özellikleri

Marka / Model	Koehler - K16270
Voltaj (V)	220-240
Frekans (Hz)	50

- Distilasyon cihazı ve su banyosu

Yakıtların distilasyon eğrilerinin belirlenmesi ve gerekli soğutmanın yapılabilmesi için Şekil 5.5’de gösterilen Koehler Marka distilasyon cihazı ve PolyScience marka su banyosu kullanılmıştır. Bu cihazların teknik özellikleri Tablo 5.7’de gösterilmiştir.

Tablo 5.7: Distilasyon Cihazı ve Su Banyosunun Teknik Özellikleri

Marka / Model	Koehler - K45090	PolyScience – 9506
Voltaaj (V)	230	240
Frekans (Hz)	50	50
Sıcaklık Aralığı (°C)	-	-30 / 150

- Saf su üretim cihazı

Ölçümlerde kullanılmak üzere gerekli saf suyu elde etmek için Şekil 5.6'daki Nüve Marka saf su üretim cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8: Saf Su Üretim Cihazı Teknik Özellikleri

Marka / Model	Nüve - NS 104
Damıtık Su Kapasitesi (lt/saat)	4
Soğutma Suyu Kullanım Miktarı (lt/saat)	40
Çalışma Sıcaklığı (°C)	100
Şebeke Suyu Basınç Göstergesi (kg/cm²)	0-1,6
Kaynama Kazanı Hacmi (lt)	6
Ağırlık (kg)	25

- Hassas teraziler

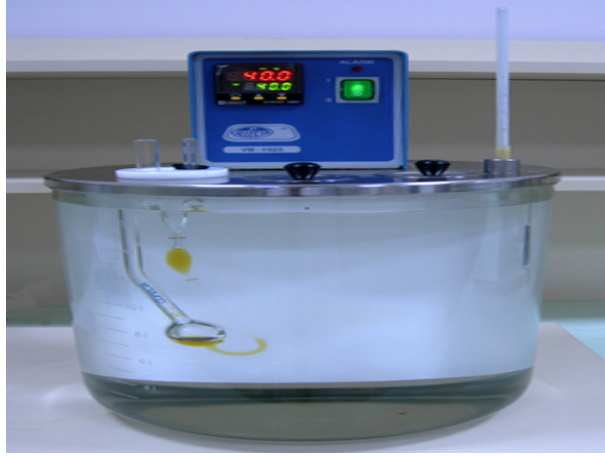
Ölçümler için gerekli kimyasalların ağırlıklarının belirlenmesi için Ohaus ve Scaltec marka iki farklı hassas terazi kullanılmıştır. Bu teraziler Şekil 5.7'de, özellikleri ise Tablo 5.9'da görülmektedir.

Tablo 5.9: Hassas Terazilerin Teknik Özellikleri

Marka / Model	Ohaus - Explorer	Scaltec – SPB61
Maksimum Ağırlık (g)	410	6100
Hassasiyet (g)	0,001	0,1



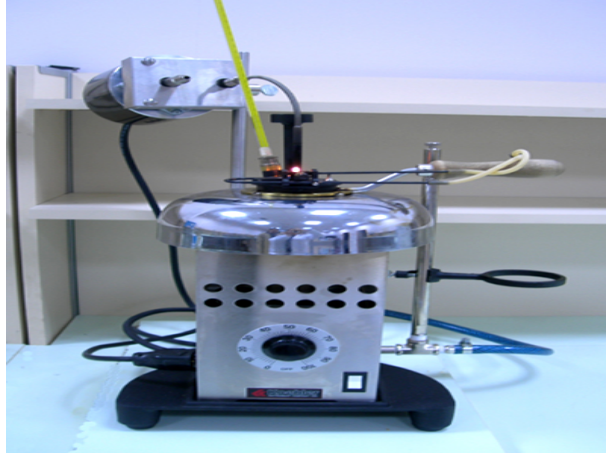
Şekil 5.1: Manyetik Karıştırıcılar



Şekil 5.2: Viskozite Ölçüm cihazı



Şekil 5.3: Yoğunluk ölçer



Şekil 5.4: Parlama Noktası Ölçüm Cihazı



Şekil 5.5: Distilasyon Cihazı ve Su Banyosu



Şekil 5.6: Saf Su Üretim Cihazı



Şekil 5.7: Hassas Teraziler

- Laboratuvar Aletleri

- * Üç boyunlu reaksiyon kabı (500 ml, 1000 ml, 2000 ml)
- * Ayırma hunisi (500 ml, 1000 ml, 2000 ml)
- * Kondenser
- * Mezür (10 ml, 25 ml, 50 ml, 100 ml, 250 ml, 500 ml, 1000 ml)
- * Erlen kap (250 ml)
- * Beher (10 ml, 50 ml, 400 ml, 600 ml)
- * Cam saklama kabı (250 ml, 300 ml, 2000 ml)
- * Plastik saklama kabı (250 ml)
- * Üç ayaklı laboratuvar standı
- * Titrasyon camı (25 ml)
- * Maske, gözlük, eldiven

5.3. Biyodizel Üretim Prosesi

Biyodizel üretiminde kullanılan yağların asit değerlerinin 1'in altında olması ile birlikte, ön iyileştirme reaksiyonuna gerek kalmadan doğrudan transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizel üretimi yapılmıştır.

Transesterifikasyon reaksiyonu için alkol-yağ molar oranı 6:1 olarak seçilmiştir. Alkol olarak metanol, katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH) kullanılmış ve miktarı yağın ağırlığının %1'i olarak seçilmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağların molekül ağırlıkları Tablo 5.10'da görülen değerlere göre belirlenmiştir.

Tablo 5.10: Bazı Yağların Yakıt Özellikleri [76]

Yağlar	Toplam Moleküler Ağırlık	Yoğunluk (15 °C)	Yoğunluk (50 °C)	Yağın Hacmi (ml – 50 °C)
Tereyağı	797,64	0,910	0,89	896,73
Palmiye	847,28	0,923	0,90	938,29
Fındık	885,02	0,919	0,90	984,45
Pamuk	867,38	0,918	0,90	963,76
Mısırözü	872,81	0,923	0,90	966,57
Zeytin	870,65	0,923	0,90	964,17
Ayçiçek	877,22	0,925	0,91	969,30
Soya	882,82	0,925	0,91	975,50
Kanola	959,04	0,914	0,89	1072,75
Keten Tohumu	872,40	0,934	0,91	954,48

Biyodizel üretiminde takip edilen yol şu şekildedir. Öncelikle yağdan 1000 gram alınmış ve yağın molekül ağırlığına bölünerek yağın mol sayısı belirlenmiştir. Alkol-yağ oranı 6:1 seçildiği için yağın mol sayısı 6 ile çarpılarak alkolün mol sayısı belirlenmiştir. Belirlenen mol sayısı ile alkolün molekül ağırlığı çarpılarak, kullanılacak alkol miktarı hesaplanmıştır. Katalizör miktarı ise, kullanılan yağın %1'i kadardır.

Ağırlık ölçümleri yapıldıktan sonra, alkol ve katalizör önce başka bir kaptaki karıştırılmıştır. Reaksiyonda belirli bir sıcaklığa ihtiyaç duyulduğu için, yağ önceden reaksiyon kabının içinde ısıtılmış ve yağın sıcaklığı istenilen değere geldikten sonra, alkol-katalizör karışımı reaksiyon kabına eklenmiştir (Şekil 5.8). Burada dikkat edilmesi gereken husus, reaksiyon başlangıcındaki manyetik karıştırıcının devir sayısıdır. Karıştırma reaksiyonun tamlığı için önemli bir parametredir. Özellikle

transesterifikasyon reaksiyonunun başlarında, reaksiyon oldukça yavaştır. Bu dezavantajı önlemek için alkol-katalizör karışımı reaksiyon kabına eklenirken, manyetik karıştırıcının devri yaklaşık 800 d/d olacak şekilde seçilmiştir. Alkol kaybının önlenmesi için, kondenser (yoğunlaştırıcı) kullanılmıştır. Reaksiyon sıcaklığı manyetik karıştırıcının termometresi ile kontrol edilmiştir. Reaksiyon süresi kullanılan yağ, alkol ve katalizöre bağlı olarak değişmektedir. Yapılan çalışmada reaksiyon süresi 4 saat ve reaksiyon sıcaklığı ortalama $60 \pm 0,4$ °C seçilmiştir.

Reaksiyon süresi sona erdiğinde, karışım reaksiyon kabından alınıp dinlendirme kabında bekletilmiştir. 5-10 dakika içinde gliserin-ester faz ayrışması oluşmuştur (Şekil 5.9). Gliserinin yoğunluğunun esterin yoğunluğundan daha yüksek olmasından dolayı, gliserin esterden çöktürme yada santrifüj yoluyla kolaylıkla ayrılabilir. Yoğunluğu fazla olan gliserin dibeye çökerken, ester üst kısımda kalmıştır. Karışım, ayrışmanın tam olabilmesi için bekletme kabında yaklaşık bir gün boyunca bekletilmiştir.



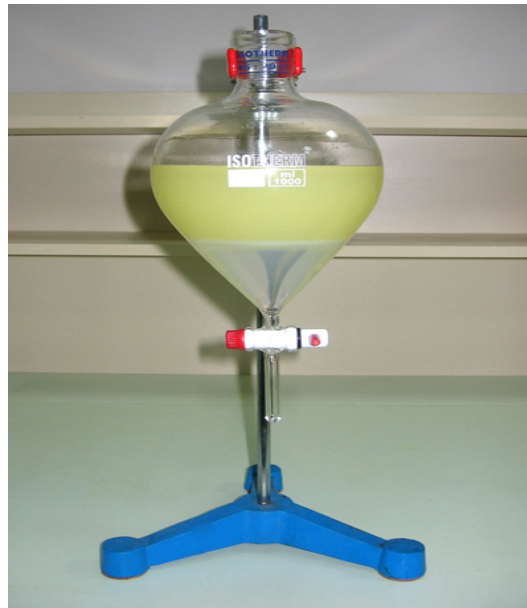
Şekil 5.8: Alkol-Katalizör Karışımının Reaksiyon Kabına Eklenmesi

Beklemeden sonra, gliserin esterden ayrıştırılmıştır. Gliserin, başta sabun olmak üzere 1500 çeşitten fazla üründe kullanılmaktadır. Geriye kalan esterin içinde, reaksiyonda kullanılan alkol ve katalizör artıkları, reaksiyon sırasında oluşan sabun artıkları bulunmaktadır. Ester bu haliyle yakıt olarak kullanılamaz durumdadır. Esteri bunlardan ayırtmak için yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Yıkama işleminde, esterin ağırlığının üçte biri kadar, 60°C sıcaklıkta saf su kullanılmıştır. Su

ilavesinden sonra hafifçe çalkalanmış ve bekletilmiştir. Yıkama işlemi dört kez yapılmıştır. Yoğunluğu daha yüksek olan su dibe çökerken, ester üst kısımda kalmıştır (Şekil 5.10). Biyodizel ve yıkama suyunun yoğunluk farkı, gliserin ve biyodizelin yoğunluk farkından daha azdır. Bu yüzden iyi sonuç elde etmek için 6 saat çökme zamanı gereklidir [68]. Dördüncü yıkamadan sonra esterin ağırlığı ölçülerek kütleli dönüşüm oranı bulunmuştur. Daha sonra üretilen esterler ölçümlerde kullanılmak üzere buzdolabında saklanmıştır.



Şekil 5.9: Gliserin-Ester Faz Ayrımı



Şekil 5.10: Su-Ester Faz Ayrımı

5.4. Karışımların Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada altı farklı yağdan biyodizel üretilmiş ve iki farklı dizel yakıtı kullanılmıştır. Bu yakıtların bazı özellikleri Tablo 5.11’de verilmiştir. Dizel yakıtları, Shell (Shell-Extra Dizel) ve Petrol Ofisi (Normal Dizel) firmalarından satın alınmıştır. Testlerde kullanılan yakıtların viskozite, yoğunluk, parlama noktası ve akma noktası ölçümleri laboratuvar şartlarında yapılmıştır.

Tablo 5.11: Testlerde Kullanılan Biyodizel ve Dizel Yakıtlarının Bazı Özellikleri

Biyodizel	Viskozite (mm ² /s)	Yoğunluk (g/cm ³)	Parlama Noktası (°C)	Akma Noktası (°C)
Atık Yağ M.E.	4,2802	0,8746	57	12
Ayçiçek M.E.	4,0303	0,8840	157	-1
Soya M.E.	3,9713	0,8845	139	0
Kanola M.E.	4,3401	0,8828	107	-8
Pamuk M.E.	4,0568	0,8836	149	6
Mısırözü M.E.	4,1769	0,8844	192	-1
S.Extra	3,4301	0,8424	58	-6
N.Dizel	2,7109	0,8368	55	< -21

5.4.1. Karışımların hazırlanması

Farklı hammaddelerden üretilen biyodizeller dizel yakıtları ile hacimsel olarak %2, %5, %10, %20, %50 ve %75 oranlarında karıştırılmıştır. Oluşturulan karışımlar ölçümlerde kullanılmak üzere buzdolabında saklanmıştır.

5.4.2. Kinematik viskozite ölçümü

Viskozite, bir akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Kinematik viskozite, önemli yakıt özelliklerinden biridir. Bitkisel yağların motorlarda sürekli kullanılmamasının en önemli nedenlerinden biri yüksek viskozitedir. Yüksek viskozite, zayıf yakıt atomizasyonuna, eksik yanmaya, yakıt enjektörlerinin

tıkanmasına, sekman karbonlaşmasına ve yakıtın motor yağı ile karışmasına sebep olmakta, düşük viskozite ise yakıt sisteminde kaçaklara ve yüksek sıcaklıklarda motorun ilk çalışması esnasında sorunlara neden olmaktadır [77]. Biodizellerin, dizel yakıtlarının ve oluşturulan karışımların kinematik viskozitelerini ölçmek için ASTM D446-89a metodu kullanılmıştır. Kinematik viskozite, belirli bir hacimdeki sıvının yerçekimi etkisi altında, kalibre edilmiş bir cam kapiler viskozitemetre tüpünden geçiş zamanı ile ölçülmüştür. Ölçülen bu zaman, kullanılan viskozitemetre tüpünün kalibrasyon sabitiyle çarpılmış ve elde edilen sonuç viskoziteyi vermiştir. Dinamik viskozite ise, sıvının yoğunluğu ile kinematik viskozitesinin çarpımıdır.

Kinematik viskozite ölçümünde ASTM standartları uygulanmıştır. Biodizel ve dizel yakıtlarının viskozitelerini ölçmek için 75 numaralı Cannon-Fenske viskozitemetre tüpü seçilmiştir. Tüp, viskozitemetre banyosunun içine dik olarak yerleştirilmiştir. Viskozitesi ölçülecek örnekten belirli miktar alınarak, viskozitemetre tüpüne doldurulmuştur. Viskozitemetre banyosunun sıcaklığı 40°C'ye ayarlanmış ve ısı denge elde edilene kadar beklenilmiştir. Daha kesin bir sonuç elde edebilmek için, örneğin sıcaklığı termometre ile kontrol edilmiştir. İstenen sıcaklık elde edildiğinde, örnek viskozitemetre tüpünün kapiler tarafından, bir boru yardımıyla üstte bulunan çizginin yukarısına gelinceye kadar vakum uygulanmıştır. Daha sonra, 0,001 saniye hassasiyetinde dijital bir kronometre ile örneğin iki çizgi arasındaki akış zamanı belirlenmiştir. Belirlenen bu zaman viskozitemetre tüpünün 0,011087 olan sabiti ile çarpılmıştır. Her ölçüm ikişer kez tekrar edilmiş ve ortalama değer alınmıştır. Yağların viskoziteleri daha yüksek olduğundan dolayı 150 numaralı viskozitemetre tüpü kullanılmıştır. Her ölçümden sonra, viskozitemetre tüpü sıcak sabunlu su ile yıkanmıştır. Daha sonra metanol, tolüen ve kloroform ile iyi bir şekilde temizlenmiştir. Bu şekilde, kapiler borudaki herhangi bir daralma engellenmiş ve yapılan ölçümlerin sonucunun yanlış olmasının önüne geçilmiştir.

5.4.3. Yoğunluk ölçümü

Yoğunluk, motor performansı açısından önemli bir özelliktir. Yakıt enjeksiyon sistemleri yakıtı hacimsel olarak ölçer. Bu yüzden yakıtın yoğunluğunun değişmesi, farklı kütlede yakıt enjekte edilmesine neden olacak ve bu da dolayısıyla motor çıkış

gücünü etkileyecektir [78]. Yoğunluk bir maddenin birim hacmine düşen kütlesi olarak tanımlanabilir. Yoğunluk ölçümleri ASTM D941–88 test metoduna göre 15°C’de yapılmıştır.

Özgül ağırlık, bir cismin yoğunluğunun, aynı sıcaklıktaki suyun yoğunluğuna oranıdır. Yoğunluk ile ilgili diğer bir kavram da, API (American Petroleum Institute) ağırlıktır. API ağırlık özgül ağırlığın bir fonksiyonudur. API ağırlık, aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\text{API ağırlık} = (141,5 / 15^{\circ}\text{C}'\text{deki yoğunluk}) - 131,5 \quad (5.1)$$

Yoğunluk ölçümü için karışımlar soğutulmuş ve sıcaklıkları 15°C’ye getirilmiştir. Karışımların sıcaklıkları termometre ile kontrol edilmiştir. İstenilen sıcaklığa gelindiğinde, yoğunluk ölçer ile ölçüm yapılmıştır. Ölçümler birkaç defa tekrarlanmış ve ortalama değer alınmıştır.

5.4.4. Akma noktası ölçümü

Akma noktası yakıtın artık pompalanamadığı sıcaklık olarak tanımlanmaktadır ve biyodizelin soğuk iklim şartlarında kullanılabilirliğini göstermektedir [48]. Çevre sıcaklığı düştüğünde, yakıt kristalleşmeye başlar ve belirli bir süre sonra filtreleri tıkar. Bu yüzden yakıtların akma noktalarının belirlenmesi gerekir. Akma noktası ölçümleri ASTM D97-02 test metoduna göre yapılmıştır. Akma noktası ölçümü için, karışım silindirik örnek camına alındıktan sonra silindirik camın üst kısmı mantar ile kapatılmıştır. Termometre mantar üzerinden geçirilerek örnek ile temas ettirilmiştir. Termometrenin yeri sıvının içinde ve silindirik camın kenarına yakın yere konumlandırılmıştır. Daha sonra silindirik cam su banyosunun havuzuna koyulmuştur. Her 3°C’de silindirik cam, havuzun içinden alınmış ve yatay pozisyona getirilmiştir. Örneğin herhangi bir hareket gösterip göstermediğine bakmak için birkaç saniye bekletilmiştir. Eğer bu süre zarfında herhangi bir hareket görüldüyse, silindirik cam hızlı bir şekilde su banyosunun havuzuna yerleştirilmiş ve herhangi bir hareket görülme-yene kadar bu işlem tekrar edilmiştir. Örneğin hareket etmediği

görüldüğünde sıcaklık not edilmiş ve bu sıcaklığa 3°C eklenip akma noktası belirlenmiştir.

5.4.5. Parlama noktası ölçümü

Parlama noktası, yakıt ısıtıldığında, yakıt üzerinde oluşan yakıt buharı ile hava karışımının tutuşabildiği en düşük sıcaklık olarak tanımlanabilir. Biyodizelin en üstün özelliklerinden biri de parlama noktasının yüksek olmasıdır. Parlama noktası genelde yakıtın depolanması ve güvenliği ile ilgilidir. Motor performansı üzerinde etkin bir değişiklik meydana getirmez. Ayrıca parlama noktasındaki değişimler yanma karakteristiklerini de pek fazla etkilemez [62].

Bu çalışmada kullanılan yakıtların parlama noktaları ASTM D93-01 test metoduna göre ölçülmüştür. Yakıttan belirli miktar alınarak test cihazının yakıt kabına konulmuştur. Yakıtın bu kabta hava ile teması yoktur. Daha sonra test ateşi yakılmış ve elektrikli ısıtıcı sayesinde yakıt ısıtmaya başlamıştır. ASTM test metoduna göre sıcaklık artışı dakikada 1°C'den az ve 1,5°C'den fazla olmamalıdır. Her 1°C'de bir test ateşi 1 saniyelikliğine yakıt üzerine tutulmuştur. Bir parlama görülmediği takdirde, test ateşi hızlı bir şekilde çekilerek yakıtın tekrar kapalı hale getirilmesi sağlanmıştır. Bu işlem bir parlama görülene kadar tekrarlanmıştır. Parlama görüldüğünde, o sıcaklık kaydedilmiştir. Parlama noktasının belirlenmesinde çevre basıncı göz önüne alınmış ve parlama noktasının düzeltilmiş hali aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır.

$$\text{Düzeltilmiş Parlama Noktası} = ^\circ\text{C} + 0,033 \times (760 - P) \quad (5.2)$$

$^\circ\text{C}$ = Gözlenen parlama noktası ($^\circ\text{C}$)

P = Çevre basıncı (mm Hg)

5.4.6. Distilasyon eğrilerinin belirlenmesi

Dizel ya da biyodizelin içindeki yüksek kaynama sıcaklığına sahip bileşikler, yanma esnasında tortu oluşmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle distilasyon eğrileri yakıtların davranışları, güvenliği, ilk çalıştırma ve yakıtın ön ısıtılması bakımından önemli bir özelliktir. Ayrıca distilasyon eğrileri yakıtın uçuculuğu hakkında bilgi

vermektedir. Uçuculuk yanabilir karışımın oluşma hızını ve dolayısıyla yanmayı etkiler. Distilasyon eğrilerinde ilk kaynama noktasının düşük olması ile birlikte dizel yakıtı istenilen zamandan daha önce tutuşacak, bu da zayıf yanma karakteristiklerine, yüksek miktarda duman ve karbon kalıntılarına sebep olacaktır [78].

Test yakıtlarının distilasyon eğrileri ASTM D86-01 test metoduna göre belirlenmiştir. Ayrıca ölçümler için 100 ml'lik distilasyon tüpleri kullanılmıştır. Distilasyon tüpünün darası alındıktan sonra, ölçüm için örnekten 100 ml alınmış ve distilasyon tüpünün içine konulmuştur. Daha sonra tüp ısıtıcın üzerine koyulmuştur. Termometre test metoduna göre uygun yere yerleştirilmiş ve ısıtma işlemi başlatılmıştır. Örneğin sıcaklığı, gereken sıcaklığa geldiğinde buharlaşmaya başlamış ve distilasyon tüpünün ince borusundan, distilasyon cihazının su banyosu ile temasta olan borunun içinde yoğunlaşmış ve çevre sıcaklığındaki mezüre akmıştır. Yoğuşan hacme göre buharlaşma sıcaklıkları kaydedilmiştir. Daha sonra artık miktarını ölçebilmek için tüpün ağırlığı ölçülmüştür. Parlama noktasında olduğu gibi distilasyon eğrilerinin belirlenmesinde çevre basıncı dikkate alınmıştır. Distilasyon sıcaklıkları atmosfer basıncına göre aşağıdaki denklemler kullanılarak düzeltilmiştir.

$$\text{Düzeltilmiş Sıcaklık} = 0,0009 (101,3 - P_{\text{gözlenen}}) \times (273 + T_{\text{gözlenen}}) \quad (5.3)$$

$$\text{Düzeltilmiş Kayıp} = 0,5 + (K_{\text{gözlenen}} - 0,5) / [1 + (101,3 - P_{\text{gözlenen}}) / 8] \quad (5.4)$$

$$\text{Düzeltilmiş Geri Kazanım} = GK_{\text{gözlenen}} + (K_{\text{gözlenen}} - \text{Düzeltilmiş Kayıp}) \quad (5.5)$$

$$P_{\text{gözlenen}} = \text{Gözlenen atmosfer basıncı (mm Hg)}$$

$$T_{\text{gözlenen}} = \text{Gözlenen buharlaşma sıcaklıkları (°C)}$$

$$K_{\text{gözlenen}} = \text{Gözlenen kayıp (ml)}$$

$$GK_{\text{gözlenen}} = \text{Gözlenen geri kazanım (ml)}$$

5.4.7. Toplam ve serbest gliserin ölçümü

Toplam ve serbest gliserin transesterifikasyon reaksiyonun tamlığını gösteren ve yakıtın ticari uygulamalar için hazır olup olmadığını belirlemek için bilinmesi gereken en önemli yakıt özellikleridir [35]. Bu değerlerin yüksek olması motoru olumsuz yönde etkileyecektir [66].

Üretilen biyodizellerin toplam-serbest gliserin miktarları A.O.C.S. Ca14-56 test metoduna göre ölçülmüştür. Bu test metoduna göre, gerekli kimyasallarla titrasyon yapılarak toplam ve serbest gliserin miktarı belirlenmiştir.

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

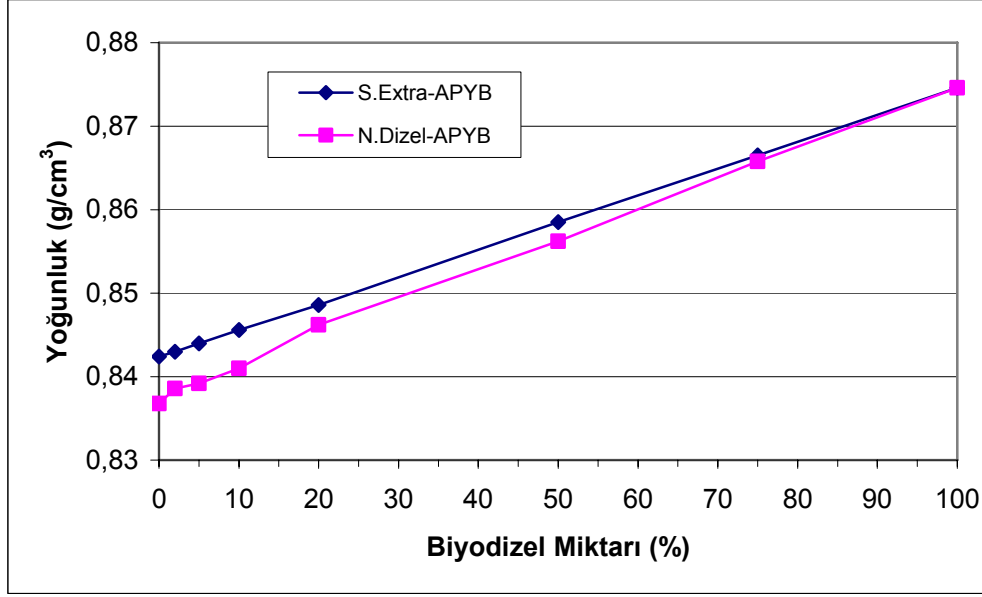
Yapılan bu çalışmada, altı farklı bitkisel yağdan üretilen biyodizeller ve iki farklı dizel yakıtı belirli hacimlerde karıştırılmış ve bazı yakıt özellikleri belirlenmiştir. Bu bölümde, yapılan testlerin sonuçları verilmiş ve elde edilen veriler grafikler halinde sunularak sonuçlar tartışılmıştır.

6.1. Yoğunluk Değişimi

Yoğunluk, motorun performans karakteristiklerine doğrudan etki eden bir göstergedir. Biyodizelin yoğunluğu 0,86 ile 0,90 g/cm³ arasında değişmektedir. Tipik olarak 0,88 g/cm³'tür. Birçok çalışmada, biyodizelin yoğunluğunun pek değişmediği görülmüştür. Bu sonucun, kullanılan metanol ve yağın yoğunluklarının, oluşan esterlerin yoğunluğuyla birbirine çok yakın olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [39, 48]. Yapılan bu çalışmada üretilen biyodizellerin yoğunluklarının bu değerler arasında olduğu belirlenmiştir. Kullanılan dizel yakıtlarının yoğunlukları ise biyodizellerin yoğunluklarından daha düşüktür. Biyodizelin yoğunluğu daha fazla olmasına rağmen, hem volümetrik hem de kütle bazda enerji içeriği daha azdır [56]. Bu olumsuz özellik motordan aynı gücü elde edebilmek için yanma odasına daha fazla yakıt gönderilmesini gerektirir. Bu da yakıt sarfiyatını arttıran önemli etkenlerden biridir.

Şekil 6.1'e bakıldığında APYB ile dizel yakıtları karışımlarının yoğunlukları görülmektedir. Biyodizeller arasında en düşük yoğunluğa APYB sahiptir. APYB'nin yoğunluğu 0,8746 g/cm³, S.Extra ve N.Dizel yakıtlarının yoğunlukları ise sırasıyla 0,8424 g/cm³ ve 0,8368 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Karışımındaki biyodizel miktarı arttıkça yoğunluk lineer bir şekilde artmıştır. Ancak düşük yüzdeli karışımlarda yoğunluk eğrisi tam lineer olmamaktadır. %50 biyodizel-dizel yakıtı karışımında, S.Extra yakıtı için yoğunluk 0,8585 g/cm³ iken, yoğunluğu S.Extra'ya göre daha düşük olan N.Dizel yakıtında 0,8562 g/cm³ olmuştur. %20 karışımlarda ise, APYB-

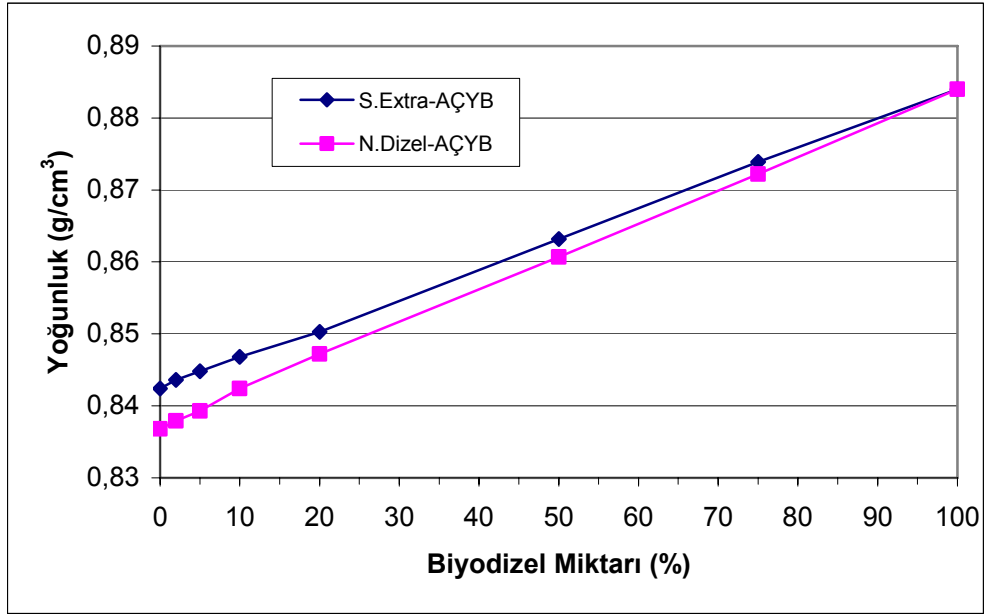
S.Extra yakıt karışımının yoğunluğu $0,8486 \text{ g/cm}^3$ iken, APYB-N.Dizel karışımının yoğunluğu $0,8462 \text{ g/cm}^3$ 'tür. %2, %5 ve %10 biyodizel içeren karışımlarda karışımın yoğunlukları dizel yakıtına çok yaklaşmıştır.



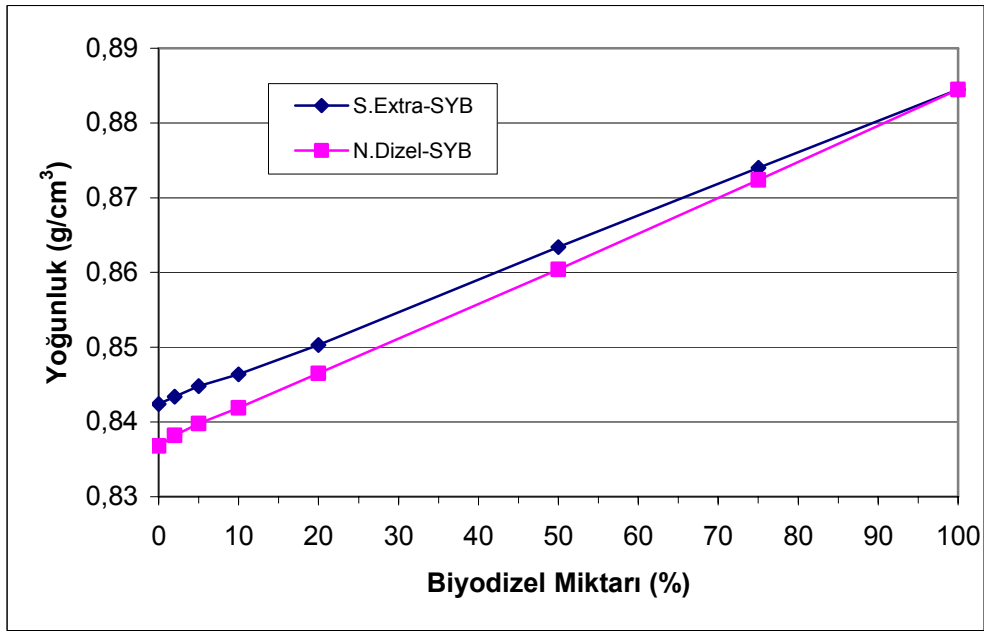
Şekil 6.1: APYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Yoğunluklarının Değişimi

Şekil 6.2'de görüldüğü gibi AÇYB ve dizel yakıt karışımlarının yoğunlukları yine lineer bir artış göstermiştir. AÇYB'nin yoğunluğu $0,8840 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. %50 biyodizel-dizel yakıtı karışımında, S.Extra yakıtı için yoğunluk AÇYB'ye göre $0,0208 \text{ g/cm}^3$ azalarak $0,8632 \text{ g/cm}^3$, N.Dizel yakıtı için $0,0233 \text{ g/cm}^3$ azalarak $0,8607 \text{ g/cm}^3$ olmuştur. %20 karışımlarda ise yoğunluk azalmaya devam etmiş ve AÇYB-S.Extra yakıt karışımının yoğunluğu $0,8503 \text{ g/cm}^3$ iken, AÇYB-N.Dizel karışımının yoğunluğu $0,8472 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçülmüştür.

SYB'nin yoğunluğu $0,8845 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçülmüştür. SYB-dizel karışımlarında biyodizel miktarı arttıkça yine yoğunluk artmıştır (Şekil 6.3). %50 SYB-dizel yakıtı karışımında, S.Extra yakıtı için yoğunluk SYB'ye göre %2,38 azalarak $0,8634 \text{ g/cm}^3$, N.Dizel yakıtı için ise %2,72 azalarak $0,8604 \text{ g/cm}^3$ olmuştur. %20 karışımlarda ise, SYB-S.Extra yakıt karışımının yoğunluğu $0,8503 \text{ g/cm}^3$ iken, SYB-N.Dizel karışımının yoğunluğu $0,8465 \text{ g/cm}^3$ 'tür. %10 ve öncesi karışımlarda karışımların yoğunlukları dizel yakıtına çok yaklaşarak aradaki fark azalmıştır. SYB için %2 karışımında, S.Extra için yoğunluk farkı $0,0010 \text{ g/cm}^3$, N.Dizel için yoğunluk farkı $0,0014 \text{ g/cm}^3$ 'tür.



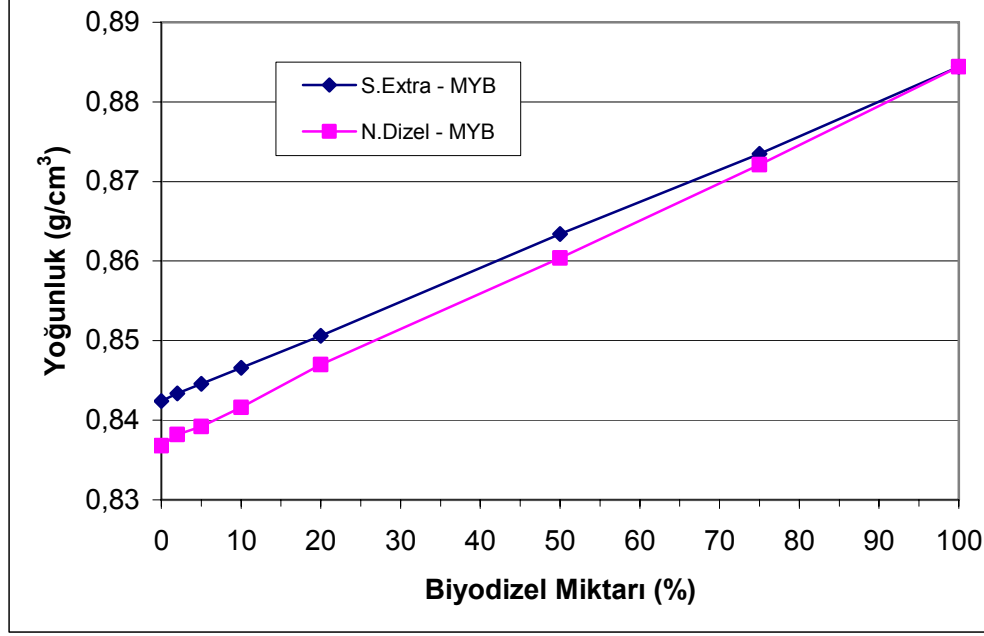
Şekil 6.2: AÇYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Yoğunluklarının Değişimi



Şekil 6.3: SYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Yoğunluklarının Değişimi

Şekil 6.4'e bakıldığında MYB ile dizel yakıtları karışımlarının yoğunlukları görülmektedir. MYB'nin yoğunluğu $0,8844 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçülmüştür. MYB-Dizel yakıt karışımlarında yine lineer bir yoğunluk değişimi gerçekleşmiştir. %50 biyodizel-dizel yakıtı karışımında, S.Extra yakıtı için yoğunluk azalarak $0,8634 \text{ g/cm}^3$, N.Dizel yakıtı için yine azalarak $0,8604 \text{ g/cm}^3$ olmuştur. %20 karışımlarda

ise, MYB- S.Extra yakıt karışımının yoğunluğu $0,8506 \text{ g/cm}^3$ iken, MYB- N.Dizel karışımının yoğunluğu $0,8470 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir.

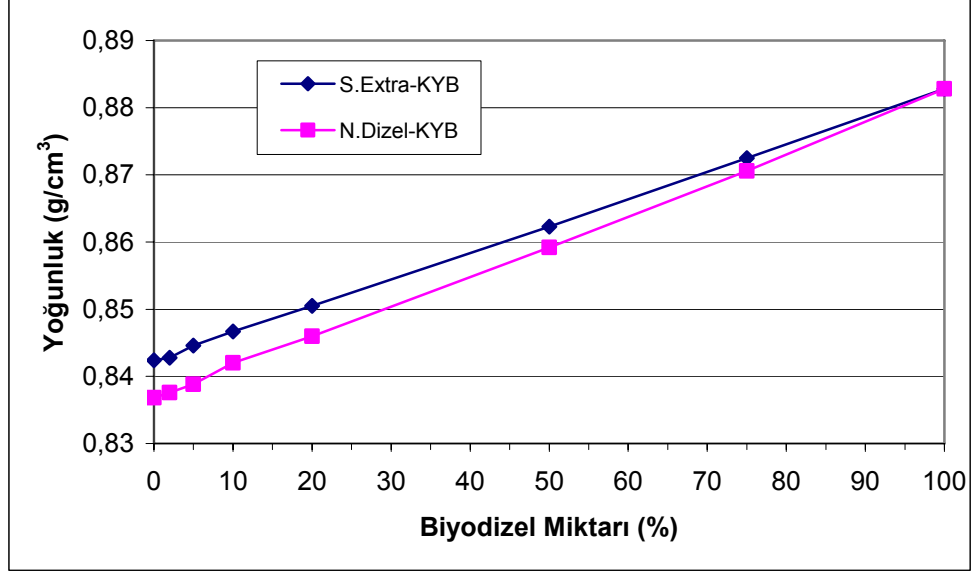


Şekil 6.4: MYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Yoğunluklarının Değişimi

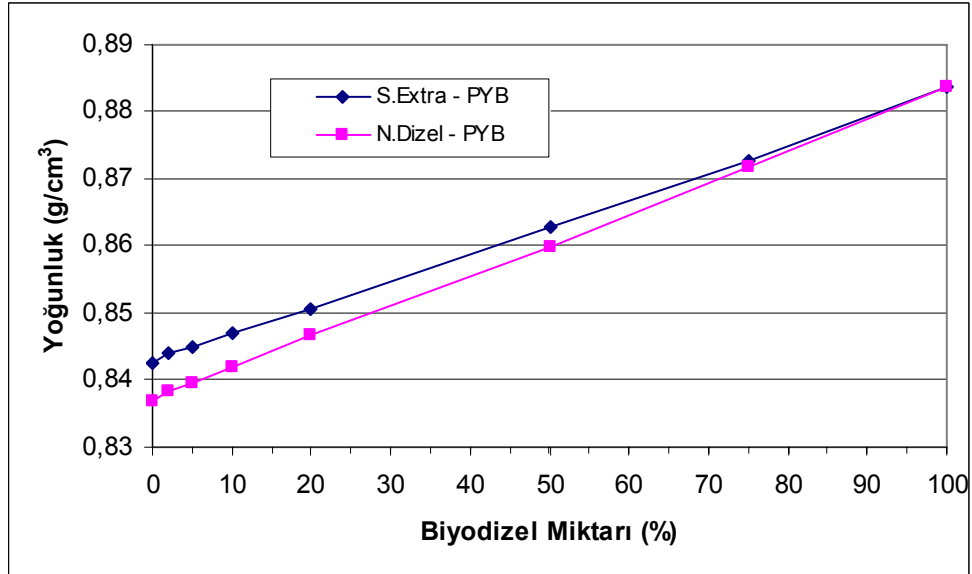
Şekil 6.5'e bakıldığında KYB ile dizel yakıtları karışımlarının yoğunlukları görülmektedir. KYB'nin yoğunluğu $0,8828 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçülmüştür. KYB'nin yoğunluğu diğer bitkisel yağlardan üretilen biyodizellere göre biraz daha düşüktür. %75 KYB-S.Extra karışımında yoğunluk $0,0103 \text{ g/cm}^3$, %50 biyodizel içeren karışımında $0,0102 \text{ g/cm}^3$ daha azalarak $0,8623 \text{ g/cm}^3$ olmuştur. KYB-N.Dizel yakıt karışımlarında da benzer bir azalma görülmüştür. %75 KYB içeren karışımında yoğunluk $0,0114 \text{ g/cm}^3$, %50 KYB içeren karışımında ise $0,0122 \text{ g/cm}^3$ azalarak $0,8592 \text{ g/cm}^3$ olmuştur. %20 karışımlarda ise, KYB-S.Extra yakıt karışımının yoğunluğu $0,8505 \text{ g/cm}^3$ iken, KYB-N.Dizel karışımının yoğunluğu $0,8460 \text{ g/cm}^3$ 'tür. %2 biyodizel içeren S.Extra karışımında yoğunluk neredeyse, S.Extra ile aynı ölçülmüştür. Aradaki fark sadece $0,0004 \text{ g/cm}^3$ 'tür.

PYB'nin yoğunluğu $0,8845 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçülmüştür. PYB-dizel karışımlarında biyodizel miktarı arttıkça yine yoğunluk artmıştır (Şekil 6.6). %50 PYB-dizel yakıt karışımında, S.Extra yakıtı için yoğunluk $0,8628 \text{ g/cm}^3$ iken, N.Dizel yakıtı için $0,8599 \text{ g/cm}^3$ olmuştur. %20 karışımlarda ise, PYB-S.Extra yakıt karışımının

yoğunluğu $0,8505 \text{ g/cm}^3$ iken, PYB-N.Dizel karışımının yoğunluğu $0,8466 \text{ g/cm}^3$ 'tür.



Şekil 6.5: KYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Yoğunluklarının Değişimi



Şekil 6.6: PYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Yoğunluklarının Değişimi

Biyodizellerin yoğunlukları yağ asidi bileşimine ve saflığına bağlı olarak değişebilmektedir. Genel olarak yakıt karışımlarının biyodizel miktarına göre yoğunluk değişimi incelendiğinde, biyodizel miktarı arttıkça yoğunluğun da arttığı görülmektedir. Gözlenen bu artış lineer bir şekilde gerçekleşmiştir. APYB yoğunluğunun diğerlerine göre daha düşük olması ile birlikte, %50 ve %75 APYB içeren karışımların yoğunluğu diğer biyodizellere göre daha düşük ölçülmüştür.

Ancak %20 ve öncesi karışımlar için APYB-dizel yakıt karışımlarının yoğunlukları diğer biyodizel-dizel yakıtı karışımları yoğunluklarına yakın değerler göstermiştir. Karışım içerisindeki biyodizel miktarı azaldıkça, karışımın yoğunluğu dizel yakıtıninkine yaklaşmıştır. Elde edilen verilerle birlikte oluşturulan eğriler yardımıyla kurulacak olan denklemlerden yoğunluk çok düşük bir hata oranıyla bulunabilmektedir. Örnek olarak, APYB-S.Extra yakıt karışımları için bir denklem kurulmuştur. Aşağıda gösterilen bu denklem ile hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki fark Tablo 6.1’de gösterilmiştir.

$$\text{Yoğunluk} = 0,0003 \times B + 0,8423 \quad (6.1)$$

B: Biyodizel Miktarı

Tablo 6.1: APYB-S.Extra Karışımlarının Yoğunluk Değişimleri

B. Miktarı (%)	%2	%5	%10	%20	%50	%75
Ölçülen Değer	0,8430	0,8440	0,8456	0,8486	0,8585	0,8665
Hesaplanan Değer	0,8429	0,8438	0,8453	0,8483	0,8573	0,8648
Fark	0,0001	0,0002	0,0003	0,0003	0,0012	0,0017

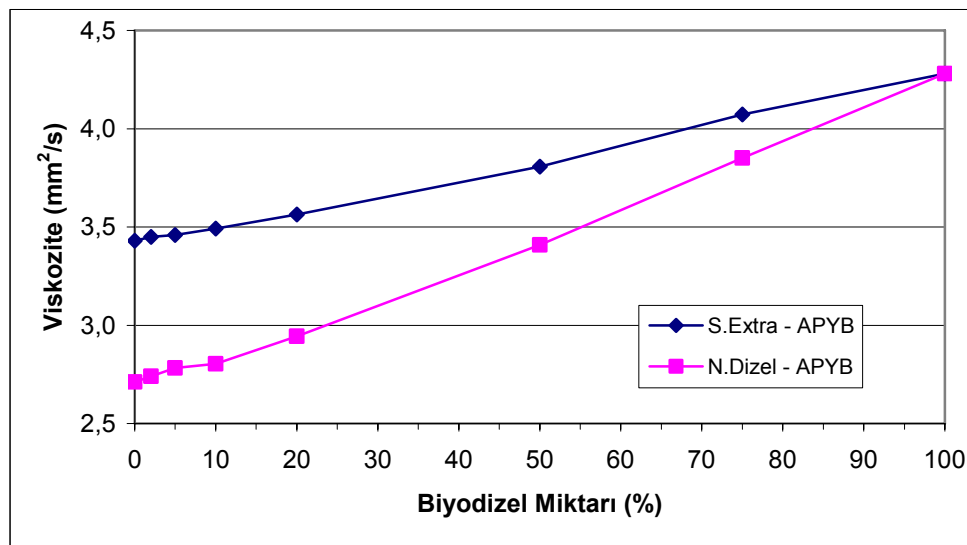
Tablo 6.1’de görüldüğü üzere, hesaplanan değerler ile ölçülen değerler arasında pek fark yoktur. Aradaki fark biyodizel miktarı azaldıkça azalmıştır. %50 ve %75 karışımlar için ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki fark biraz daha fazladır.

6.2. Kinematik Viskozite Değişimi

Dizel motorlarında yanma olayı büyük ölçüde yanma odasına püskürtülen yakıt demeti ile kontrol edilmektedir. Sıkıştırılmış hava içerisine, püskürtülen yakıtın ilerlemesi, enjektör memesi çıkışında genellikle koni biçiminde bir demet şeklinde gelişmektedir [79, 80]. Yakıt olarak kullanılan biyodizelin viskozitesi atomizasyon kalitesini ve enjektörden çıkan yakıt damlacığının çapını etkileyecektir [36]. Yüksek viskozite zayıf yakıt atomizasyonuna sebep olmakta, enjektörlerdeki birikintileri artırmakta, yakıtı pompalamak için daha fazla enerji gerektirmekte, yakıt pompası

elemanlarının ve enjektörlerin aşınmasına etki etmektedir [31]. Bu sebeplerle, yakıtın yanması ve motor performansı değişecektir. Bu nedenle belirlenmesi gereken önemli yakıt özelliklerinden birisi de viskozitedir. Biyodizelin ve dizel yakıtının viskozitesi Avrupa standartları ve Amerika standartlarına göre belirli değerler arasında sınırlandırılmıştır. Yapılan bu çalışmada üretilen biyodizellerin viskoziteleri standartlara uygun olarak belirlenmiştir. Bilindiği gibi biyodizelin viskozitesi dizel yakıtının viskozitesinden daha büyüktür. Elde edilen sonuçlara bakıldığında dizel yakıtlarının viskozitelerinin biyodizellerin viskozitesinden daha düşük olduğu görülmektedir.

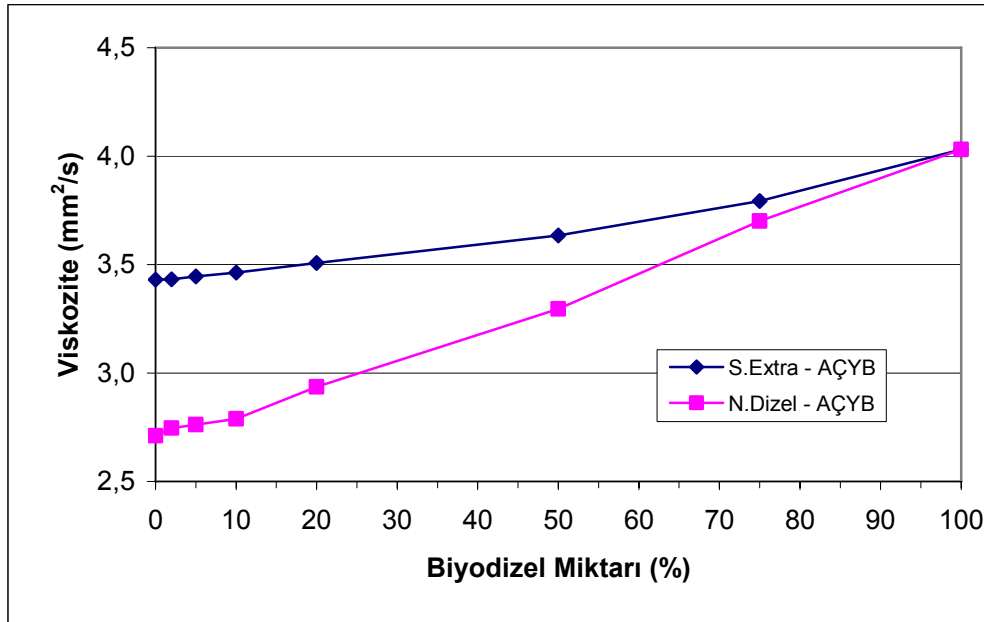
Şekil 6.7'ye bakıldığında APYB ile dizel yakıtları karışımlarının viskoziteleri görülmektedir. APYB viskozitesi $4,2802 \text{ mm}^2/\text{s}$, S.Extra ve N.Dizel yakıtlarının viskoziteleri ise sırasıyla $3,4301 \text{ mm}^2/\text{s}$ ve $2,7109 \text{ mm}^2/\text{s}$ olarak belirlenmiştir. Karışımdaki biyodizel miktarı arttıkça viskozite artmıştır. Ancak bu artış, yoğunluk değişimindeki gibi lineer olarak gerçekleşmemiştir. %50 biyodizel-dizel yakıt karışımında, S.Extra yakıtı için viskozite $3,8068 \text{ mm}^2/\text{s}$ iken, viskozitesi S.Extra'ya göre daha düşük olan N.Dizel yakıtında $3,4089 \text{ mm}^2/\text{s}$ olmuştur. %20 karışımlarda ise, APYB-S.Extra yakıt karışımının viskozitesi $3,5631 \text{ mm}^2/\text{s}$ iken, APYB-N.Dizel yakıt karışımının viskozitesi $2,9432 \text{ mm}^2/\text{s}$ 'dir. %2, %5 ve %10 biyodizel içeren karışımlarda karışımın viskoziteleri dizel yakıtına çok yaklaşmıştır.



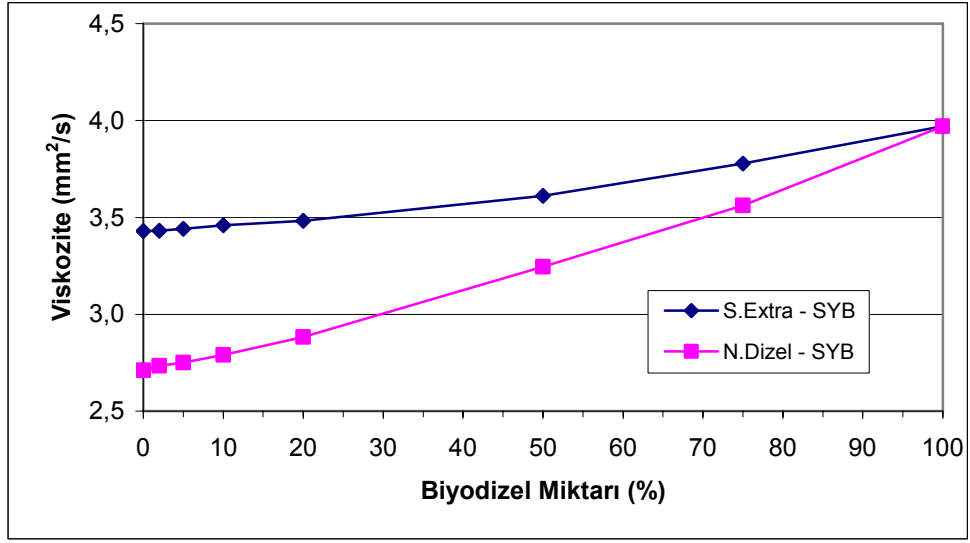
Şekil 6.7: APYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Viskozitelerinin Değişimi

Şekil 6.8’de görüldüğü gibi AÇYB ve dizel yakıt karışımlarının viskoziteleri lineer bir değişim göstermemiştir. AÇYB’nin viskozitesi 4,0303 mm²/s olarak ölçülmüştür. %75 AÇYB-S.Extra karışımında viskozite %5,89 azalarak 3,7926 mm²/s, %50 biyodizel içeren karışımında viskozite %9,82 azalarak 3,6346 mm²/s olmuştur. AÇYB-N.Dizel yakıt karışımlarında, %75 biyodizel içeren karışım için viskozite %8,19 azalarak 3,7003 mm²/s, %50 biyodizel içeren karışımlarda viskozite %18,23 azalarak 3,2957 mm²/s olmuştur. %20 karışımlarda ise, AÇYB-S.Extra yakıt karışımının viskozitesi 3,5069 mm²/s iken, AÇYB-N.Dizel yakıt karışımının viskozitesi 2,9362 mm²/s’dir.

SYB’nin viskozitesi 3,9713 mm²/s olarak ölçülmüştür. %50 biyodizel-dizel yakıtı karışımında, S.Extra yakıtı için viskozite 3,6105 mm²/s iken, viskozitesi S.Extra’ya göre daha düşük olan N.Dizel yakıtında 3,2453 mm²/s olmuştur. %20 ve öncesi karışımlarda karışımın viskozitesi dizel yakıtlarının viskozitesine yaklaşmıştır (Şekil 6.9). SYB-S.Extra için %20 biyodizel içeren karışımında karışımın viskozitesi S.Extra yakıtının viskozitesinden %1,55, SYB-N.Dizel için karışımın viskozitesi N.Dizel yakıtının viskozitesinden %6,33 daha fazladır.

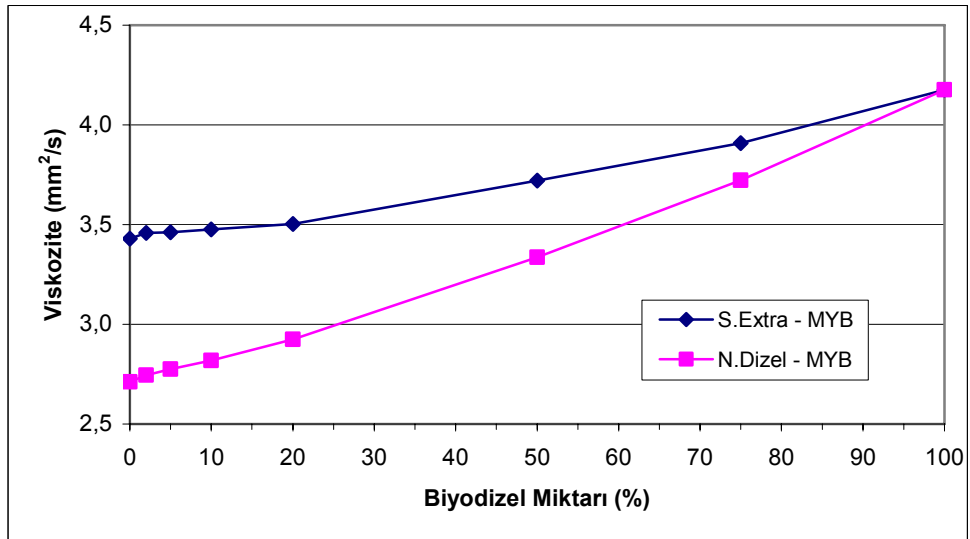


Şekil 6.8: AÇYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Viskozitelerinin Değişimi



Şekil 6.9: SYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Viskozitelerinin Değişimi

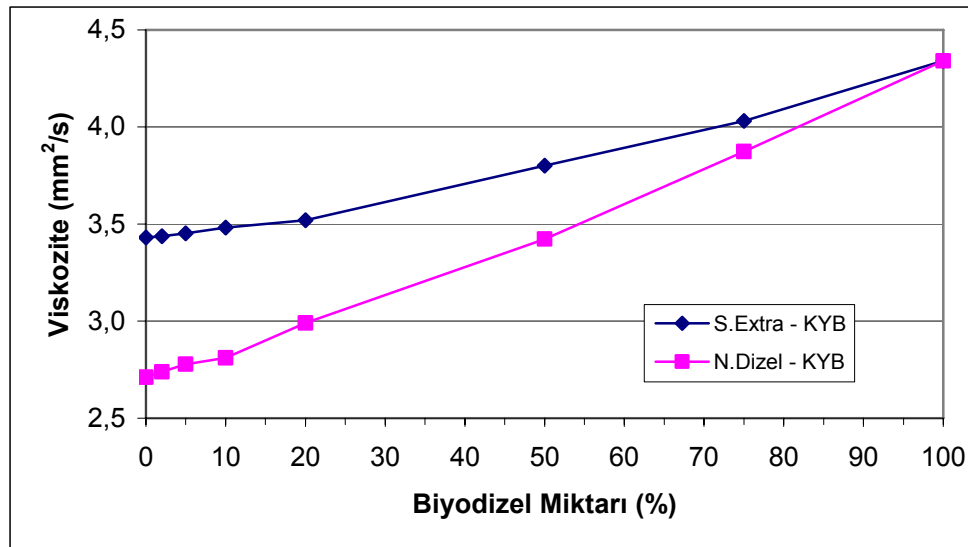
Şekil 6.10'a bakıldığında MYB ile dizel yakıtları karışımlarının viskoziteleri görülmektedir. MYB'nin viskozitesi $4,1769 \text{ mm}^2/\text{s}$ olarak ölçülmüştür. %50 biyodizel-dizel yakıtı karışımında, S.Extra yakıtı için viskozite $0,2918 \text{ mm}^2/\text{s}$ artarak $3,7219 \text{ mm}^2/\text{s}$, viskozitesi S.Extra'ya göre daha düşük olan N.Dizel yakıtında viskozite $0,6262 \text{ mm}^2/\text{s}$ artarak $3,3371 \text{ mm}^2/\text{s}$ olmuştur. %20 karışımlarda ise, MYB-S.Extra yakıt karışımının viskozitesi $3,5036 \text{ mm}^2/\text{s}$ iken, MYB-N.Dizel yakıt karışımının viskozitesi $2,9253 \text{ mm}^2/\text{s}$ 'dir.



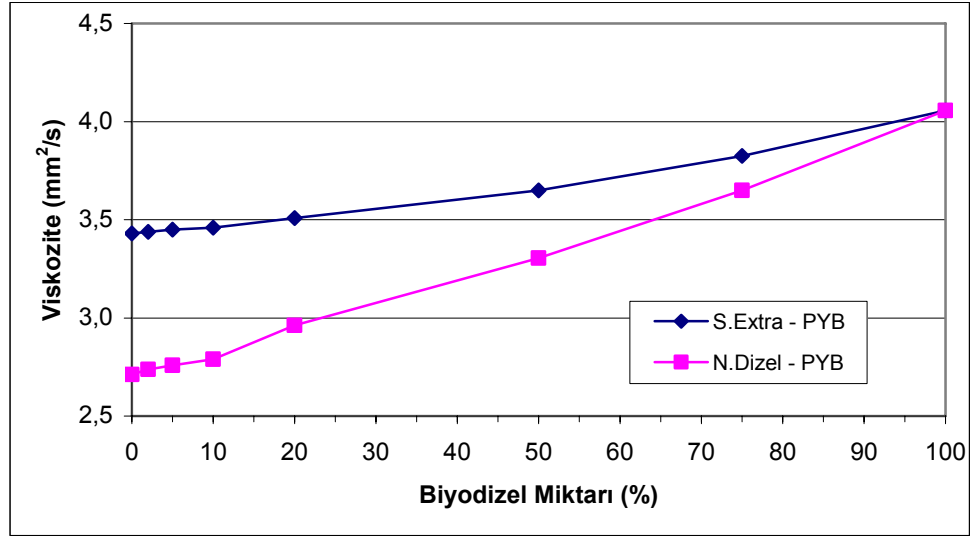
Şekil 6.10: MYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Viskozitelerinin Değişimi

Şekil 6.11'e bakıldığında KYB ile dizel yakıtları karışımlarının viskoziteleri görülmektedir. KYB'nin viskozitesi $4,3401 \text{ mm}^2/\text{s}$ olarak ölçülmüştür. Üretilen biyodizeller arasında en yüksek viskoziteye KYB sahiptir. %50 biyodizel-dizel yakıtı karışımında, S.Extra yakıtı için viskozite $3,8011 \text{ mm}^2/\text{s}$, viskozitesi S.Extra'ya göre daha düşük olan N.Dizel yakıtında $3,4233 \text{ mm}^2/\text{s}$ ölçülmüştür. %20 karışımlarda ise, KYB-S.Extra yakıt karışımının viskozitesi $0,0904 \text{ mm}^2/\text{s}$ artarak $3,5205 \text{ mm}^2/\text{s}$, KYB-N.Dizel yakıt karışımının viskozitesi $0,2797 \text{ mm}^2/\text{s}$ artarak $2,9906 \text{ mm}^2/\text{s}$ olmuştur.

PYB'nin viskozitesi $4,0568 \text{ mm}^2/\text{s}$ olarak ölçülmüştür. PYB-dizel karışımlarında biyodizel miktarı arttıkça viskozite artmıştır (Şekil 6.12). PYB-S.Extra karışımlarında %75 biyodizel içeren karışımın viskozitesi $3,8250 \text{ mm}^2/\text{s}$ iken, %50 biyodizel içeren karışımlarda viskozite $3,6489 \text{ mm}^2/\text{s}$ olarak ölçülmüştür. PYB-N.Dizel yakıtı karışımlarında %75 biyodizel içeren karışımın viskozitesi $3,6489 \text{ mm}^2/\text{s}$, %50 biyodizel içeren karışımında $3,3051 \text{ mm}^2/\text{s}$ olmuştur. %20 karışımlarda ise, PYB-S.Extra yakıt karışımının viskozitesi $3,5082 \text{ mm}^2/\text{s}$ iken, PYB-N.Dizel yakıt karışımının viskozitesi $2,9919 \text{ mm}^2/\text{s}$ 'dir. %10 ve öncesi karışımlarda karışımların viskozitesi yine dizel yakıtınıninkine yaklaşmıştır.



Şekil 6.11: KYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Viskozitelerinin Değişimi



Şekil 6.12: PYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Viskozitelerinin Değişimi

Karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça karışımın viskozitesi artmış, ancak bu artış yoğunlukta olduğu gibi lineer gerçekleşmemiştir. KYB ve APYB yakıtlarının viskoziteleri diğerlerine göre daha yüksek belirlenmiştir. Bununla birlikte yoğunlukları da diğer biyodizellerden daha düşük olarak tespit edilmiştir. Yoğunluk da olduğu gibi, KYB ve APYB'nin viskozitelerinin diğer biyodizellere nazaran daha yüksek olmasıyla birlikte %50 ve %75 biyodizel içeren karışımların viskoziteleri diğer biyodizel karışımlarına oranla belirgin bir şekilde daha yüksektir. Ancak %20 ve altındaki karışımlarda tüm biyodizeller için karışımların viskoziteleri birbirlerine yaklaşmıştır. Yapılan bazı çalışmalarda düşük yüzdeleri biyodizel içeren biyodizel-dizel yakıt karışımında, ölçülen viskozite değeri dizel yakıtınıninkinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir [31].

6.3. Akma Noktası Değişimi

Yakıtın akma noktası belirlenmesi gereken önemli yakıt özelliklerinden biridir. Çünkü yakıtın akma noktası, yakıtın soğuk iklim şartlarında kullanılabilirliğini doğrudan etkileyecektir [31]. Biyodizelin en büyük dezavantajlarından biri soğuk akış özelliklerinin kötü olmasıdır. Bu dezavantaj ile birlikte biyodizelin soğuk iklim şartlarında kullanımı sınırlanmaktadır. Biyodizelin akma noktası, Avrupa veya Amerika standartları ile belirlenmemiştir. Çünkü iklim şartları bölgesel olarak değişmekte ve farklılık göstermektedir.

Yapılan bu çalışmada kullanılan iki farklı yakıttan biri olan S.Extra yakıtının akma noktası -6°C , N.Dizel yakıtının akma noktasının ise kullanılan cihazın soğutma kapasitesinin sınırlı olması ile birlikte -21°C 'den küçük olduğu belirlenmiştir. S.Extra yakıtının akma noktası N.Dizel'e oranla oldukça yüksektir. Biyodizellerin akma noktaları ise, KYB için -8°C , AÇYB ve MYB için -1°C , SYB için 0°C , PYB için 6°C ve APYB için 12°C olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre KYB hariç diğer biyodizellerin akma noktalarının çok yüksek olduğu görülmektedir. Biyodizel-dizel yakıt karışımlarının akma noktaları ise Tablo 6.2 ve Tablo 6.3'de gösterilmiştir.

S.Extra yakıtının akma noktası ile biyodizellerin akma noktaları arasında fazla fark olmadığı için sıcaklıklar daha hassas ölçülmüştür. APYB'nin akma noktası diğer biyodizellere oranla çok daha yüksektir. Fakat dizel yakıtı katılmasıyla birlikte akma noktasında düşme görülmüştür. S.Extra ile APYB karışımlarında, %50-%50 karışım için APYB'nin akma noktası 12°C 'den 4°C 'ye düşmüştür. %20 APYB katılması durumunda ise akma noktası, S.Extra'nın akma noktasına oranla 3°C yükselmiştir. MYB ve AÇYB'nin akma noktaları aynı ölçülmüştür. Ancak bu yakıtlar S.Extra ile karıştırıldığında akma noktaları farklılık göstermiştir. S.Extra için, %75 MYB ve AÇYB biyodizel içeren karışımlarda akma noktası -2°C 'ye düşmüştür. Ancak %50 biyodizel içeren karışımda AÇYB için akma noktası -3°C iken, MYB için -4°C 'dir. %2 ve %5 biyodizel içeren karışımlarda akma noktası 1°C yükselmiştir. SYB'nin akma noktası ise MYB ve AÇYB'den 1°C daha yüksektir. %2 SYB içeren karışımda akma noktası -5°C iken, %5 SYB içeren karışımda akma noktası 2°C artarak -4°C olmuştur.

Kanola yağından üretilen biyodizelin akma noktası diğer biyodizellere göre daha düşüktür. KYB'nin -8°C olan akma noktası, kullanılan S. Extra yakıtından da daha düşüktür. Bu da KYB'nin soğuk şartlarda kullanım için diğer biyodizellere göre daha uygun olduğunu göstermektedir. S.Extra yakıtının akma noktasının KYB'den daha düşük olması ile birlikte %50 ve öncesi karışımlar için akma noktası düşme göstermiştir.

Tablo 6.2: S.Extra-Biyodizel Karışımlarının Akma Noktaları (°C)

Biyodizel Miktarı (%)	APYB	AÇYB	SYB	MYB	KYB	PYB
100	12	-1	0	-1	-8	6
75	8	-2	-1	-2	-8	2
50	4	-3	-3	-4	-6	-3
20	-3	-3	-4	-4	-6	-4
10	-4	-4	-4	-4	-6	-5
5	-5	-5	-4	-5	-5	-5
2	-5	-5	-5	-5	-6	-5
0	-6	-6	-6	-6	-6	-6

Tablo 6.3: N.Dizel-Biyodizel Karışımlarının Akma Noktaları (°C)

Biyodizel Miktarı (%)	APYB	AÇYB	SYB	MYB	KYB	PYB
100	12	-1	0	-1	-8	6
75	6	-9	-6	-6	-15	0
50	0	-15	-12	-12	-21	-6
20	-12	< -21	< -21	< -21	< -21	-18
10	-21	< -21	< -21	< -21	< -21	< -21
5	< -21	< -21	< -21	< -21	< -21	< -21
2	< -21	< -21	< -21	< -21	< -21	< -21
0	< -21	< -21	< -21	< -21	< -21	< -21

PYB ve APYB'nin akma noktası diğer biyodizellere göre daha yüksek olarak tespit edilmiştir. En yüksek akma noktasına APYB sahiptir. Buzdolabında saklandığı durumlarda PYB ve APYB'nin katı halde olması soğuk akış özelliklerinin kötü olduğunun diğer bir göstergesidir. S.Extra dizel yakıtı ile PYB %75 biyodizel için akma noktası 4°C azalmıştır. %50 biyodizel içeren karışımlarda PYB için akma noktası -3°C ölçülmüştür. %20 ve öncesi karışımlar için diğer biyodizellere benzer akma noktası sonuçları görülmektedir.

N.Dizel'in akma noktası kış şartlarında kullanılabilir kadar düşüktür. N.Dizel'in akma noktasının S.Extra'ya göre daha yüksek olmasıyla birlikte, karışım içindeki N.Dizel miktarı arttıkça akma noktası daha fazla düşüş göstermektedir.

%75 APYB içeren karışımda N.Dizel için akma noktası 6°C azalmış ve 6°C olmuştur. %50 APYB içeren karışımda ise akma noktası yine 6°C düşmüş ve 0°C olmuştur. %20 APYB içeren karışımda ise akma noktası -12°C olarak ölçülmüştür. %5 ve öncesi karışımlarda akma noktası cihazın soğutma sınırı nedeniyle -21°C'nin altında olarak belirlenmiştir.

PYB ve N.Dizel karışımlarda akma noktası, %75 biyodizel içeren karışımda 6°C düşerek 0°C, %50 biyodizel içeren karışımda yine 6°C düşerek -6°C olmuştur. %50 PYB-N.Dizel karışımında ölçülen akma noktası S.Extra'nın akma noktasına eşittir. %20 biyodizel içeren karışımın akma noktası, %50 biyodizel içeren karışıma göre 12°C daha düşük olarak ölçülmüştür. %10 ve öncesi karışımlarda ise akma noktaları cihazın minimum ölçebildiği değerin (-21°C) altında olarak belirlenmiştir.

KYB'nin akma noktasının diğer biyodizellere göre daha düşük olması ile birlikte, %50 karışımda akma noktası sınır değere ulaşmıştır. %20 ve öncesi karışımlarda akma noktası sınır değerin altında olarak belirlenmiştir.

SYB ve MYB'nin akma noktaları değişimi benzerlik göstermiştir. N.Dizel-SYB ve N.Dizel-MYB karışımlarında, %75 biyodizel için akma noktaları -6°C olarak ölçülmüştür. %50 biyodizel içeren karışımda ise her iki biyodizel için akma noktası düşerek -12°C olmuştur. %20 ve öncesi karışımlarda akma noktaları sınır değerin altında olarak belirlenmiştir.

AÇYB'nin akma noktası SYB ve MYB'ye göre biraz daha fazla düşme göstermiştir. %75 biyodizel içeren karışımda akma noktası 8°C düşerek -9°C, %50 biyodizel içeren karışımda 6°C daha azalarak -15°C olmuştur. Bu değerden sonraki karışımlarda akma noktası sınır değerin altında olarak ölçülmüştür.

Yağların biyodizelle dönüştürüldükten sonra akma noktalarının nasıl değiştiğini görmek için yağların akma noktaları da ölçülmüştür. Palmiye atık yağı hariç, bitkisel yağların akma noktaları metil esterlerine göre daha düşük olarak belirlenmiştir. Kanola yağının akma noktası -16°C iken, ayçiçek yağının -8°C , mısırözü yağının -8°C , soya yağının -7°C , pamuk yağının -3°C ve palmiye atık yağının akma noktası ise 12°C olarak ölçülmüştür.

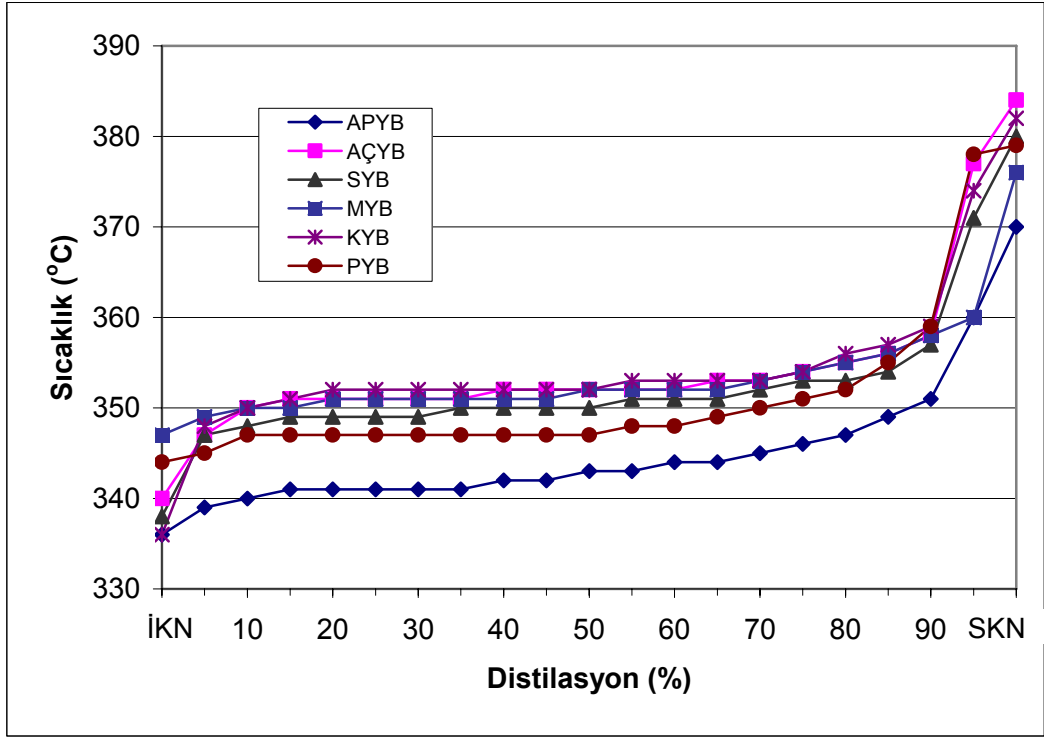
Yapılan bu çalışmada kullanılan dizel yakıtlarının tüm özelliklerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir. Aradaki en büyük farklardan biri dizel yakıtlarının akma noktalarıdır. S.Extra yakıtının akma noktası biyodizellere yakinken, N.Dizel yakıtının akma noktası biyodizellere oranla çok daha düşüktür. Elde edilen verilerde görüldüğü üzere, karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça akma noktası yükselme eğilimi göstermiştir. S.Extra-biyodizel karışımları için aradaki fark fazla olmadığından akma noktaları birbirine yakın değerler göstermiştir. Ancak APYB ve PYB akma noktalarının yüksek olması ile birlikte akma noktasındaki düşüş daha açık görülmektedir. Bu biyodizellerin akma noktalarının çok yüksek olması yüksek oranda doymuş yağ asidi içerdiğini göstermektedir. Zaten PYB ve APYB ham maddesi olan yağlarında akma noktaları diğerlerine oranla daha yüksektir. KYB'nin akma noktası ise kullanılan S.Extra yakıtından daha düşüktür. S.Extra'nın akma noktasının -6°C olması, daha çok yaz ayları için üretilen yakıtlardan biri olduğunun göstergesidir. KYB'nin akma noktasının S.Extra'ya göre daha düşük olması, bu yakıtın yaz aylarında rahatlıkla kullanabileceğini göstermektedir. Biyodizel-dizel karışımları incelendiğinde, biyodizellerin akma noktasının yüksek olması ile birlikte, %50 ve %75 biyodizel içeren karışımlarda akma noktası farklılık gösterebilmektedir. Ancak %10 ve öncesi karışımlar için akma noktalarının, tüm biyodizel-dizel karışımları için birbirine yakın olduğu belirlenmiştir ve karışımın akma noktası dizel yakıtıninkine yaklaşmıştır. Yapılan bu çalışmada bitkisel yağlardan üretilen biyodizellerin akma noktaları, hammaddeleri olan yağlara oranla daha yüksek olarak belirlenmiştir. Bir başka ifadeyle, bitkisel yağlar biyodizellerine oranla daha iyi soğuk akış özelliklerine sahiptir.

6.4. Distilasyon Eğrilerinin Değişimi

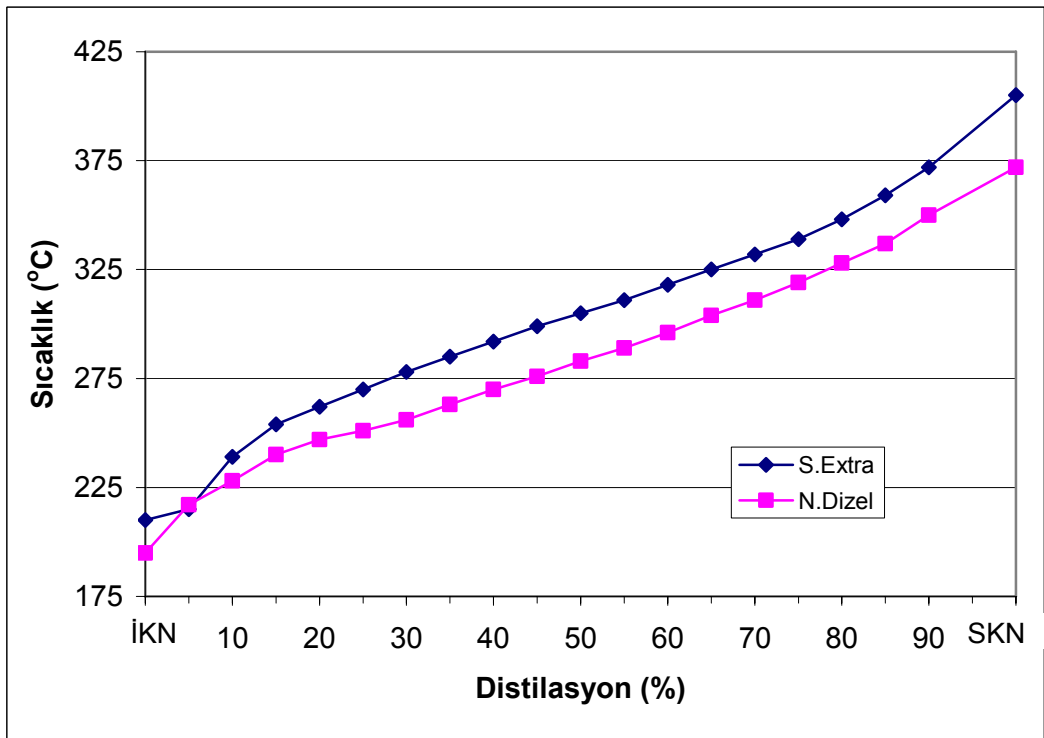
Hidrokarbonların distilasyon karakteristikleri motor performansı ve yanma açısından pek çok bilginin göstergesidir. Yakıtın içinde bulunan yüksek kaynama noktasına sahip bileşikler, katı yanma kalıntılarının oluşumuna önemli derecede etki etmektedir [81]. Ayrıca distilasyon özellikleri motorun ilk çalıştırılması anında ve yakıtın ön ısıtılması bakımından çok önemli bir özelliktir [39].

Kullanılan biyodizellerin distilasyon eğrileri Şekil 6.13'de gösterilmiştir ve benzer distilasyon karakteristiklerine sahip oldukları görülmektedir. Biyodizellerin ilk kaynama noktası (İKN), dizel yakıtlarına oranla çok daha yüksektir. İKN'lerin yüksek olmasıyla birlikte, biyodizellerin kaynama aralığı sıcaklık değerleri olarak dizel yakıtlarına göre daha kısadır. Üretilen biyodizellerin İKN'leri APYB, AÇYB, SYB, MYB, KYB ve PYB için sırasıyla 336°C, 340°C, 338°C, 347°C, 336°C ve 344°C olarak ölçülmüştür. Üretilen biyodizellerin kaynama aralığı en düşük 29°C, en yüksek 46°C olarak tespit edilmiştir. Yüksek kaynama noktasına sahip olma özelliği, yakıtı buharlaştırmak için daha fazla miktarda enerji ihtiyacı gerekliliğini göstermektedir [31]. Amerika biyodizel standartlarına göre %90 distilasyon için maksimum sıcaklık 360°C'dir. %90 distilasyon için sıcaklıklar APYB, AÇYB, SYB, MYB, KYB ve PYB için sırasıyla 351°C, 358°C, 357°C, 358°C, 359°C, 359°C olarak ölçülmüştür. Görüldüğü üzere biyodizellerin %90 distilasyon için sıcaklıkları, Amerika standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Tüm biyodizeller için gözlenen geri kazanım ise %95'in üzerinde elde edilmiştir.

Kullanılan dizel yakıtlarına bakıldığında, sahip oldukları İKN'ler biyodizel yakıtlarına oranla çok daha düşüktür. S.Extra yakıtının İKN'si 210°C, N.Dizel yakıtın İKN'si 195°C olarak ölçülmüştür. İKN'lerin düşük olmasına rağmen son kaynama noktaları (SKN) biyodizeller kadar yüksektir. S.Extra yakıtının SKN'si 405°C iken, N.Dizel yakıtının SKN'si 372°C olarak tespit edilmiştir. Kaynama aralıkları ise S.Extra için 195°C, N.Dizel için ise 177°C'dir.



Şekil 6.13: Testlerde Kullanılan Biyodizellerin Distilasyon Eğrileri

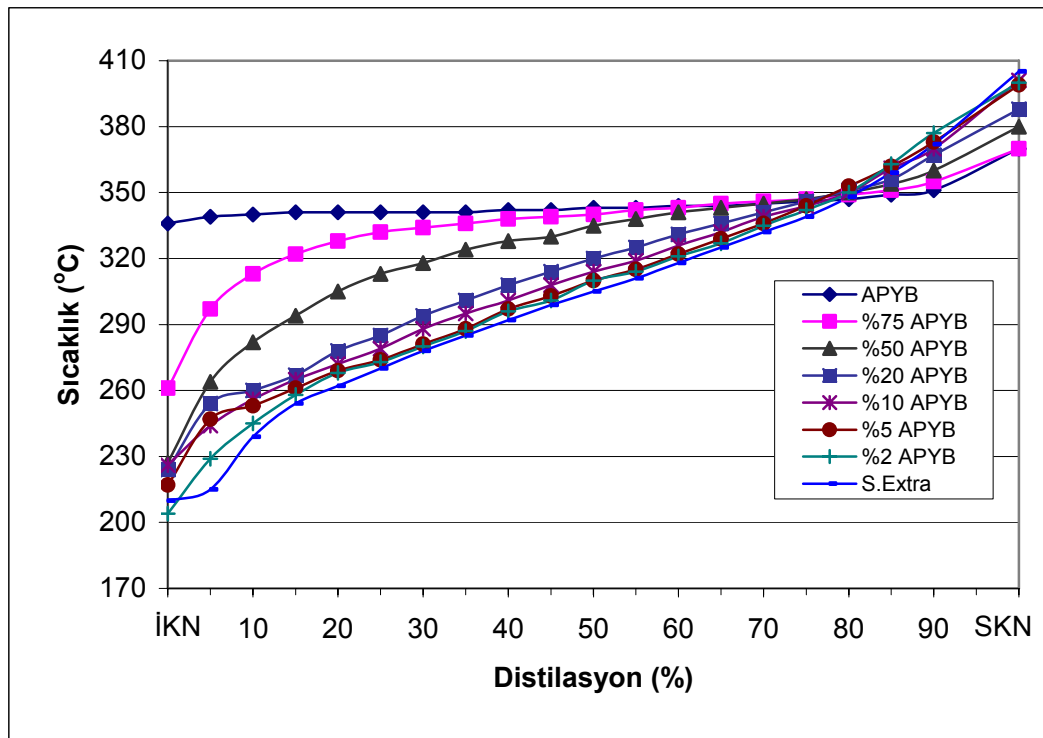


Şekil 6.14: S.Extra ve Dizel Yakıtlarının Distilasyon Eğrileri

Görüldüğü üzere dizel yakıtlarının kaynama aralığı, sıcaklık değeri olarak biyodizellere göre çok daha uzundur (Şekil 6.14). Üretilen biyodizellerin SKN

değerleri, S.Extra yakıtının SKN'sinden daha düşüktür. Başlangıçtan %50'ye kadar olan distilasyon süresi, %50 ile %90 arası distilasyon süresine göre daha az olarak belirlenmiştir. S.Extra yakıtı için gözlenen geri kazanım %95'in altında iken, N.Dizel için bu değer %95'in üzerinde olarak belirlenmiştir.

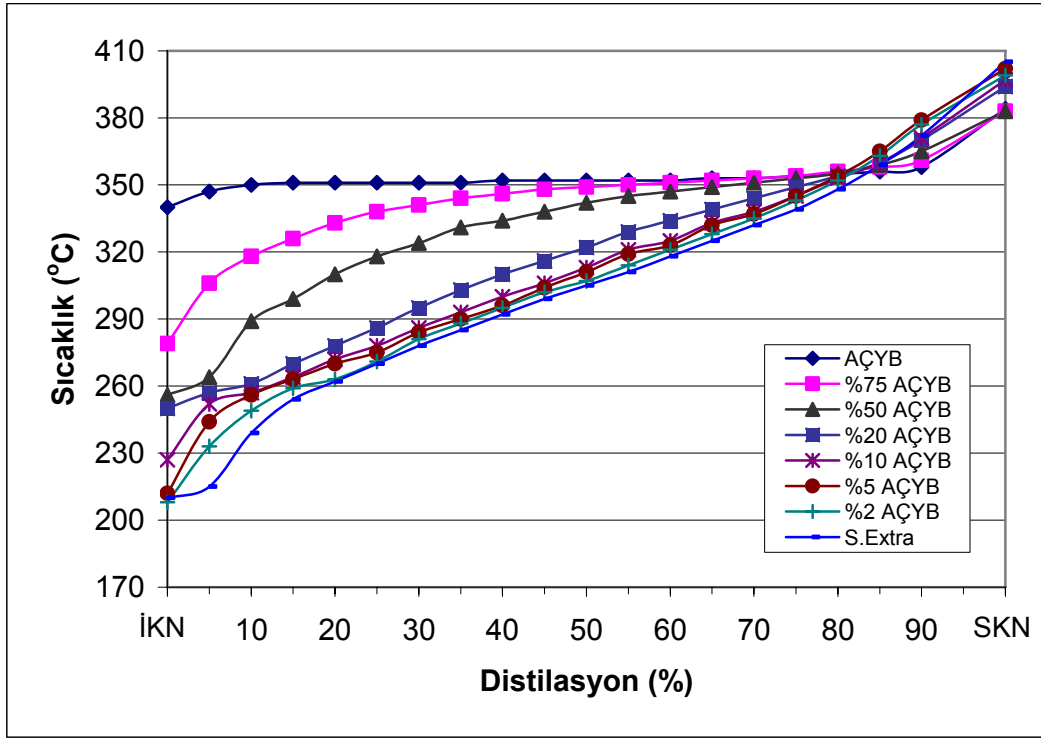
APYB-S.Extra karışımlarının distilasyon eğrileri Şekil 6.15'de görülmektedir. Biyodizel miktarı arttıkça distilasyon sıcaklıkları yükselmiştir. İKN'lerinde sıcaklığın yükselmesi farklılık göstermiştir. Ancak %10 ve sonrası geri kazanımda sıcaklık artışı açıkça görülmektedir. S.Extra yakıtının SKN'nin APYB'ye göre daha yüksek olması ile birlikte, karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça SKN'si azalmıştır. %2, %5, %10, %20, %50 ve %75 biyodizel içeren karışımlar için %90 distilasyon sıcaklıkları sırasıyla, 377°C, 373°C, 370°C, 367°C, 360°C ve 355°C olarak ölçülmüştür. Görüldüğü üzere biyodizelin %90 distilasyon sıcaklıkları S.Extra'ya göre daha düşük olduğu için biyodizel miktarı arttıkça distilasyon sıcaklıkları azalmıştır.



Şekil 6.15: APYB-S.Extra Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi

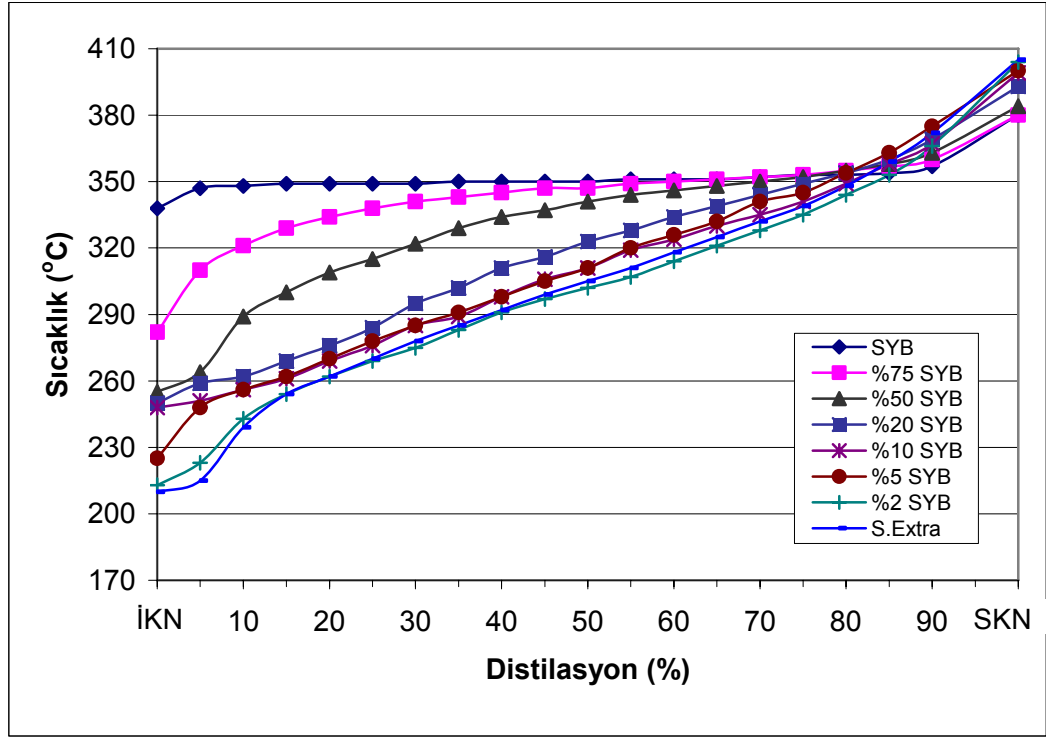
AÇYB-S.Extra yakıt karışımlarının distilasyon eğrileri APYB'ye göre farklılık göstermektedir (Şekil 6.16). Karışımdaki biyodizel miktarı arttıkça İKN'lerinde bir

artış gözlemlenmiştir. %50 biyodizel içeren karışımda İKN 46°C, %75 biyodizel içeren karışımda İKN 69°C artmıştır. SKN ise düşük biyodizel içeren karışımlarda pek değişmemişse de, %50 ve %75 biyodizel içeren karışımlarda 22°C azalmıştır. %20 ve öncesi karışımlar için gözlenen geri kazanım %95'in altında olarak belirlenmiştir. %50 ve %75 karışımda ise gözlenen geri kazanım %95'in üzerinde olarak ölçülmüştür. %90 distilasyon sıcaklıkları için, karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça sıcaklıklar düşmüştür.



Şekil 6.16: AÇYB-S.Extra Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi

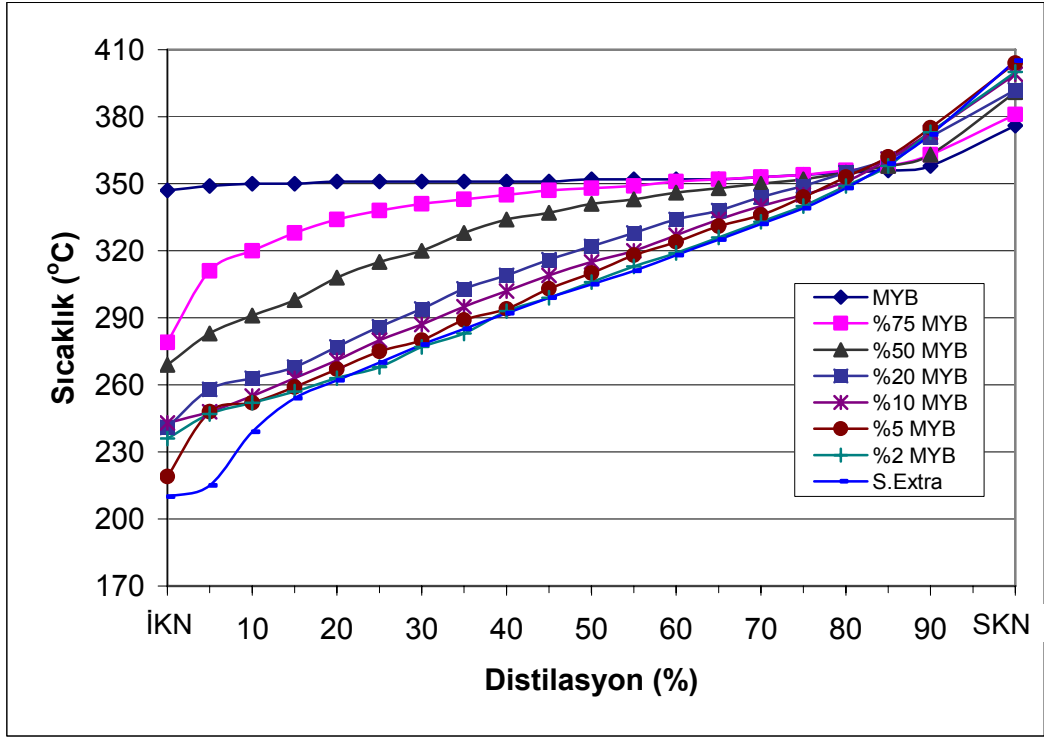
Şekil 6.17'de, SYB-S.Extra yakıtlarının distilasyon eğrileri verilmiştir. AÇYB'de olduğu gibi karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça İKN'leri artmıştır. Yine %90 distilasyon için sıcaklıklar biyodizel miktarı arttıkça azalmıştır. Aynı şekilde SKN'leri de azalma göstermiş, %2, %5, %10, %20, %50 ve %75 biyodizel içeren karışımlar için SKN'leri sırasıyla, 404°C, 400°C, 399°C, 393°C, 384°C ve 380°C olarak ölçülmüştür. Diğer biyodizel-S.Extra karışımları için %20'ye kadar olan karışımlarda gözlenen geri kazanım %95'in altında iken, SYB-S.Extra karışımlarında gözlenen geri kazanım %95'in üzerindedir.



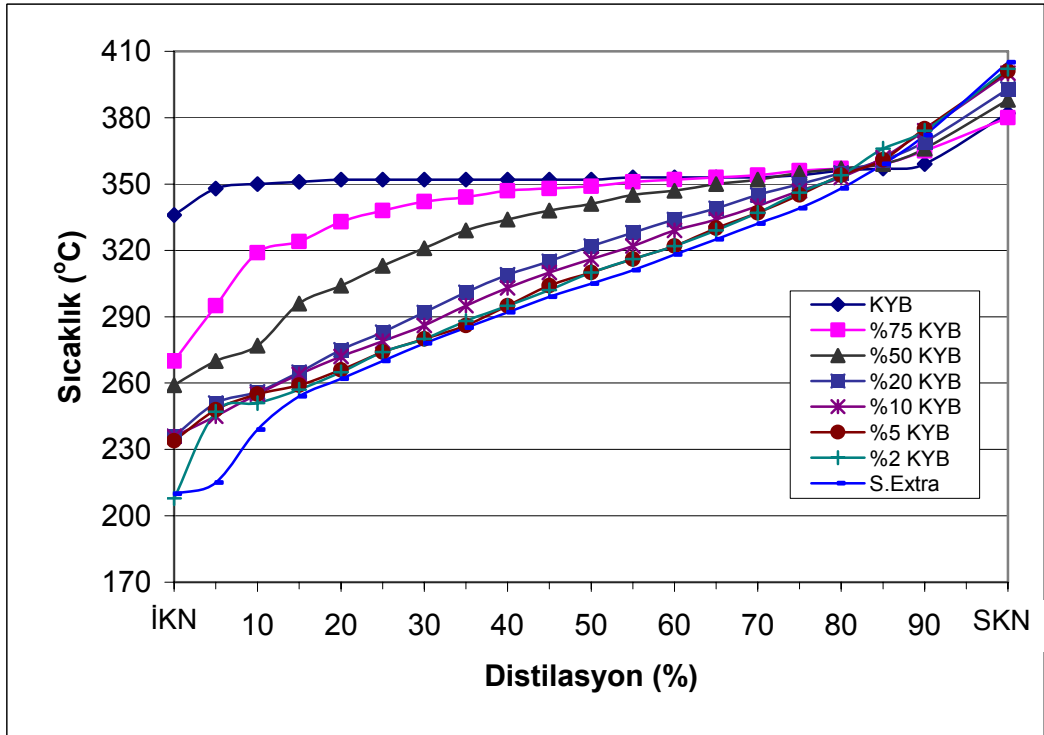
Şekil 6.17: SYB-S.Extra Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi

Üretilen biyodizeller arasında İKN'si en yüksek olan biyodizel MYB olarak tespit edilmiştir (Şekil 6.18). MYB'nin SKN'si S.Extra'ya göre daha düşüktür, N.Dizele göre biraz daha yüksektir. %20'ye kadar olan karışımlarda gözlenen geri kazanım %95'in altındadır. Ancak %50 ve %75 biyodizel içeren karışımlarda gözlenen geri kazanım %95'in üzerine çıkmıştır. %20 biyodizel içeren karışımda %90 distilasyon sıcaklığı, 1°C azalmış, %50 ve %75 biyodizel içeren karışımda ise 9°C azalmıştır. Karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça SKN değeri de azalmıştır.

Diğer biyodizellerde olduğu gibi, KYB-S.Extra karışımlarında karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça distilasyon sıcaklıkları artış göstermiştir (Şekil 6.19). %5 ve %20 aralığında İKN pek değişmese de, %50 biyodizel içeren karışımda 49°C, %75 biyodizel içeren karışımda 60°C artış göstermiştir. %2, %5, %10, %20, %50 ve %75 biyodizel içeren karışımlar için, %90 distilasyon sıcaklıkları sırasıyla 374°C, 375°C, 374°C, 369°C, 366°C ve 365°C, SKN'leri ise yine sırasıyla 402°C, 401°C, 400°C, 393°C, 388°C ve 380°C olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlardan da anlaşılacağı üzere karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça %90 distilasyon sıcaklıkları ve SKN'leri düşmüştür. Bunun nedeni; KYB'nin %90 distilasyon sıcaklığının ve SKN'sinin S.Extra'ya göre daha düşük olmasıdır.



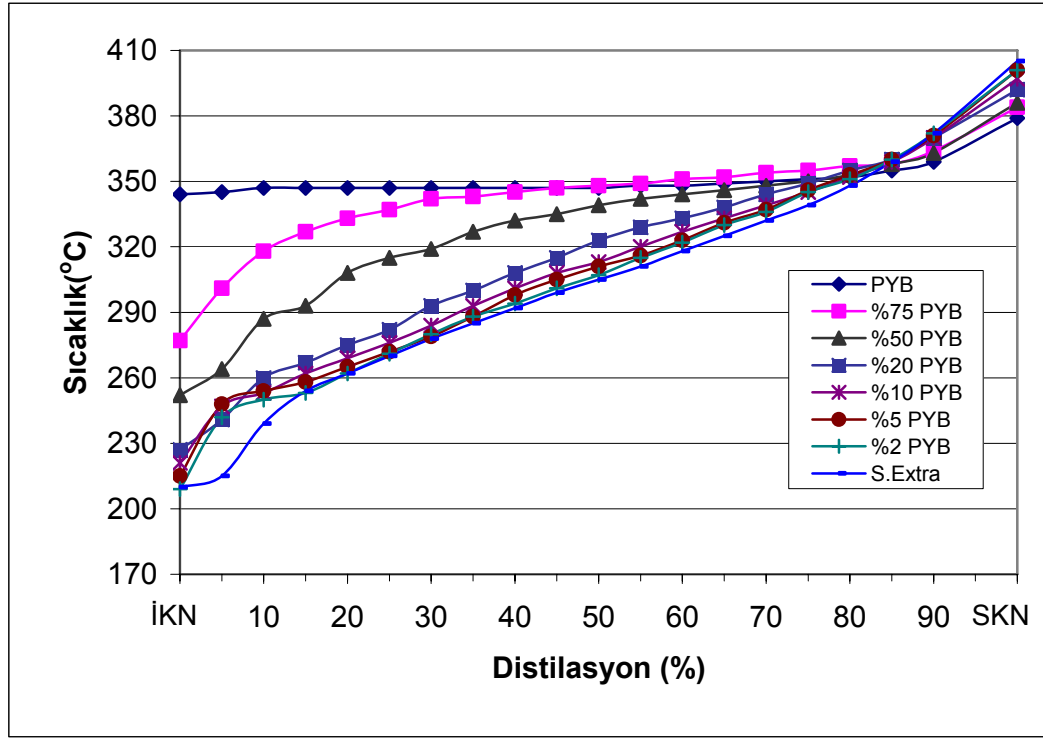
Şekil 6.18: MYB-S.Extra Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi



Şekil 6.19: KYB-S.Extra Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi

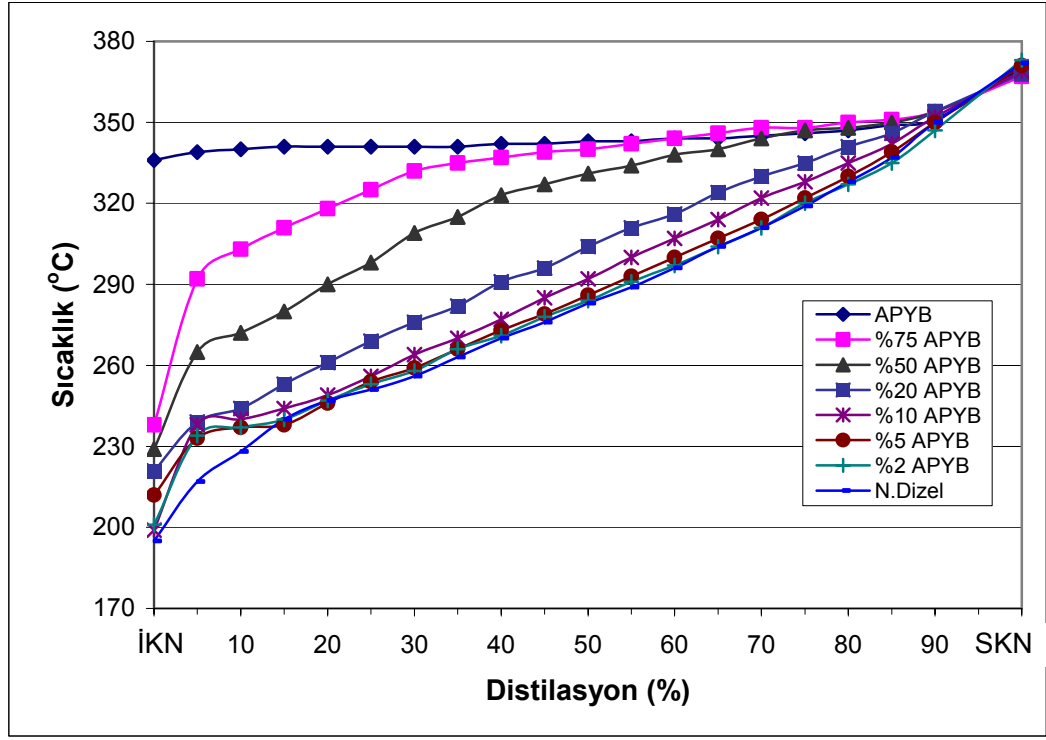
PYB'nin İKN ile SKN arasındaki fark 35°C'dir. PYB-S.Extra karışımları için %20 ve öncesi biyodizel içeren karışımlar için İKN pek fazla değişmemiştir. %20 ve

öncesi biyodizel içeren karışımlarda gözlenen geri kazanım %95'in altında olarak tespit edilmiştir. Fakat %50 ve %75 biyodizel içeren karışımlarda ise gözlenen geri kazanım %95'in üzerine çıkmış, %95,9 ve %96,3 olmuştur. Yine karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça distilasyon sıcaklıkları artış göstermiş, %90 distilasyon sıcaklıkları ve SKN'leri düşme göstermektedir (Şekil 6.20).



Şekil 6.20: PYB-S.Extra Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi

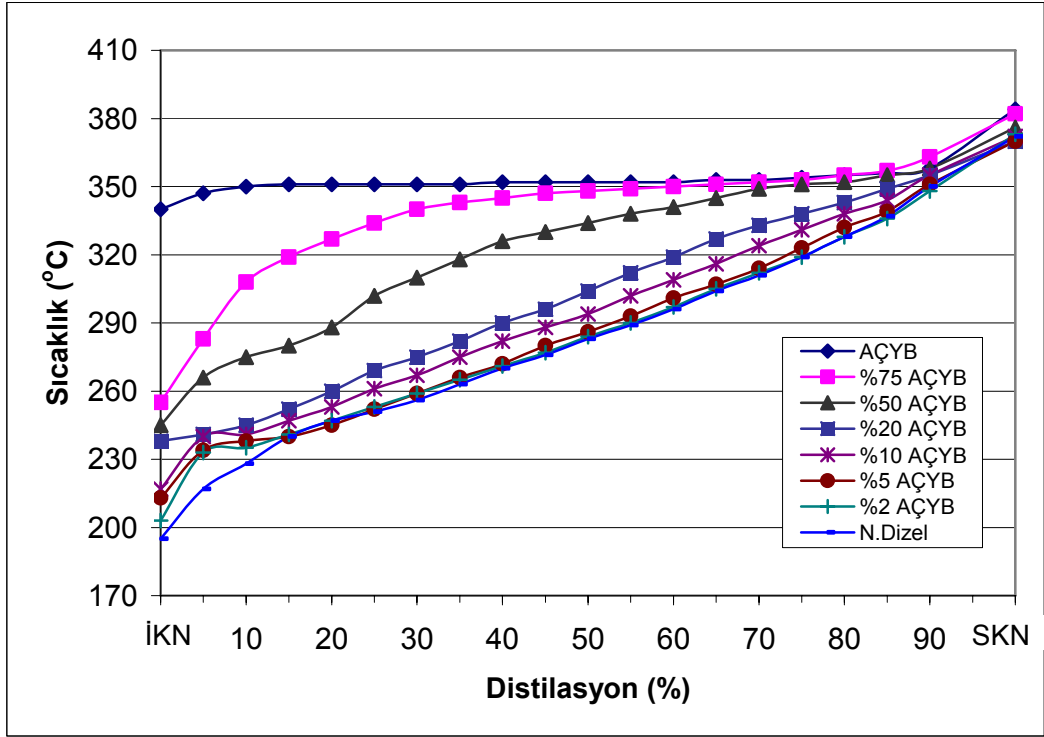
APYB-N.Dizel yakıt karışımlarının distilasyon eğrileri Şekil 6.21'de görülmektedir. APYB-N.Dizel karışımlarının İKN'leri biyodizel miktarına göre farklılık göstermiştir. %20 biyodizel içeren karışımda İKN 221°C iken, %50 ve %75 biyodizel içeren karışımlarda İKN sırasıyla 229°C ve 238°C olmuştur. %90 distilasyon sıcaklıklarına bakıldığında, APYB ve N.Dizel yakıtlarının %90 distilasyon sıcaklıkları birbirine yakın olduğu için karışımların sıcaklığı da birbirine yakın olarak belirlenmiştir. SKN'leri birbirine yakın olan APYB ve N.Dizel karışımlarının da SKN'leri birbirine yakın olarak belirlenmiştir. N.Dizel yakıtının gözlenen geri kazanımının %95'in üzerinde olması ile birlikte, karışımların da gözlenen geri kazanımları %95'in üzerinde çıkmıştır.



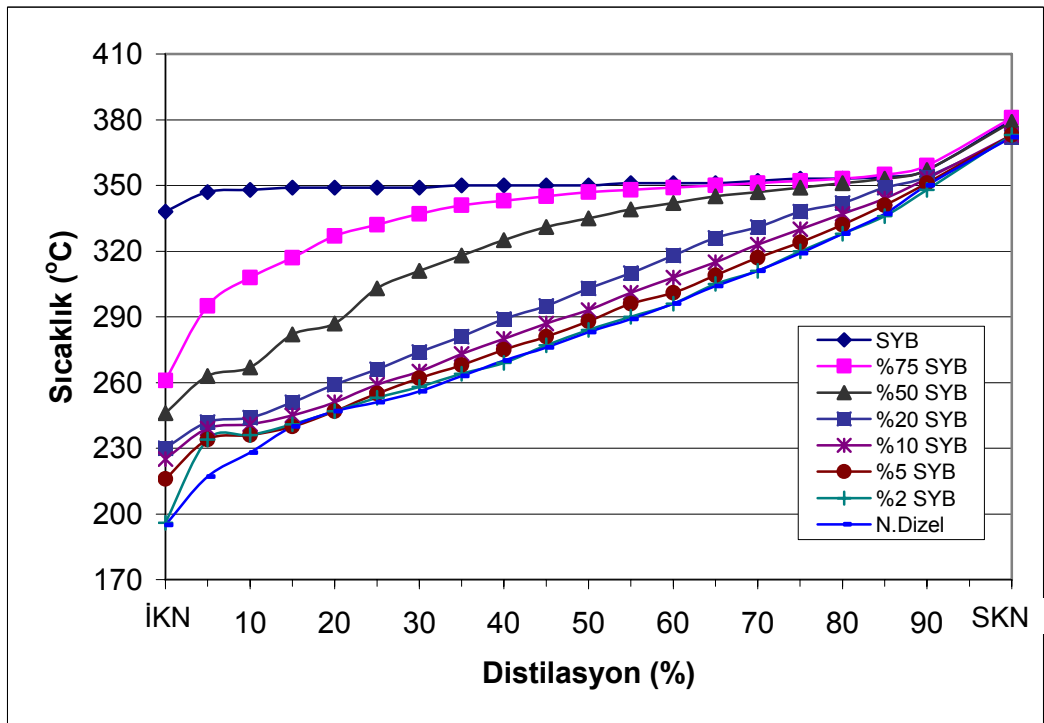
Şekil 6.21: APYB-N.Dizel Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi

AÇYB-N.Dizel yakıt karışımlarının İKN'leri APYB-N.Dizel karışımlarının aksine düzenli bir artış göstermiştir. AÇYB-N.Dizel yakıtları için %2, %5, %10, %20, %50 ve %75 biyodizel içeren karışımların İKN'leri sırasıyla 8°C, 18°C, 22°C, 43°C, 50°C ve 60°C artmıştır (Şekil 6.22). Yine tüm karışımlar için gözlenen geri kazanım %95'in üzerinde çıkmıştır. %2, %5, %10, %20, %50 ve %75 biyodizel içeren karışımların %90 distilasyon sıcaklıkları sırasıyla 348°C, 351°C, 355°C, 355°C, 358°C ve 363°C, SKN'leri ise yine sırasıyla 373°C, 370°C, 372°C, 370°C, 376°C ve 382°C olarak belirlenmiştir. AÇYB'nin SKN'si N.Dizel'e oranla daha yüksektir. Bu yüzden %50 ve %75 biyodizel içeren karışımlarda SKN artış göstermiştir.

Şekil 6.23'de görüldüğü üzere, N.Dizel yakıtına SYB eklenmesiyle distilasyon eğrileri daha düz hale gelmiştir. %5, %10 ve %20 biyodizel içeren karışımlarda İKN'ler birbirine yakındır. %50 ve %75 karışımlarda ise İKN sırasıyla 51°C ve 66°C artmıştır. Yine tüm karışımlar için gözlenen geri kazanım %95'in üzerindedir. %90 distilasyon sıcaklıkları ve SKN'leri ise karışımdaki biyodizel miktarı arttıkça azalma göstermiştir.



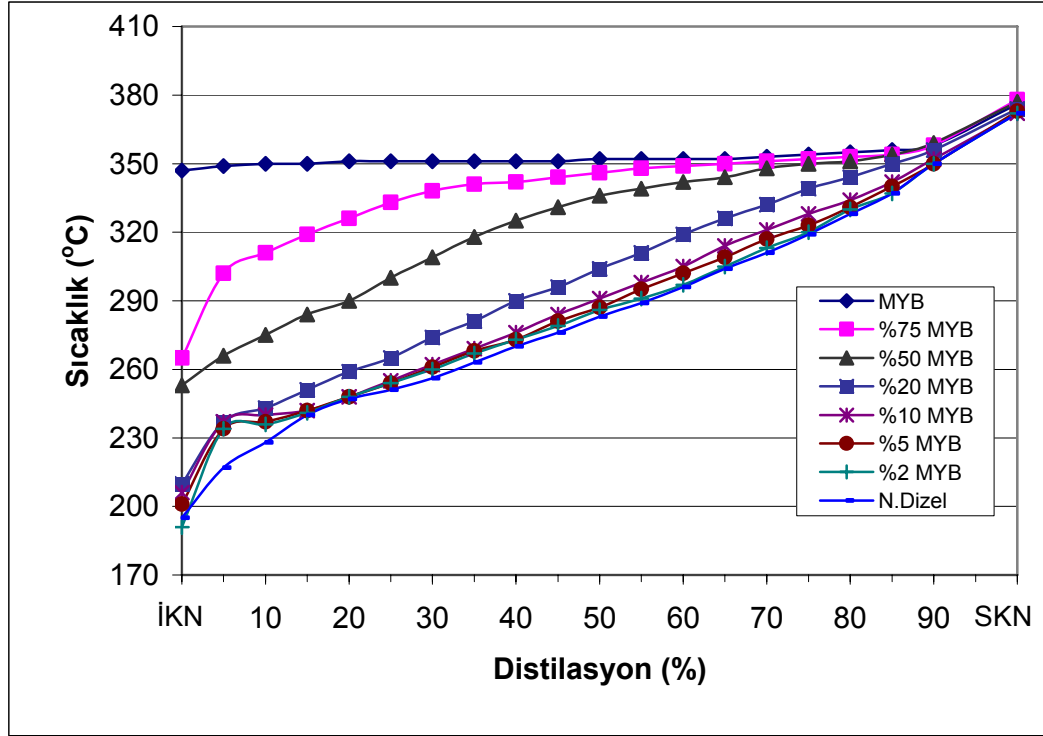
Şekil 6.22: AÇYB-N.Dizel Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi



Şekil 6.23: SYB-N.Dizel Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi

Üretilen biyodizellerin arasında en yüksek İKN'ye sahip olan biyodizel MYB olmasına rağmen, %20 ve öncesi karışımlar için İKN pek değişmemiştir. Ancak bu

aşamadan sonra %50 ve %75 karışımlar için diğer biyodizellere göre artış daha fazla olmuştur. %50 biyodizel için İKN 253°C iken, %75 biyodizel için İKN 265°C olarak ölçülmüştür (Şekil 6.24). MYB ve N.Dizel yakıtının SKN'lerinin birbirine yakın olması ile birlikte karışımların SKN'leri bu değerlere yakın olarak belirlenmiştir.

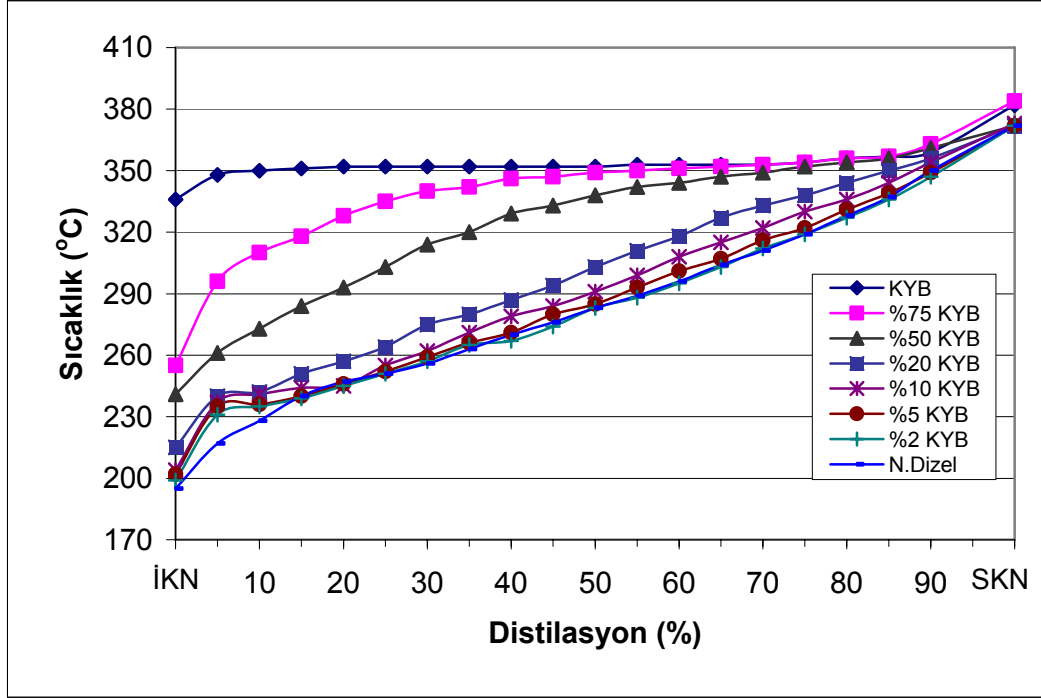


Şekil 6.24: MYB-N.Dizel Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi

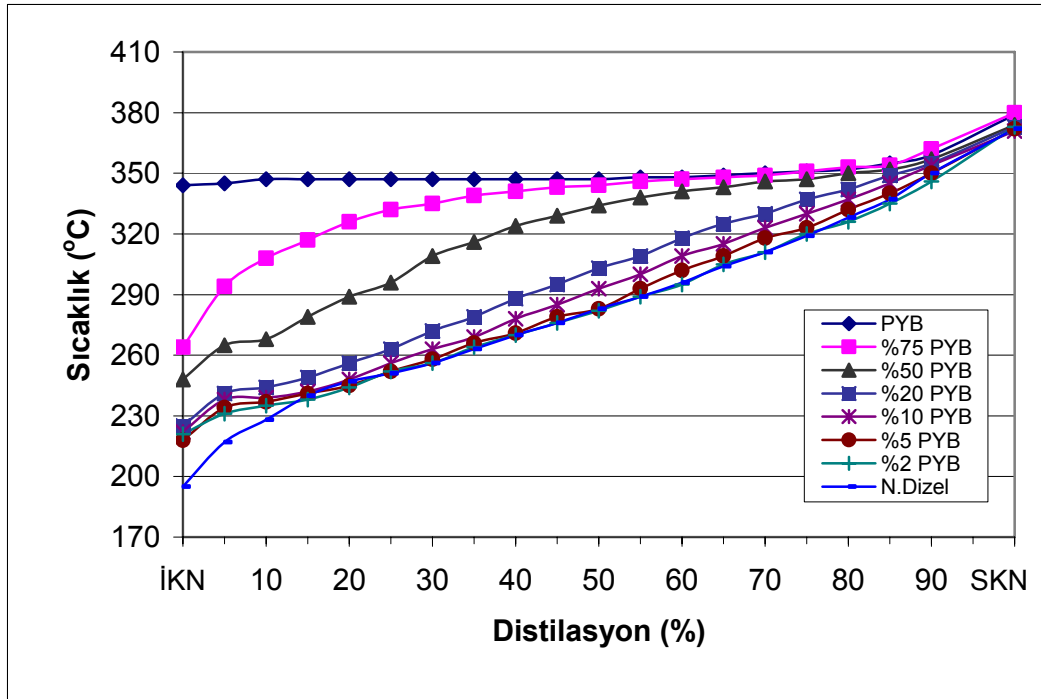
KYB'nin İKN ile SKN arasındaki fark 46°C'dir. KYB-S.Extra karışımları için %20 ve öncesi biyodizel içeren karışımlar için İKN fazla değişmemiştir. Tüm karışımlar için gözlenen geri kazanım %95'in üzerinde tespit edilmiştir. Yine karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça distilasyon sıcaklıkları artış göstermiştir. %90 distilasyon sıcaklıkları da N.Dizel yakıtına göre düşmüştür. Ancak SKN'leri %50 ve öncesi karışımlar için pek değişmemiştir (Şekil 6.25).

Diğer biyodizelerde olduğu gibi PYB-S.Extra karışımlarında karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça distilasyon sıcaklıkları artış göstermiştir (Şekil 6.26). %5 ve %20 aralığında İKN pek değişmese de, %50 biyodizel içeren karışımda 53°C, %75 biyodizel içeren karışımda 69°C artış göstermiştir. %2, %5, %10, %20, %50 ve %75 biyodizel içeren karışımlar için %90 distilasyon sıcaklıkları sırasıyla 346°C, 350°C, 354°C, 355°C, 357°C, 362°C, SKN'leri ise yine sırasıyla 373°C, 372°C,

371°C, 373°C, 374°C ve 380°C olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlarda da görüldüğü üzere karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça %90 distilasyon sıcaklıkları ve SKN'leri artmıştır. Bunun nedeni de PYB'nin %90 distilasyon sıcaklığının ve SKN'nin N.Dizel'e göre daha yüksek olmasıdır.



Şekil 6.25: KYB-N.Dizel Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi



Şekil 6.26: PYB-N.Dizel Yakıtları Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin Değişimi

Yapılan bu çalışmada biyodizellerin İKN'lerinin çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Deneysel sırasında biyodizelin distilasyon eğrilerinin belirlenmesi, dizel yakıtına oranla çok daha uzun süre almıştır. Bunun nedeni, biyodizelin İKN değerinin çok yüksek olmasıdır. Ancak, İKN'den sonra biyodizeller, dizel yakıtlarına nazaran çok daha hızlı bir şekilde buharlaşmıştır. Üretilen biyodizeller birbirine benzer distilasyon karakteristikleri gösterse de, karışımlarda sergiledikleri özellikler birbirinden farklı olmuştur. Genel olarak distilasyon eğrileri incelendiğinde, biyodizel miktarı arttıkça distilasyon sıcaklıklarında bir artış gözlemlenmiştir. Amerika biyodizel standartlarına göre biyodizelin %90 distilasyon sıcaklığının maksimum 360°C olması gerekmektedir. Üretilen biyodizellere bakıldığında %90 distilasyon sıcaklığı bu standart değerinin altındadır. Biyodizel-dizel karışımlarında ise, S.Extra yakıtının %90 distilasyon sıcaklığının 360°C'nin üzerinde olması ile birlikte birkaç karışım hariç diğer karışımlarda sıcaklık bu değerin üstüne çıkmıştır. Ancak biyodizel-N.Dizel yakıtı karışımlarında böyle bir durumla karşılaşmamıştır. Ekler 1-C ile 1-N arasında görüleceği üzere karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça geri kazanımın arttığı görülmektedir. Geri kazanımın artması ile birlikte de distilasyon sonrası oluşan artık miktarı azalmıştır. Distilasyon sonrası oluşan artıkların temizlenmesi sırasında, biyodizel kalıntılarının çok daha kolay temizlendiği gözlemlenmiştir.

6.5. Parlama Noktalarının Değişimi

Daha önce de bahsedildiği gibi parlama noktası daha çok yakıtın taşınması ve güvenliği ile ilgilidir. Dizel yakıtlarının parlama noktası ASTM D975 standardına göre minimum 52°C olmalıdır [31]. Biyodizelin en büyük avantajlarından biri parlama noktasının dizel yakıtına oranla daha yüksek olmasıdır. Ancak yapılan bazı çalışmalarda parlama noktasının dizel yakıtından daha düşük olduğu görülmüştür [19]. Biyodizel üretildikten sonra içinde artık olarak kalan metanol parlama noktasının düşmesine sebep olmaktadır. Aynı zamanda yakıt pompası ve contalara da etki etmekle birlikte zayıf yanma karakteristiklerine neden olabilmektedir [66]. Felizardo ve ark. [82], yaptıkları bir çalışmada farklı şartlarda üretilen biyodizellerin içerdikleri alkol miktarının parlama noktasına etkisini incelemiştirler. %0,1'den daha az metanol içeren örneklerde parlama noktası 160-170°C arasında değişirken,

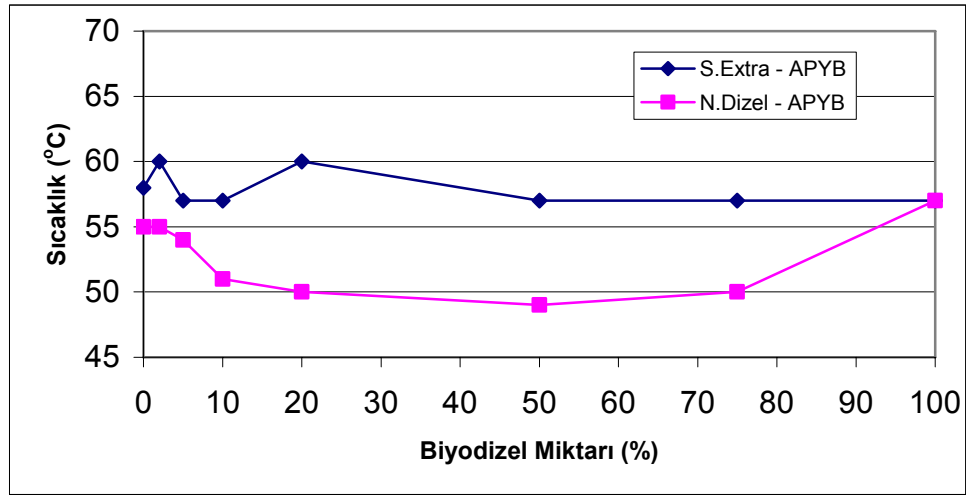
%0,5 metanol içeren biyodizellerin parlama noktası 98-110°C arasında belirlenmiştir. Alkol miktarındaki %0,5'lik artış parlama noktasının 60°C kadar düşmesine sebep olmuştur.

ASTM standartlarına göre biyodizelin parlama noktası minimum 130°C, Avrupa standartlarına göre ise minimum 120°C olarak belirlenmiştir. Avrupa standartlarına (EN 14214) göre biyodizelin içindeki alkol miktarı %0,20'den daha düşük olmalıdır. Yapılan araştırmalara göre, biyodizelin içindeki %1 kadar az miktardaki metanol bile, parlama noktasının 170°C'den 40°C'ye kadar düşmesine sebep olmaktadır. Bu yüzden parlama noktasında EN 14214 ve ASTM D6751 standartlarını yakalayabilmek için alkol miktarının çok düşük (<%0,1) olması gerekmektedir [83]. Yapılan bu çalışmada, APYB'nin parlama noktası 57°C, APYB hariç diğer biyodizellerin parlama noktaları 100°C'nin üzerinde belirlenmiştir. APYB'nin parlama noktasının düşük olması, muhtemelen içerisinde bulunan metanolden kaynaklanmaktadır. S.Extra yakıtının parlama noktası 58°C iken, N.Dizel yakıtının parlama noktası 55°C olarak tespit edilmiştir.

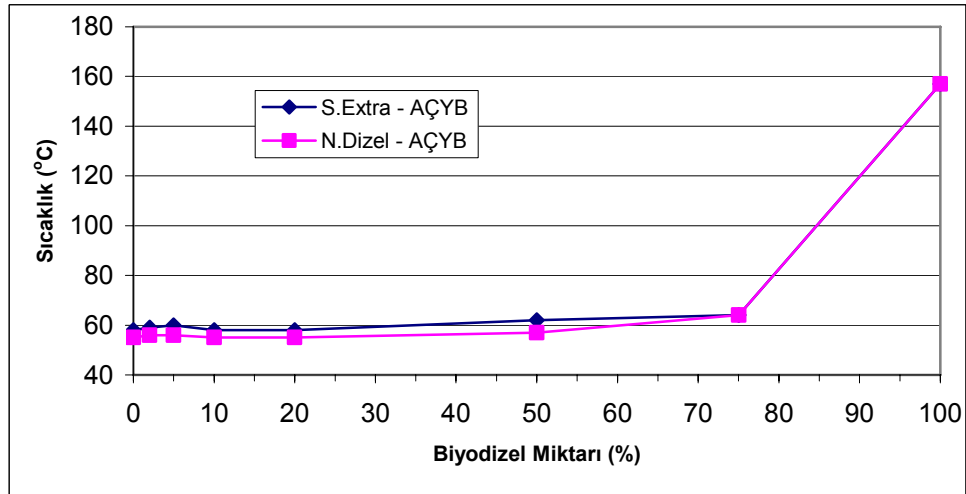
APYB ve dizel yakıt karışımlarının parlama noktalarının değişimleri Şekil 6.27'de görülmektedir. APYB-S.Extra karışımlarında, APYB'nin parlama noktasının dizel yakıtına oranla düşük olması, karışımdaki biyodizel miktarı arttıkça parlama noktasının düşmesine sebep olmuştur. APYB-N.Dizel karışımlarında ise beklenmedik bir şekilde %5 ve sonrası karışımlarda parlama noktası dizel yakıtının parlama noktasının altına düşmüştür. Literatürde yapılan bazı çalışmalarda biyodizel-dizel yakıt karışımlarında parlama noktası dizel yakıtının parlama noktasından daha düşük olarak belirlenmiştir. Schumacher ve ark. yaptıkları çalışmada [84], biyodizel ile dizel yakıtını karıştırıp dizel motorunda test etmişlerdir. Biyodizelin parlama noktası 141°C iken, dizel yakıtının parlama noktası 75°C olarak tespit edilmiştir. Ancak, %2 biyodizel içeren karışımda parlama noktası dizel yakıtının parlama noktasının altına düşmüş ve 63°C olmuştur.

AÇYB'nin parlama noktası 157°C olarak ölçülmüştür. Şekil 6.28'de görüldüğü gibi %20'ye kadar olan karışımlarda parlama noktası pek değişmemiştir. %50 biyodizel içeren karışımlarda S.Extra için parlama noktası 62°C, N.Dizel için 57°C olarak

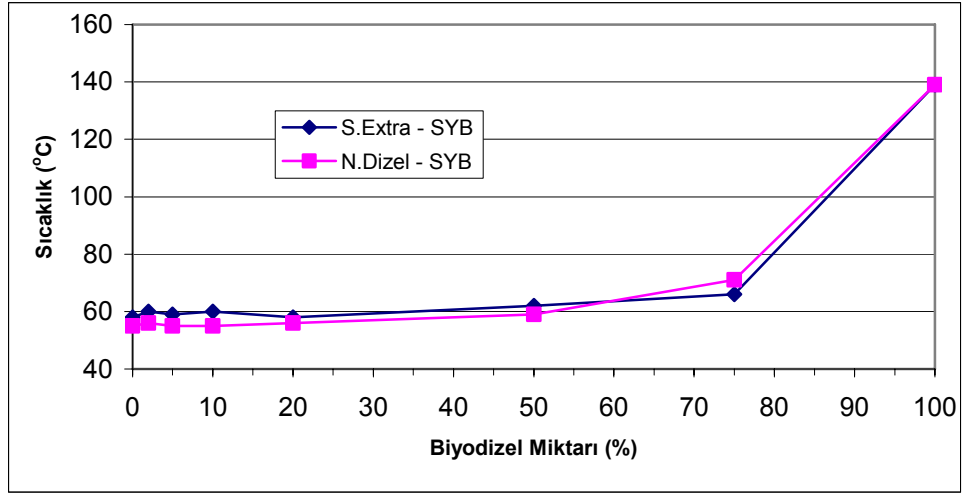
belirlenmiştir. %75 biyodizel içeren karışımda her iki dizel yakıtı için parlama noktası 64°C olmuştur. SYB'nin parlama noktası ise 139°C olarak ölçülmüştür. AÇYB'de olduğu gibi parlama noktası, SYB ve dizel yakıtları için %20'ye kadar biyodizel içeren karışımlarda pek değişmemiştir. %50 biyodizel içeren karışımlarda S.Extra ve N.Dizel için parlama noktaları sırasıyla 62°C ve 59°C olarak belirlenmiştir. %75 biyodizel içeren karışımlarda ise, S.Extra için parlama noktası 66°C, parlama noktası daha düşük olan N.Dizel ile olan karışımda 71°C olarak tespit edilmiştir (Şekil 6.29).



Şekil 6.27: APYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Parlama Noktalarının Değişimi

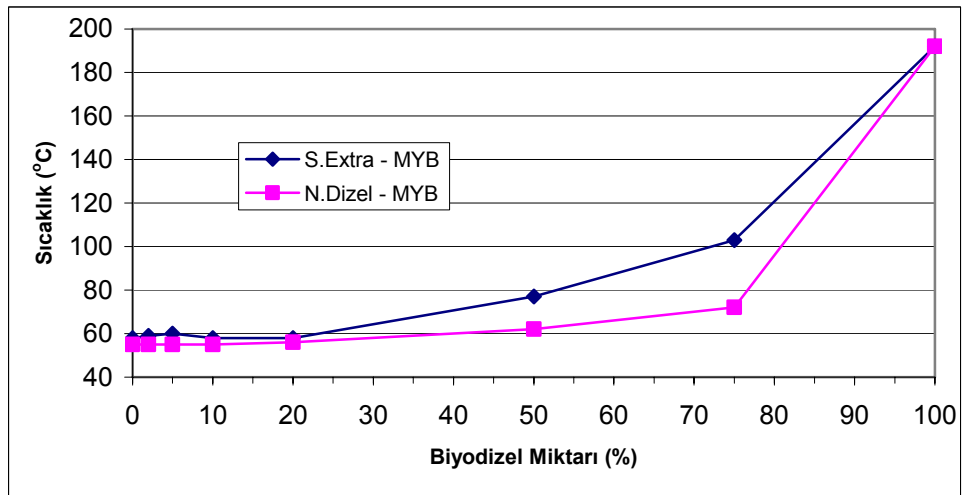


Şekil 6.28: AÇYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Parlama Noktalarının Değişimi



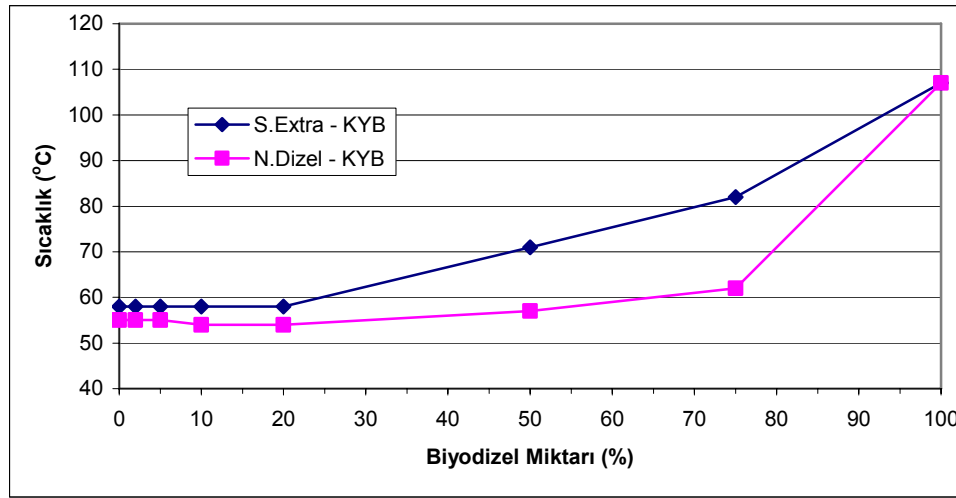
Şekil 6.29: SYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Parlama Noktalarının Değişimi

Üretilen biyodizeller arasında en yüksek parlama noktasına sahip olan biyodizel MYB'dir. MYB'nin parlama noktası 192°C olarak ölçülmüştür. MYB ve N.Dizel yakıtları için %10'a kadar olan karışımlarda parlama noktası değişmemiş, %20 biyodizel içeren karışımda ise 1°C artmıştır. MYB ve S.Extra karışımlarında ise sıcaklık pek değişmemiştir. %50 ve %75 biyodizel içeren karışımlarda ise parlama noktası belirgin şekilde yükselmiştir. %50 biyodizel içeren SYB-S.Extra karışımda parlama noktası 77°C, SYB-N.Dizel karışımında 62°C olarak ölçülmüştür. %75 biyodizel içeren karışımlar S.Extra ve N.Dizel için parlama noktaları sırasıyla 103°C ve 72°C olarak ölçülmüştür (Şekil 6.30).



Şekil 6.30: MYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Parlama Noktalarının Değişimi

KYB'nin parlama noktası 107°C olarak ölçülmüştür. Her iki dizel yakıtı için %20 biyodizel içeren karışımlara kadar parlama noktası fazla değişmemiştir. %50 ve %75 biyodizel içeren karışımlarda ise parlama noktası artmıştır. Bu artış S. Extra karışımlarında daha fazla gerçekleşmiştir. %50 biyodizel içeren karışımlarda S. Extra için parlama noktası 71°C, N.Dizel için 2°C artmış ve 57°C olarak ölçülmüştür. %75 biyodizel içeren karışımlarda S.Extra ve N.Dizel için parlama noktaları sırasıyla 82°C ve 62°C olarak ölçülmüştür (Şekil 6.31).

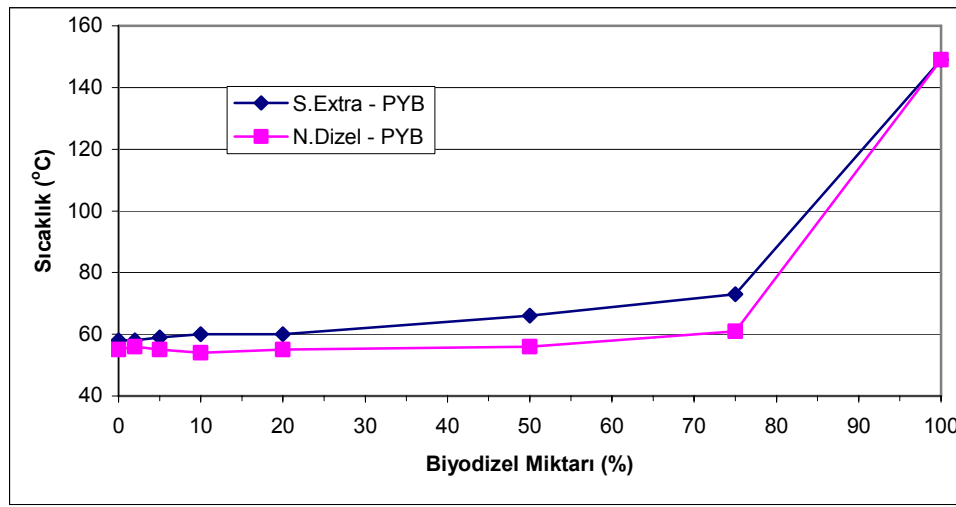


Şekil 6.31: KYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Parlama Noktalarının Değişimi

Şekil 6.32'de PYB-dizel yakıtları karışımlarının parlama noktaları görülmektedir. PYB'nin parlama noktası 149°C olarak tespit edilmiştir. PYB-S.Extra karışımları için parlama noktası %20 biyodizel içeren karışımda 2°C artarak 60°C olmuş, %50 karışımda 66°C ve %75 biyodizel içeren karışımda 73°C olarak ölçülmüştür. PYB-N.Dizel karışımlarında ise, %50 biyodizel içeren karışımda parlama noktası sadece 1°C artmıştır. %75 biyodizel içeren karışımda ise parlama noktası 6°C artarak 61°C olmuştur.

Biyodizellerin düşük İKN'lere sahip olmasının nedeni, genellikle metanol yada gliserinin esterden uzaklaştırılmamasından kaynaklanmaktadır [48]. Parlama noktası distilasyonun İKN ve SKN ile ilişkilidir [62]. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, genellikle biyodizellerin İKN'leri çok yüksektir. Bunun yanında bazı çalışmalarda da biyodizellerin İKN'leri 200°C'nin altındadır. İKN 200°C'den daha düşük, ancak parlama noktaları çok yüksek olan çalışmalar da mevcuttur. Encinar ve ark., yapmış oldukları çalışmada, ürettikleri biyodizellerin İKN'lerini 165-180°C

arasında belirlemiştir. Buna rağmen parlama noktaları 177-179°C arasındadır. Diğer yandan İKN düştükçe parlama noktası artmıştır [39]. Ali ve ark. [85], iç yağından ve soya yağından ürettikleri biyodizelleri etanol ile karıştırıp yakıt özelliklerini incelemiştir. Yaptıkları bu çalışmada, soya yağının İKN'si 220°C iken, metil esterinin İKN'si ise 265°C'dir. Metil esterin parlama noktası 127°C iken ham yağın parlama noktası 174°C'dir. Ayrıca, iç yağı metil ester, soya yağı metil ester ve %35 etanol içeren karışımda ilk kaynama noktası 175°C olarak belirlenmiştir. Buna rağmen parlama noktası ise 27°C'dir.



Şekil 6.32: PYB-Dizel Yakıtları Karışımlarının Parlama Noktalarının Değişimi

Yapılan bu çalışmada, APYB'den üretilen biyodizelin parlama noktası düşük olmasına rağmen İKN'si çok yüksek olarak tespit edilmiştir. Düşük parlama noktasına sebep olduğu düşülen metanol distilasyon sırasında İKN'sini değiştirmemiştir. Yapılan bu çalışmayla birlikte parlama noktasının değişimi ile distilasyon eğrilerinin değişiminin birbirine paralel olmadığı görülmüştür.

6.6. Toplam ve Serbest Gliserin Ölçüm Sonuçları

Biyodizel üretiminde kullanılan alkol miktarı, katalizör miktarı, reaksiyon sonunda elde edilen gliserin ve ester ağırlıkları ölçülmüştür. Tablo 6.4'de gösterildiği gibi, biyodizeller arasında en yüksek ürün dönüşümü, AÇYB'de elde edilmiştir.

Ürün dönüşümünün yanısıra ester dönüşümü reaksiyon tamlığını gösteren önemli bir parametredir. Atık yağ, ayçiçek, kanola ve soya metil esterleri için ester dönüşümleri ortalama %98 olarak belirlenmiştir. Ölçülen sonuçlara göre biyodizellerin toplam-serbest gliserin miktarları Avrupa ve Amerika biyodizel standartlarına uygundur. Atık yağdan üretilen biyodizelin ürün dönüşüm yüzdesi bitkisel yağlarınkine yakın olarak belirlenmiştir.

Biyodizel üretiminde yan ürün olarak gliserin elde edilmektedir. Gliserin, başta sabun olmak üzere 1500 çeşitten fazla üründe kullanılmaktadır. Genel olarak, ecza endüstrisinde merhem, diş macunu imalatında, kozmetikte, kumaş dokumada ve tütün endüstrisinde kullanılmaktadır. Gaz saati ve araba radyatörlerinde sulu çözelti içinde bir antifriz olarak kullanılıp, bir fren sıvısı olarak bilinmektedir. Gliserinin en önemli kullanıma alanlarından biri de patlayıcı madde endüstrisidir [86].

Tablo 6.4: Transesterifikasyon Reaksiyonu Sonuçları

Yağ	Ürün Eldesi (%)	Alkol ve Katalizör Miktarı (g)	Y.T.G	E.T.G	E.S.G	E.E.G (g)	G.Y (g/cm ³) 25°C	G.V (mm ² /s) 40°C
Atık Yağ	95,07	236,843	10,47	0,10	0,020	221,510	1,0340	17,07
Ayçiçek	96,59	229,150	9,78	0,09	0,016	211,592	1,0348	16,17
Kanola	95,51	209,930	10,74	0,11	0,020	201,812	1,0482	24,06
Soya	95,50	227,231	10,08	0,17	0,013	213,460	1,0356	16,47
Mısırözü	95,16	230,310	10,68	0,12	0,010	216,967	1,0318	15,59
Pamuk	95,58	231,653	10,91	0,11	0,019	213,349	1,0381	16,07

Y.T.G:Yağın Toplam Gliserini, E.T.G: Esterin toplam Gliserini, E.S.G: Esterin Serbest Gliserini, E.E.G: Elde Edilen Gliserin, G.Y:Gliserin Yoğunluk, G.V:Gliserin Viskozite

Gliserin saflığı transesterifikasyon prosesine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Elde edilen gliserinin saflığı %80-95 arasında değişmektedir [87]. Gliserinlerin yoğunluklarına bakıldığında, aralarında fazla fark olmadığı görülmektedir. Gliserinler arasında en büyük viskoziteye kanola metil esterinden ayrıştırılan gliserin sahiptir. Gliserin içinde bulunan artık alkol ve suyu almak için, gliserinler 100°C'de 1 saat ısıtılmıştır. Isıtma sonunda gliserinlerin ortalama %27-30'u buharlaşmıştır. Isıtılan gliserinlerin viskozitesinin ve yoğunluğunun artmış olduğu ve özelliklerinin saf gliserin özelliklerine yaklaştığı tespit edilmiştir.

7. ÖNERİLER

Dünyada enerji tüketiminin büyük kısmı fosil yakıtlarla karşılanmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı olması ve çevreye olan olumsuz etkileriyle birlikte yenilenebilir, çevre dostu alternatif yakıt arayışı içine girilmiştir. Türkiye’de motorin tüketimi benzin tüketiminden daha fazladır. Biyodizel, dizel motorları için kullanılabilir alternatif bir yakıttır. Üretimi ve kullanımı tüm dünyada hızla artmakta olan biyodizelin başlangıçta dizel yakıtı ile karıştırılarak kullanılması hedeflenmektedir. Dizel yakıtının içerisine biyodizel eklendiğinde yakıt özellikleri değişmektedir. Farklı yakıt özellikleri demek, farklı motor performans karakteristikleri anlamına gelmektedir. Bu yüzden dizel-biyodizel yakıt karışımlarının yakıt özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Biyodizel ve dizel yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerini bilmek, alternatif yakıtların dizel motorlarda kullanılabilirliğine ışık tutacaktır. Ayrıca biyodizel-dizel yakıt karışımlarının dizel motorlarında kullanımı için kabul edilebilir karışımları belirlemeye yardımcı olacaktır.

Bitkisel yağlar dizel motorlarda kullanılamayacak kadar pahalıdır. Bu durumda maliyeti çok daha az olan kullanılmış bitkisel yağlar ön plana çıkmaktadır. Kullanılmış yağların geri dönüştürülmeden atılması, çevreye büyük zararlar vermektedir. Atık yağların biyodizel üretiminde kullanılması hem çevreye olan zararı ortadan kaldıracak, hem de biyodizel üretiminde maliyeti düşürecektir. Bu yüzden atık yağların değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapılan bu çalışmada yemeklik olarak kullanılabilen bitkisel yağların yanısıra, kullanılmış bitkisel yağdan da biyodizel üretilmiştir. Üretilen biyodizellerin özellikleri belirlenerek birbirleriyle karşılaştırılmış, bunun yanında iki farklı dizel yakıtı ile karıştırılarak özelliklerinin değişimi incelenmiştir.

Yapılan ölçümlerde biyodizelin yoğunluğunun dizel yakıtlarının yoğunluğundan daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun yanında kullanılan dizel yakıtlarının yoğunluklarının da birbirinden farklı olduğu tespit edilmiştir. Biyodizelin

yoğunluğunun yüksek olması ile birlikte, oluşturulan karışımlarda karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça yoğunluk artmış ve bu artışın lineer olduğu belirlenmiştir.

Bilindiği üzere viskozite en önemli yakıt özelliklerinden biridir. Biyodizelin viskozitesi dizel yakıtlarına göre daha fazladır. Yüksek viskozite ile birlikte yakıtın püskürtülmesi için yakıt pompası tarafından verilecek enerji daha da artacaktır. Yüksek viskozite özellikle düşük sıcaklıklarda kendini daha fazla gösterecektir. Sıcaklık arttıkça viskozite azalmakta, sıcaklık azaldıkça da viskozite artmaktadır. Bu nedenle düşük sıcaklıklarda yakıt, yakıt filtresi ve yakıt hattında daha yavaş ilerlemesine sebep olacaktır. Bu da motor performansını etkileyecektir. Bu çalışmada kullanılan dizel yakıtlarının viskozitelerine bakıldığında N.Dizel'in viskozitesi S.Extra'ya göre daha düşüktür. Bu yüzden N.Dizel-biyodizel karışımlarında viskozite sonuçları daha düşük olarak belirlenmiştir. Bu da biyodizelin viskozitesini azaltmada, N.Dizel karışımlarında daha iyi sonuçlar elde edildiğini göstermektedir.

Akma noktası ölçümlerine göre, KYB hariç diğer biyodizellerin akma noktaları çok yüksektir. Özellikle APYB ve PYB'nin akma noktaları kabul edilemez durumdadır. Ancak soğuk akış özelliklerinin iyileştirici katkı maddeleri konulduktan sonra biyodizeller soğuk iklim şartlarında kullanılabilirlerdir. Bu aşamada katkı maddelerinin biyodizelin özelliklerini nasıl etkilediğinin incelenmesi gerekmektedir. Katkı maddelerinin yanı sıra biyodizel dizel yakıtı ile karıştırıldığında hem soğuk akış özellikleri, hem de diğer özellikleri iyileşmektedir. Bu da biyodizelin soğuk iklim şartlarında kullanılabilirliğini artıracaktır.

Distilasyon eğrileri açısından biyodizellerin ve dizel yakıtlarının farklı özellikler sergilediği görülmektedir. Biyodizellerin İKN'leri çok yüksektir. Buna rağmen dizel yakıtlarının İKN'leri biyodizele göre çok daha düşüktür. Distilasyon sıcaklıklarının yanı sıra, distilasyon sonrası oluşan artıklar belirlenmiştir. Karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça, artık miktarı azalmıştır. Bu nedenle geri kazanım artmıştır. Geri kazanımdaki bu miktarlar kullanılan dizel yakıtına göre de farklılık göstermiştir. N.Dizel'in geri kazanımı S.Extra'ya göre daha fazladır. Böylelikle N.Dizel-biyodizel karışımlarında geri kazanımlar daha yüksek olarak belirlenmiştir.

Biyodizelin en büyük avantajlarından biri de parlama noktasının yüksek olmasıdır. APYB hariç diğer biyodizellerin parlama noktalarının 100°C'nin üzerinde olduğu görülmüştür. APYB'nin parlama noktasının diğer biyodizellere göre daha düşük olmasına rağmen, dizel yakıtlarına yakın parlama noktası ile birlikte, kullanılmasında herhangi bir tehlike olmadığını söylemek mümkündür.

Tarım ülkesi olan ülkemizde, biyodizel öncelikli bir seçenektir. Kullanılan bitkisel yağların ülkemizde üretilebiliyor olması, kırsal kesimin ekonomik yapısının güçlenmesini sağlayacaktır. Kurulacak olan biyodizel tesisleriyle birlikte sadece tarım işçisi değil, oluşan iş alanında bir çok insan çalışma imkanı bulacaktır. Bunun yanında biyodizel üretilmesiyle birlikte, petrol nedeniyle dışa olan bağımlılık azalacaktır ve bu da ekonominin gelişmesine büyük katkıda bulunacaktır.

Biyodizel üretiminde elde edilen gliserinin birçok alanda kullanılabilmesi, ticari önemini göstermektedir. Transesterifikasyon sonucunda elde edilen gliserinin içerdiği alkol ayrıştırıldıktan sonra gliserinin saflık derecesi artırılabilir. Böylece biyodizel üretiminde ekstra bir kazanç sağlanabilir. Ancak gliserini saflaştırmak için kurulacak yapı, başlangıç maliyeti getirecektir.

Yapılan bu çalışmayla birlikte biyodizelin yakıt özelliklerinin dizel yakıtlarına benzediği bir kez daha görülmüştür. Biyodizel-dizel yakıt karışımlarında ise, yakıt özellikleri karışımlarda farklılık göstermiştir. Ancak %20'ye kadar olan karışımlarda, karışımın özelliği dizel yakıtının özelliğine nazaran pek değişmemiştir. Bu yüzden %20'ye kadar biyodizel içeren karışımların, dizel motorlarında rahatlıkla kullanılabilmesi söylenebilir.

Biyodizelin içerisindeki alkol miktarı parlama noktasına etki eden önemli bir özelliktir. İleriki araştırmalarda, biyodizelin içerisinde bulunan alkol miktarı belirlenerek parlama noktasına etkisi incelenmelidir. Bunun yanısıra, üretilen biyodizellerin yağ asidi dağılımları belirlenerek yakıt özelliklerine etkisi araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Vogel, C., "Coals Role in Electrical Power Generation: Will it Remain Competitive", *The Proceedings of The Technical Conferance on Coal Utilization and Fuel Systems, Coal and Slurry Technology Association*, 13-24 (1999).
- [2] Enerji ve Çevre Komisyonu Özet Raporu, *Türkiye 1. Enerji Şurası*, 9. Alt Komisyon, İstanbul (1998).
- [3] <http://www.gezeganimiz.com> (**Ziyaret Tarihi: 07.11.2005**).
- [4] Çubuk, H. M., Heperkan, H. A., "Kömür Yakma Sistemlerinde SO₂ Emisyon Etkisinin Yakma Şartlarında Değerlendirilmesi", *6. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, İstanbul (2000).
- [5] Öztürk, M., 2006, "Bitkisel ve Hayvansal Atık Yağdan Biyodizel Üretimi", Çevre ve Orman Bakanlığı, <http://www.cevreorman.com.tr>, Ankara (**Ziyaret Tarihi: 20.10.2006**).
- [6] Ulusoy, Y., Alibaş K., "Using Various Vegetable Oil as Alternative Fuel in Diesel Engine", *7th International Concrress on Agricultural Mechanization and Energy*, 26-27, Adana (1999).
- [7] Atılğan, İ., "Türkiye'nin Enerji Potansiyeline Bakış", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 15 (1), 31-47 (2000).
- [8] <http://www.pogas.com.tr> (**Ziyaret Tarihi: 20.04.2006**).
- [9] <http://www.eie.gov.tr> (**Ziyaret Tarihi: 10.01.2006**).
- [10] Goering, C. E., Schwab, A. W., Dangherty, M. J., Pryde, E. H. and Heakin, A. J., "Fuel Properties of Eleven Vegetable Oils", *Trans. of ASAE*, 25(6), 1472-1477 (1982).
- [11] Humke, A. L., Barsic, N. J., "Performance and Emissions Characteristics of a Naturally Aspirated Diesel Engine with Vegetable Oil Fuels", *SAE paper* 810955, 25-35 (1981).
- [12] Mazed, M. A., Summers, J. D., Batchelder, D. G., "Peanut, Soybean and Cottonseed Oil as a Diesel Fuel", *Trans. of ASAE*, 28 (5), 1375-1377 (1985).
- [13] Lague, C. M., Lo, K. V. and Staley, L. M., "Waste Vegetable Oil as a Diesel Fuel Extender", *Canadian Agricultural Engineering*, 30, 27-32 (1987).

- [14] Cıgızoğlu, K. B, Özaktaş, T., Karaosmanoğlu, F., “Used Sunflower Oil as an Alternative fuel for Diesel Engine”, *Energy Sources*, 19, 559-566 (1997).
- [15] Demirsoy, M., Kındırgıoğlu, K., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Değişik Yağların Kullanılması”, *1. Uluslararası Katılımlı Otomotiv Teknoloji Kongresi*, Adana (1997).
- [16] Walton, J., *Gas&Oil Power*, sayfa 167 (1938).
- [17] Yücesu, H. S., Altın, R., Çetinkaya, S., “Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi”, *Turkish J. Engin. Environ. Sci.*, 25, 39-49 (2001).
- [18] Freedman, B., Pryde, E. H., Mounts, T. L., “Variables Affecting the Yields of Fatty Ester from Transesterified Vegetable Oils”, *JAOCs*, 61 (10), 1638-1643 (1984).
- [19] Sims, R. E. H., “Tallow Esters as an Alternative Diesel Fuel”, *Trans. of ASAE*, 28 (3), 716-721 (1985).
- [20] Alfuso, S., Auriemma, M., Police, G., Proti, M. V., “The Effect of Methyl Ester of Rapeseed Oil on Combustion and Emissions of DI Diesel Engines”, *SAE paper* 932801, 1-9 (1993).
- [21] Işığıgür, A., Karaosmanoğlu, F., Aksoy, H. A., Hamdullahpur, F., and Gülder, Ö. L., “Performance and Emissions Characteristics of a Diesel Engine Operating on Safflower Seed Oil Methyl Ester”, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 45/46, 93-101 (1994).
- [22] Peterson, C. L., Reece, D. L., Beck, S. M., “Processing, Characterization & Performance of Eight Fuels from Lipids”, *ASAE Meeting Presentation, paper no* 946531 (1994).
- [23] Ali, Y., Hanna, M. A., “Physical properties of Tallow Ester and Diesel Fuel Blends”, *Bioresource Technology*, 47, 131-134 (1994).
- [24] Muniyappa, P. R., Brammer, S. C., Nouredini, H., “Improved Conversion of Plant Oils and Animal Fats into Biodiesel and Co-Product”, *Bioresource Technology*, 56, 19-24 (1996).

- [25] Graboski, M. S., Ross, J. D. and McCormick, R. L., “Transient Emissions from No. 2 Diesel and Biodiesel Blends in a DDC Series 60 Engine”, *SAE paper* 961166, 55-62 (1996).
- [26] Karaosmanoğlu, F., Cıgızoğlu, M. T., Tüter, M., Ertekin, S., “Investigation of the Refining Step of Biodiesel Production”, *Energy&Fuels*, 10, 890-895 (1996).
- [27] Schumacher, L. G., Wetherell, W., Fischer, J. A., “Cold Flow Properties of Biodiesel and Its Blends with Diesel Fuel”, *ASAE Meeting Presentation*, 996133 (1999).
- [28] Canakci, M., Van Gerpen J. H., “Biodiesel Production Via Acid Catalysis”, *Trans. of ASAE*, 42 (5), 1203-1210 (1999).
- [29] Tat, M. E., Van Gerpen, J. H., “The Kinematic Viscosity of Biodiesel and Its Blends with Diesel Fuels”, *JAOCs*, 76 (12), 1511-1513 (1999).
- [30] Tat, M. E., Van Gerpen, J. H., “The Specific Gravity of Biodiesel and Its Blends with Diesel Fuels”, *JAOCs*, 77 (2), 115-119 (2000).
- [31] Kinast, A. J., “Production of Biodiesels from Multiple Feedstocks and Properties of Biodiesels and Biodiesel-Diesel Blends”, *National Renewable Energy Laboratory, Final Report*, Des Plaines (2001).
- [32] Canakci, M., Van Gerpen J., “Biodiesel Production from Oils and Fats with High Free Fatty Acids”, *Trans. of ASAE*, 44 (6), 1429-1436 (2001).
- [33] Ulusoy, Y., Alibaş, K., “Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Yönden İncelenmesi”, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fak. Dergisi*, 16, 37-50 (2002).
- [34] Kalam, M. A., Masjuki, H. H., “Biodiesel from Palm Oil - an Analysis of Its Properties and Potential”, *Biomass & Bioenergy*, 23, 471-479 (2002).
- [35] Çetinkaya, M., Karaosmanoğlu, F., “Optimization of Base-Catalyzed Transesterification Reaction of Used Cooking Oil”, *Energy&Fuels*, 18, 1888-1895 (2004).
- [36] Şanlı, H., “Farklı Alkol ve Katalizör Kullanımının Biyodizel Üretimindeki Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli (2005).

- [37] Lee, C. S., Park, S. W., Kwon, S. I., “An Experimental Study on the Atomization and Combustion Characteristics of Biodiesel-Blended Fuels”, *Energy&Fuels*, 19, 2201-2208 (2005).
- [38] Özkan, M., Ergenç, T. A., Deniz, O., “Experimental Analysis of Biodiesel, Traditional Diesel and Biodiesel with Glycerin”, *Turkish J. Engin. Environ. Sci.*, 29, 89-94 (2005).
- [39] Encinar, J. M., Gonzalez, J. F. and Rodriquez-Reinares, A., “Biodiesel from Used Frying Oil Variables Affecting the Yields and Characteristics of the Biodiesel”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 44, 5491–5499 (2005).
- [40] Yamık, H., İçingür, Y., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Etil Esterin Kullanımı”, *G. Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 18(3), 545-553 (2005).
- [41] Caringal, W. V., “Process Development and Economic Analysis of Rapeseed Methyl Ester”, Master of Science, *University of Idaho* (1989).
- [42] Vellguth, G., “Performance of Vegetable Oils and Their Monoesters as Fuels for Diesel Engines”, *SAE paper* 831358 (1983).
- [43] Peterson, C. L., “Vegetable Oils as a Diesel Fuel: Status and Research Priorities”, *Trans. of ASAE*, 29(5), 1413-1422 (1986).
- [44] Peterson, C. L., Wagner, G. L., Auld, D. L., “Vegetable Oils Substitutes for Diesel Fuel”, *Trans. of ASAE*, 322-327 (1983).
- [45] Considine, D. M., “Chemical and Process Technology Encyclopaedia”, *McGraw-Hill Book Co.*, 1132 (1974).
- [46] Canakci, M., Monyem, A., Gerpen, J. V., “Accelerated Oxidation Processes in Biodiesel”, *Trans. of ASAE*, 42 (6), 1565-1572 (1999).
- [47] Gerpen, J. V., Hammond, E. G., Yu, L., Monyem, A., “Determining the Influence of Contaminants on Biodiesel Properties”, *SAE Paper* 971685 (1997).
- [48] Graboski, M. S. and McCormik, R. L., “Combustion of Fat and Vegetable Oil Derived Fuels in Diesel Engines”, *Prog. Energy Combust. Sci.*, 24, 125-164 (1998).
- [49] http://www.ybiofuels.org/bio_fuels/history_biofuels.html (**Ziyaret Tarihi: 20.12.2005**).

- [50] Goering, C. E., Schrock, M. D., Kaufman, K. R., Hanna, M. A., Haris, F. D., and Marley, S. J., "Evaluation of Vegetable Oil Fuels In Engines", *Trans. of ASAE* 87-1586 (1987).
- [51] Canakci, M., "Production of Biodiesel from Feedstocks with High Free Fatty Acids and its Effect on Diesel Engine Performance and Emissions", Ph.D. Dissertation, *Iowa State University* (2001).
- [52] Tomasevic, A. V., Marinkovic, S. S., "Methanolysis of Used Frying Oil", *Fuel Processing Technology*, 81, 1-6 (2003).
- [53] Al-Kahtani, A. H., "Survey of Quality of Used Frying Oils from Restaurants", *JAOCS*, 68 (11), (1991).
- [54] Tyagi, V. K., Vasishtha, A. K., "Changes in the Characteristics and Composition of Oils during Deep-Fat Frying", *JAOCS*, 73 (4), (1996).
- [55] Howell, S., "U.S. Biodiesel Standards – An Update of Current Activities" *SAE Paper* 971687 (1997).
- [56] Canakci, M., Van Gerpen J. H., "Comparison of Engine Performance and Emissions for Petroleum Diesel Fuel, Yellow Grease Biodiesel and Soybean Oil Biodiesel", *Trans. of ASAE*, 46 (4), 937-944 (2003).
- [57] Monyem, A., Van Gerpen, J. H., "The Effect of Timing and Oxidation on Emissions from Biodiesel Fueled Engines", *Trans. of ASAE*, 44 (1), 35-42 (2001).
- [58] Boehman, L. A., "Biodiesel Production and Processing", *Fuel Processing Technology*, 86, 1057-1058 (2005).
- [59] Hu, J., Du, Z., Li, C., Min, E., "Study On the Lubrication Properties of Biodiesel As Fuel Lubricity Enhancers", *Fuel*, 84, 1601-1606 (2005).
- [60] Karaosmanoğlu, F., "Türkiye İçin Çevre Dostu Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı: Biyomotorin", *Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi, ICCI Özel Sayısı*, 50-56, İstanbul (2002).
- [61] Kerschbaum, S., Rinke, G., "Measurement of the Temperature Dependent Viscosity of Biodiesel Fuels", *Fuel*, 83, 287-291 (2003).
- [62] Owen, K., and Coley, T., "Automotive Fuels Reference Book", *Society of Automotive Engineers*, Second Edition (1995).

- [63] Monyem, A., Canakci, M., Van Gerpen, J., “Investigation of Biodiesel Thermal Stability under Simulated In-Use Conditions”, *Applied Engineering in Agriculture*, 16 (4), 373-378 (2000).
- [64] http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/BDSpec.PDF (**Ziyaret Tarihi: 11.04.2006**).
- [65] <http://www.biofuels.arc.ab.ca/Biofuels/Specifications/EN+14214+2003/Default.ksi> (**Ziyaret Tarihi: 11.04.2006**)
- [66] Tyson, S. K., “Biodiesel Handling and Use Guidelines”, *NREL Report*, (2001).
- [67] <http://www.biodieselturk.org> (**Ziyaret Tarihi: 20.04.06**).
- [68] Durgun, M., “Çevre Dostu Biyodizel Üretiminde Santrifüj Uygulamaları”, *V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 26-28 Mayıs, İstanbul (2004).
- [69] <http://www.sabah.com.tr/2005/12/01/eko127.html> (**Ziyaret Tarihi: 01.12.2005**)
- [70] <http://www.aksam.com.tr/haber.asp> (**Ziyaret Tarihi: 21.04.2006**).
- [71] <http://www.haberx.com/n/233424/biyodizel-ureticilerine-lisans-zorunlulugu.htm> (**Ziyaret Tarihi: 08.01.2006**).
- [72] <http://www.referansgazetesi.com/haber.asp> (**Ziyaret Tarihi: 01.04.2006**).
- [73] www.ren21.net, “Renewable Energy Policy Network for the 21st Century”, *Global Status Report* (**Ziyaret Tarihi: 25.04.2005**).
- [74] <http://www.ebb-eu.org/stats.php> (**Ziyaret Tarihi: 28.04.2006**).
- [75] J.P Selecta s.a. Scientific Equipment Catalogue (2003-2005).
- [76] http://journeytoforever.org/biodiesel_meth.html (**Ziyaret Tarihi: 10.10.2005**)
- [77] Schwab, A. W., Bagby, M. O., Freedman, B., “Preparation and Properties of Diesel Fuels from Vegetable Oils”, *Fuel*, 66, 1372-1378 (1987).
- [78] Bahadur, N. P., Boocock, D. G. B., Konar, S. K., “Liquid Hydrocarbons from Catalytic Pyrolysis of Sewage Sludge Lipid and Canola Oil : Evaluation of Fuel Properties”, *Energy& Fuels*, 9, 248-256 (1995).

[79] Heywood, J. B., "Internal Combustion Engines Fundamentals", *McGraw Hill Book Company*, New York (1988).

[80] Şahin, Z., Durgun, O., "Dizel Motorlarında Yanma Olayı ve Püskürtülen Yakıt Demeti Karakteristiklerinin İncelenmesi", *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, 159-166, 3-4 Ekim, Kayseri (2003).

[81] Sarma, A. K., Konwer, D., Bordoloi, P. K., "A Comprehensive Analysis of Fuel Properties of Biodiesel from Koroch Seed Oil", *Energy&Fuels*, 19, 656-657 (2005).

[82] Felizardo, P., Correia, M. J. N., Raposo, I., Mendes, J. F., Berkemeier, R., Bordado, J. M., "Production of Biodiesel from Waste Frying Oils", *Waste Management*, 26, 487-494 (2006).

[83] Gerpen, V. G., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D. and Knothe, G., "Biodiesel Production Technology", *National Renewable Energy Laboratory Report*, Golden (2004).

[84] Schumacher, L. G., Soylu, S., Gerpen, J. V., Wetherell, W., "Fueling Direct Injected diesel Engines with 2% Biodiesel Blend", *ASAE Meeting Presentation*, 986084 (1998).

[85] Ali, Y., Hanna, M. A., Cuppett, S. L., "Fuel properties of tallow and soybean oil esters", *JAACS*, 72 (12), 1557-1564 (1995).

[86] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Alkoller> (**Ziyaret Tarihi: 14.06.2006**)

[87] Bournay, L., Casaneve, D., Delfort, B., Hillion, G., Chodorge, J. A., "New Heterogeneous Process for Biodiesel Production: A way to Improve the Quality and the Value of the Crude Glycerin Produced by Biodiesel Plants", *Catalysis Today*, 106, 190-192 (2005).

S.Extra – Biyodizel Karışımları							N.Dizel – Biyodizel Karışımları						
Biyodizel Miktarı (%)	APYB	AÇYB	SYB	MYB	KYB	PYB	Biyodizel Miktarı (%)	APYB	AÇYB	SYB	MYB	KYB	PYB
100	0,8746	0,8840	0,8845	0,8840	0,8828	0,8836	100	0,8746	0,8840	0,8845	0,8840	0,8828	0,8836
75	0,8665	0,8739	0,8740	0,8735	0,8725	0,8727	75	0,8658	0,8722	0,8724	0,8721	0,8706	0,8717
50	0,8585	0,8632	0,8634	0,8634	0,8623	0,8628	50	0,8562	0,8607	0,8604	0,8604	0,8592	0,8599
20	0,8486	0,8503	0,8503	0,8506	0,8505	0,8505	20	0,8462	0,8472	0,8465	0,8470	0,8460	0,8466
10	0,8456	0,8468	0,8464	0,8466	0,8467	0,8469	10	0,8410	0,8424	0,8419	0,8416	0,8420	0,8418
5	0,8440	0,8448	0,8448	0,8446	0,8446	0,8449	5	0,8392	0,8393	0,8398	0,8392	0,8388	0,8395
2	0,8430	0,8436	0,8434	0,8434	0,8428	0,8439	2	0,8386	0,8379	0,8382	0,8382	0,8376	0,8383
0	0,8424	0,8424	0,8424	0,8424	0,8424	0,8424	0	0,8368	0,8368	0,8368	0,8368	0,8368	0,8368

Ek 1-A. Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Yoğunlukları (g/cm³)

S.Extra – Biyodizel Karışımları							N.Dizel – Biyodizel Karışımları						
Biyodizel Miktarı (%)	APYB	AÇYB	SYB	MYB	KYB	PYB	Biyodizel Miktarı (%)	APYB	AÇYB	SYB	MYB	KYB	PYB
100	4,2802	4,0303	3,9713	4,1769	4,3401	4,0568	100	4,2802	4,0303	3,9713	4,1769	4,3401	4,0568
75	4,0717	3,7926	3,7786	3,9091	4,0318	3,8250	75	3,8518	3,7003	3,5620	3,7226	3,8735	3,6489
50	3,8068	3,6346	3,6105	3,7219	3,8011	3,6489	50	3,4089	3,2957	3,2453	3,3371	3,4233	3,3051
20	3,5631	3,5069	3,4834	3,5036	3,5205	3,5082	20	2,9432	2,9362	2,8826	2,9253	2,9906	2,9619
10	3,4918	3,4632	3,4589	3,4766	3,4811	3,4594	10	2,8034	2,7886	2,7899	2,8188	2,8108	2,7887
5	3,4587	3,4452	3,4422	3,4612	3,4530	3,4491	5	2,7837	2,7626	2,7508	2,7763	2,7782	2,7592
2	3,4501	3,4322	3,4315	3,4589	3,4368	3,4384	2	2,7404	2,7456	2,7335	2,7455	2,7390	2,7379
0	3,4301	3,4301	3,4301	3,4301	3,4301	3,4301	0	2,7109	2,7109	2,7109	2,7109	2,7109	2,7109

Ek 1-B. Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Viskoziteleri (mm²/s)

Ek 1-C. APYB-S.Extra Yakıt Karışımlarının Distilasyon Sıcaklık Değerleri (°C)

Distilasyon	APYB	B75	B50	B20	B10	B5	B2	S.Extra
İKN	336	261	227	224	226	217	204	210
5	339	297	264	254	244	247	229	215
10	340	313	282	260	256	253	245	239
15	341	322	294	267	265	261	258	254
20	341	328	305	278	272	269	268	262
25	341	332	313	285	279	274	273	270
30	341	334	318	294	288	281	280	278
35	341	336	324	301	295	288	287	285
40	342	338	328	308	301	297	296	292
45	342	339	330	314	308	303	301	299
50	343	340	335	320	314	310	310	305
55	343	342	338	325	319	315	314	311
60	344	343	341	331	326	322	321	318
65	344	345	343	336	332	329	327	325
70	345	346	345	341	339	336	335	332
75	346	347	347	346	344	344	342	339
80	347	349	350	351	350	353	350	348
85	349	351	354	356	361	362	363	359
90	351	355	360	367	370	373	377	372
95	360	369	377	378	-	-	-	-
SKN	370	370	380	388	401	399	400	405
Geri Kazanım (%)	99,1	97,9	96,7	95,9	95,7	94,6	94,7	95,2
Artık	0,3	0,8	1,3	1,6	1,7	1,6	1,5	1,9
Kayıp	0,6	1,3	2,0	2,5	2,6	3,8	3,8	2,9

Ek 1-D. AÇYB-S.Extra Yaktı Karışımlarının Distilasyon Sıcaklık Değerleri (°C)

Distilasyon	AÇYB	B75	B50	B20	B10	B5	B2	S.Extra
İKN	340	279	256	250	227	212	208	210
5	347	306	264	257	252	244	233	215
10	350	318	289	261	257	256	249	239
15	351	326	299	270	264	263	259	254
20	351	333	310	278	272	270	263	262
25	351	338	318	286	278	275	271	270
30	351	341	324	295	286	284	281	278
35	351	344	331	303	293	290	288	285
40	352	346	334	310	300	296	295	292
45	352	348	338	316	306	304	302	299
50	352	349	342	322	313	311	307	305
55	352	350	345	329	321	319	314	311
60	352	351	347	334	325	323	321	318
65	353	352	349	339	333	332	328	325
70	353	353	351	344	338	337	335	332
75	354	354	353	349	345	345	343	339
80	355	356	355	354	353	354	352	348
85	356	358	359	360	360	365	363	359
90	358	361	365	370	371	379	377	372
95	377	370	379	-	-	-	-	-
SKN	384	383	383	394	397	402	399	405
Geri Kazanım (%)	99,0	99,0	96,3	95,7	94,8	94,5	95,1	95,2
Artık	0,2	0,4	0,7	1,4	1,5	1,4	2,1	1,9
Kayıp	0,8	0,6	3,0	2,9	3,7	4,1	2,8	2,9

Ek 1-E. SYB-S.Extra Yaktı Karışımlarının Distilasyon Sıcaklık Değerleri (°C)

Distilasyon	SYB	B75	B50	B20	B10	B5	B2	S.Extra
İKN	338	282	255	250	248	225	213	210
5	347	310	264	259	251	248	223	215
10	348	321	289	262	256	256	243	239
15	349	329	300	269	261	262	254	254
20	349	334	309	276	269	270	262	262
25	349	338	315	284	276	278	269	270
30	349	341	322	295	285	285	275	278
35	350	343	329	302	289	291	283	285
40	350	345	334	311	298	298	291	292
45	350	347	337	316	306	305	297	299
50	350	347	341	323	311	311	302	305
55	351	349	344	328	319	320	307	311
60	351	350	346	334	324	326	314	318
65	351	351	348	339	330	332	321	325
70	352	352	350	344	335	341	328	332
75	353	353	352	349	341	345	335	339
80	353	355	355	354	349	354	344	348
85	354	357	358	360	358	363	353	359
90	357	360	363	369	367	375	366	372
95	371	372	380	386	379	381	376	-
SKN	380	380	384	393	399	400	404	405
Geri Kazanım (%)	99,1	99,1	96,6	96,0	96,3	95,9	96,0	95,2
Artık	0,2	0,3	0,8	1,5	1,4	1,7	2,4	1,9
Kayıp	0,7	0,6	2,6	2,5	2,3	2,4	1,6	2,9

Ek 1-F. MYB-S.Extra Yakıt Karışımlarının Distilasyon Sıcaklık Değerleri (°C)

Distilasyon	MYB	B75	B50	B20	B10	B5	B2	S. Extra
İKN	347	279	269	241	243	219	236	210
5	349	311	283	258	248	248	247	215
10	350	320	291	263	255	252	252	239
15	350	328	298	268	263	259	257	254
20	351	334	308	277	271	267	263	262
25	351	338	315	286	280	275	268	270
30	351	341	320	294	287	280	277	278
35	351	343	328	303	295	289	283	285
40	351	345	334	309	302	294	293	292
45	351	347	337	316	309	303	299	299
50	352	348	341	322	315	310	306	305
55	352	349	343	328	320	318	313	311
60	352	351	346	334	327	324	319	318
65	352	352	348	338	334	331	326	325
70	353	353	350	344	340	336	333	332
75	354	354	352	349	345	344	340	339
80	355	356	355	355	351	353	349	348
85	356	358	358	361	361	362	358	359
90	358	363	363	371	373	375	373	372
95	360	378	380	-	-	-	-	-
SKN	376	381	391	392	399	404	400	405
Geri Kazanım (%)	99,5	97,9	96,8	94,9	94,8	94,5	94,6	95,2
Artık	0,1	0,1	0,7	1,7	1,4	1,5	1,7	1,9
Kayıp	0,4	2,0	2,5	3,4	3,8	4,0	3,7	2,9

Ek 1-G. KYB-S.Extra Yakıt Karışımlarının Distilasyon Sıcaklık Değerleri (°C)

Distilasyon	KYB	B75	B50	B20	B10	B5	B2	S.Extra
İKN	336	270	259	236	236	234	208	210
5	348	295	270	251	245	248	247	215
10	350	319	277	256	255	255	251	239
15	351	324	296	265	264	259	257	254
20	352	333	304	275	272	266	265	262
25	352	338	313	283	279	274	274	270
30	352	342	321	292	286	280	280	278
35	352	344	329	301	295	286	288	285
40	352	347	334	309	303	295	295	292
45	352	348	338	315	310	304	302	299
50	352	349	341	322	316	310	310	305
55	353	351	345	328	322	316	316	311
60	353	352	347	334	329	322	322	318
65	353	353	350	339	334	330	329	325
70	353	354	352	345	340	337	337	332
75	354	356	355	350	347	345	346	339
80	356	357	357	355	353	354	354	348
85	357	359	359	361	362	361	366	359
90	359	365	366	369	374	375	374	372
95	374	378	376	387	-	-	-	-
SKN	382	380	388	393	400	401	402	405
Geri Kazanım (%)	99,5	98,3	96,4	96,0	95,1	95,0	94,9	95,2
Artık	0,3	0,1	0,6	1,5	1,6	1,6	1,5	1,9
Kayıp	0,2	1,6	3,0	2,5	3,3	3,4	3,6	2,9

Ek 1-H. PYB-S.Extra Yakıt Karışımlarının Distilasyon Sıcaklık Değerleri (°C)

Distilasyon	PYB	B75	B50	B20	B10	B5	B2	S.Extra
İKN	344	277	252	227	221	215	209	210
5	345	301	264	241	247	248	242	215
10	347	318	287	260	253	254	250	239
15	347	327	293	267	262	258	253	254
20	347	333	308	275	269	265	262	262
25	347	337	315	282	276	272	271	270
30	347	342	319	293	284	279	280	278
35	347	343	327	300	293	288	288	285
40	347	345	332	308	301	298	294	292
45	347	347	335	315	308	305	301	299
50	347	348	339	323	313	311	307	305
55	348	349	342	329	320	316	315	311
60	348	351	344	333	327	323	322	318
65	349	352	346	338	333	331	330	325
70	350	354	348	344	339	337	336	332
75	351	355	350	349	345	346	345	339
80	352	357	353	355	352	353	351	348
85	355	358	358	360	359	360	360	359
90	359	364	363	370	370	371	372	372
95	378	381	381	-	-	-	-	-
SKN	379	384	386	392	397	401	401	405
Geri Kazanım (%)	98,9	97,2	96,7	95,8	95,1	95,2	95,0	95,2
Artık	0,3	0,2	0,8	1,5	1,7	1,5	1,5	1,9
Kayıp	0,8	2,6	2,5	2,7	3,2	3,3	3,5	2,9

Ek 1-I. APYB-N.Dizel Yakıt Karışımlarının Distilasyon Sıcaklık Değerleri (°C)

Distilasyon	APYB	B75	B50	B20	B10	B5	B2	N.Dizel
İKN	336	238	229	221	199	212	201	195
5	339	292	265	239	238	233	234	217
10	340	303	272	244	240	237	237	228
15	341	311	280	253	244	238	240	240
20	341	318	290	261	249	246	247	247
25	341	325	298	269	256	254	253	251
30	341	332	309	276	264	259	258	256
35	341	335	315	282	270	266	266	263
40	342	337	323	291	277	273	271	270
45	342	339	327	296	285	279	278	276
50	343	340	331	304	292	286	284	283
55	343	342	334	311	300	293	291	289
60	344	344	338	316	307	300	297	296
65	344	346	340	324	314	307	304	304
70	345	348	344	330	322	314	311	311
75	346	348	347	335	328	322	320	319
80	347	350	348	341	335	330	327	328
85	349	351	350	346	342	339	335	337
90	351	354	354	354	352	350	347	350
95	360	358	365	365	366	365	363	370
SKN	370	367	368	368	369	371	373	372
Geri Kazanım (%)	99,1	98,5	98,9	97,6	97,8	98,3	97,8	96,5
Artık	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	1,4
Kayıp	0,6	1,3	0,9	2,1	1,8	1,3	1,7	2,1

Ek 1-J. AÇYB-N.Dizel Yakıt Karışımlarının Distilasyon Sıcaklık Değerleri (°C)

Distilasyon	AÇYB	B75	B50	B20	B10	B5	B2	N.Dizel
İKN	340	255	245	238	217	213	203	195
5	347	283	266	241	240	234	233	217
10	350	308	275	245	241	238	235	228
15	351	319	280	252	247	240	241	240
20	351	327	288	260	253	245	247	247
25	351	334	302	269	261	252	253	251
30	351	340	310	275	267	259	259	256
35	351	343	318	282	275	266	265	263
40	352	345	326	290	282	272	271	270
45	352	347	330	296	288	280	277	276
50	352	348	334	304	294	286	284	283
55	352	349	338	312	302	293	290	289
60	352	350	341	319	309	301	297	296
65	353	351	345	327	316	307	305	304
70	353	352	349	333	324	314	312	311
75	354	353	351	338	331	323	319	319
80	355	355	352	343	338	332	328	328
85	356	357	355	349	344	339	336	337
90	358	363	358	355	355	351	348	350
95	377	381	374	364	370	366	363	370
SKN	384	382	376	370	372	370	373	372
Geri Kazanım (%)	99,0	98,0	97,9	97,6	97,2	97,4	96,9	96,5
Artık	0,2	0,5	0,7	1,3	1,4	1,4	1,6	1,4
Kayıp	0,8	1,5	1,4	1,1	1,4	1,2	1,5	2,1

Ek 1-K. SYB-N.Dizel Yakıt Karışımlarının Distilasyon Sıcaklık Değerleri (°C)

Distilasyon	SYB	B75	B50	B20	B10	B5	B2	N.Dizel
İKN	338	261	246	230	225	216	196	195
5	347	295	263	242	239	234	234	217
10	348	308	267	244	241	236	236	228
15	349	317	282	251	245	240	241	240
20	349	327	287	259	251	247	247	247
25	349	332	303	266	259	255	253	251
30	349	337	311	274	265	262	258	256
35	350	341	318	281	273	268	264	263
40	350	343	325	289	280	275	269	270
45	350	345	331	295	287	281	277	276
50	350	347	335	303	293	288	284	283
55	351	348	339	310	301	296	290	289
60	351	349	342	318	308	301	296	296
65	351	350	345	326	315	309	305	304
70	352	351	347	331	323	317	311	311
75	353	352	349	338	330	324	320	319
80	353	353	351	342	337	332	328	328
85	354	355	353	349	344	341	336	337
90	357	359	357	354	353	351	348	350
95	371	377	367	363	367	368	362	370
SKN	380	381	379	372	373	373	373	372
Geri Kazanım (%)	99,1	98,4	98,1	97,2	97,4	97,1	97,4	96,5
Artık	0,2	0,5	0,7	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4
Kayıp	0,7	1,1	1,2	1,4	1,2	1,5	1,1	2,1

Ek 1-L. MYB-N.Dizel Yakıt Karışımlarının Distilasyon Sıcaklık Değerleri (°C)

Distilasyon	MYB	B75	B50	B20	B10	B5	B2	N.Dizel
İKN	347	265	253	210	206	201	191	195
5	349	302	266	237	237	234	234	217
10	350	311	275	243	240	237	236	228
15	350	319	284	251	242	242	241	240
20	351	326	290	259	248	248	248	247
25	351	333	300	265	255	254	254	251
30	351	338	309	274	262	261	260	256
35	351	341	318	281	269	268	267	263
40	351	342	325	290	276	273	273	270
45	351	344	331	296	284	281	279	276
50	352	346	336	304	291	287	286	283
55	352	348	339	311	298	295	291	289
60	352	349	342	319	305	302	297	296
65	352	350	344	326	314	309	305	304
70	353	351	348	332	321	317	313	311
75	354	352	350	339	328	323	320	319
80	355	353	351	344	334	331	330	328
85	356	354	354	350	342	340	337	337
90	358	358	359	356	352	350	350	350
95	360	367	376	369	363	365	365	370
SKN	376	378	377	374	372	373	372	372
Geri Kazanım (%)	99,5	99,0	97,7	97,3	97,7	97,3	97,0	96,5
Artık	0,1	0,5	1,1	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4
Kayıp	0,4	0,5	1,2	1,3	0,9	1,3	1,5	2,1

Ek 1-M. KYB-N.Dizel Yakıt Karışımlarının Distilasyon Sıcaklık Değerleri (°C)

Distilasyon	KYB	B75	B50	B20	B10	B5	B2	N.Dizel
İKN	336	255	241	215	204	202	199	195
5	348	296	261	240	237	235	231	217
10	350	310	273	242	241	236	235	228
15	351	318	284	251	244	240	239	240
20	352	328	293	257	245	246	245	247
25	352	335	303	264	255	252	251	251
30	352	340	314	275	262	259	257	256
35	352	342	320	280	271	266	265	263
40	352	346	329	287	279	271	267	270
45	352	347	333	294	284	280	274	276
50	352	349	338	303	291	285	283	283
55	353	350	342	311	299	293	288	289
60	353	351	344	318	308	301	295	296
65	353	352	347	327	315	307	303	304
70	353	353	349	333	322	316	312	311
75	354	354	352	338	330	322	319	319
80	356	356	354	344	336	331	327	328
85	357	357	356	350	344	339	336	337
90	359	363	361	356	354	349	347	350
95	374	383	370	367	366	364	362	370
SKN	382	384	372	372	373	372	372	372
Geri Kazanım (%)	99,5	98,2	97,7	97,5	97,9	97,9	97,5	96,5
Artık	0,3	0,6	1,1	1,4	1,4	1,4	1,7	1,4
Kayıp	0,2	1,2	1,2	1,1	0,7	0,7	0,8	2,1

Ek 1-N. PYB-N.Dizel Yakıt Karışımlarının Distilasyon Sıcaklık Değerleri (°C)

Distilasyon	PYB	B75	B50	B20	B10	B5	B2	N.Dizel
İKN	344	264	248	225	222	218	221	195
5	345	294	265	241	238	234	231	217
10	347	308	268	244	239	237	235	228
15	347	317	279	249	242	241	238	240
20	347	326	289	256	248	245	244	247
25	347	332	296	263	256	252	252	251
30	347	335	309	272	263	258	256	256
35	347	339	316	279	269	266	264	263
40	347	341	324	288	278	271	270	270
45	347	343	329	295	285	279	276	276
50	347	344	334	303	293	283	282	283
55	348	346	338	309	300	293	289	289
60	348	347	341	318	309	302	295	296
65	349	348	343	325	315	309	305	304
70	350	349	346	330	323	318	311	311
75	351	351	347	337	330	323	320	319
80	352	353	350	342	337	332	326	328
85	355	354	352	349	345	340	335	337
90	359	362	357	355	354	350	346	350
95	378	379	372	368	369	364	361	370
SKN	379	380	374	373	371	372	373	372
Geri Kazanım (%)	98,9	98,0	97,6	97,8	97,2	97,7	97,3	96,5
Artık	0,3	0,5	0,7	1,1	1,3	1,4	1,6	1,4
Kayıp	0,8	1,5	1,7	1,1	1,5	0,9	1,1	2,1

Ek 1-O. Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Parlama Noktaları (°C)

		S.Extra – Biyodizel Karışımları							N.Dizel – Biyodizel Karışımları				
Biyodizel Miktarı (%)	APYB	AÇYB	SYB	MYB	KYB	PYB	Biyodizel Miktarı (%)	APYB	AÇYB	SYB	MYB	KYB	PYB
100	57	157	139	192	107	149	100	57	157	139	192	107	149
75	57	64	66	102	82	73	75	50	64	71	72	62	61
50	57	62	62	77	71	66	50	49	57	59	62	57	56
20	60	58	58	58	58	60	20	50	55	56	56	54	55
10	57	58	60	58	58	60	10	51	55	55	55	54	54
5	57	60	59	60	58	59	5	54	56	55	55	55	55
2	60	59	60	59	58	58	2	55	56	56	55	55	56
0	58	58	58	58	58	58	0	55	55	55	55	55	55

Ek 1-P. Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Akma Noktaları (°C)

		S.Extra – Biyodizel Karışımları							N.Dizel – Biyodizel Karışımları				
Biyodizel Miktarı (%)	APYB	AÇYB	SYB	MYB	KYB	PYB	Biyodizel Miktarı (%)	APYB	AÇYB	SYB	MYB	KYB	PYB
100	12	-1	0	-1	-8	6	100	12	-1	0	-1	-8	6
75	8	-2	-1	-2	-8	2	75	6	-9	-6	-6	-15	0
50	4	-3	-3	-4	-6	-3	50	0	-15	-12	-12	-21	-6
20	-3	-3	-4	-4	-6	-4	20	-12	< -21	< -21	< -21	< -21	-18
10	-4	-4	-4	-4	-6	-5	10	-21	< -21	< -21	< -21	< -21	< -21
5	-5	-5	-4	-5	-5	-5	5	< -21	< -21	< -21	< -21	< -21	< -21
2	-5	-5	-5	-5	-6	-5	2	< -21	< -21	< -21	< -21	< -21	< -21
0	-6	-6	-6	-6	-6	-6	0	< -21	< -21	< -21	< -21	< -21	< -21

KİŞİSEL YAYINLAR

Alptekin'in Yüksek lisans programı sürecinde yapmış olduğu yayınlar aşağıda verilmiştir:

1. Esen, D. Ö., **Alptekin, E.**, “Soğutucu Akışkanların ve Kompresör Devrinin Otomobil Klimalarının Performansına Etkisi ve Ekserji Analizi”, *15. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi (ULIBTK)*, 7-9 Eylül, Trabzon (2005).
2. **Alptekin, E.**, Çanakçı, M., “Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarında Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi”, *3. Ege Enerji Sempozyumu*, 24-26 Mayıs, Muğla (2006).
3. **Alptekin, E.**, Çanakçı, M., “Biyodizel Üretimi ve Gliserin Özelliklerinin Belirlenmesi”, *Biyoyakıt (Biyodizel-Biyoetanol) Sempozyumu*, 29-30 Haziran, Bursa (2006).
4. **Alptekin, E.**, Çanakçı, M., “Biyodizel ve Türkiye’deki Durumu”, *Mühendis ve Makina Dergisi*, Ekim 2006, Cilt: 47, Sayı: 561, sf.: 57-64 (2006).
5. İlgen, O., Dinçer, I., Yıldız, M., **Alptekin, E.**, Boz, N., Çanakçı, M., Akın, A. N., "Investigation Of Biodiesel Production From Canola Oil By Using Mg–Al Hydrotalcite Catalyst", *First National Catalysis Conference (NCC-1)*, 17-20 January, Güzelyurt - Northern Cyprus (2007).
6. **Alptekin, E.**, Çanakçı, M., “Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Yoğunluk ve Viskozitelerinin Belirlenmesi”, *I. Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu*, 28-31 Mayıs, Samsun (2007).
7. **Alptekin, E.**, Çanakçı, M., “Determination of the Density and the Viscosity of Biodiesel-Diesel Fuel Blends”, *Energy Sources*, Yayına kabul edildi (Mart, 2007). (Dergi SCI tarafından taranmaktadır.)
8. İlgen, O., Dinçer, İ., Yıldız, M., **Alptekin, E.**, Boz, N., Çanakçı, M., Akın, A. N., "Investigation Of Biodiesel Production From Canola Oil By Using Mg–Al Hydrotalcite Catalyst", *Turkish Journal of Chemistry*, Yayına kabul edildi (Temmuz, 2007). (Dergi SCI tarafından taranmaktadır.)

ÖZGEÇMİŞ

Ertan ALPTEKİN 1982 yılında Manisa’da doğdu. İlk ve orta öğretimini Manisa’da tamamladıktan sonra, 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği programını kazandı. 2004 yılında, bu bölümden başarı ile mezun oldu. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.

Alptekin, şu an Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmakta ve derslerde Yardımcı Öğretim Elemanı olarak görev yapmaktadır.