

T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAĞLARDAN BİYODİZEL ELDESİNE
ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN
ARAŞTIRILMASI

AYLİN BEYCAR KAFADAR

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN: Prof. Dr. CANDAN HAMAMCI

KİMYA ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

NİSAN 2010

T.C.
DİCLEÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Aylin BEYCAR KAFADAR tarafından yapılan bu çalışma jürimiz tarafından Kimya Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

Ünvanı Adı Soyadı

Başkan : Prof. Dr. Mehmet YAMAN

Üye : Prof. Dr. Candan HAMAMCI (Danışman)

Üye: : Doç. Dr. Fikret UYAR

Üye : Doç. Dr. Akın BAYSAL

Üye : Doç. Dr. Sait ERDOĞAN

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylıyorum.

.../.../.....

Prof. Dr. Hamdi TEMEL

ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

ÖZ

Dünyada enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil kaynaklı yakıtlardan karşılanmaktadır. Fakat bilinen fosil yakıt rezervleri tükenmekte ve bu yakıtların kullanımı sonucu küresel ısınma, asit yağmurları gibi çeşitli çevre sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu nedenlerden dolayı araştırmacılar, uzun yıllardır alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmalar yapmaktadırlar. Alternatif bir dizel yakıtı olan biyodizel, bitkisel ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir biyolojik kaynaklardan elde edilmektedir. Biyodizel genel olarak monohidrik bir alkolün ve yağın bir katalizör eşliğinde reaksiyona sokulması yöntemi olan transesterifikasyon ile elde edilir. Transesterifikasyon yönteminde; reaksiyon koşulları, alkolün yağa molar oranı, alkolün türü, katalizörün türü ve miktarı, reaksiyon süresi ve sıcaklığı ve reaktantların saflığı önemlidir.

Bu çalışmada Türkiye’de yetişebilen (mısır, fındık, soya fasulyesi, ayçiçeği vb.) bitkilerin yağlarından ve atık yağlardan transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimi amaçlanmıştır. Transesterifikasyon yöntemi ile farklı bitkisel yağlardan, optimum koşulların tespiti için katalizör, sıcaklık ve reaksiyon süresi, alkol/yağ molar oranı gibi parametreler incelenmiştir. Elde edilen biyodizel örneklerinin yoğunluk, viskozite, parlama noktası, akma noktası, setan sayısı, iyot değeri, ısıtılma değeri ve diğer uluslararası standartlardaki yakıt değerleri tespit edilerek karşılaştırma yapılmıştır.

ABSTRACT

Fossil fuels are mainly used to meet most of the energy demand of the world. However, the known fossil fuel reserves are diminishing and the use of fossil fuels causes various environmental problems such as global warming, acid rains etc. On account of this reason, scientists have been studying on the subject of alternative energy resources for a long time. Biodiesel, an alternative diesel fuel, is made from renewable biological sources such as vegetable oils and animal fats. It is produced by transesterification in which, oil or fat is reacted with a monohydric alcohol in the presence of a catalyst. The process of transesterification is affected by the mode of reaction conditions, molar ratio of alcohol to oil, type of alcohol, type and amount of catalysts, reaction time and temperature and purity of reactants.

In the present study, it is aimed to produce biodiesel from transesterification of oils obtained from some vegetables, grown in Turkey such as corn, hazelnut, sunflower, soybean and waste vegetable oils. The effect of the type of oils and catalysts, reaction time and reaction temperature, alcohol/oil molar ratio on the formation of ester was investigated. Biodiesel samples were characterised to test their properties as fuels in diesel engines, such as viscosity, flash point, cloud point, pour point, density, cetane number and acid value.

TEŞEKKÜR

Doktora alıőmalarım sırasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, çalıőmalarım için bana gerekli koşulları sağlayan Sayın Hocam Prof. Dr. Candan HAMAMCI'ya sonsuz teőekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Deneysel çalıőmalarım sırasında bana yardımcı olan arkadaşım Canan KAYA'ya teşekkür ediyorum.

Beni yetiőtiren, iyi bir meslek sahibi olmamı sağlayan aileme ve tez çalıőmam sırasında benden desteğini esirgemeyen eőime teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv.
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1
1.1. BİYODİZEL	3
1.1.1. Biyodizelin Tarihçesi	3
1.1.2. Biyodizelin Olumlu ve Olumsuz Özellikleri	5
1.1.3. Biyodizelin Çevresel Özellikleri	7
1.1.4. Dünyada Biyodizel	10
1.1.5. Türkiye’de Biyodizel	13
1.1.6. Biyodizelin Ekonomik Değeri	15
1.1.7. Biyodizelin Türkiye Ekonomisi İçin Getirileri	16
1.2. BİTKİSEL YAĞLAR	18
1.2.1. Bitkisel Yağların Kimyasal Yapısı	18
1.2.2. Bitkisel Yağların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	20
1.2.3. Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı	22
1.2.4. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi	24
1.2.4.1. İnceltme	25

1.2.4.2. Mikroemülsiyon oluşturma	25
1.2.4.3. Piroliz	25
1.2.4.4. Transesterifikasyon	26
1.3. TRANSESTERİFİKASYON	26
1.3.1. Transesterifikasyon Kinetiği ve Mekanizması	27
1.3.2. Transesterifikasyon Reaksiyonlarını Etkileyen Parametreler	30
1.3.2.1. Serbest Yağ Asidi ve Nemin Etkisi	30
1.3.2.2. Katalizörün Türü ve Derişiminin Etkisi	30
1.3.2.3. Alkol Türünün Etkisi	31
1.3.2.4. Alkolün Yağa Molar Oranının Etkisi	32
1.3.2.5. Reaksiyon Sıcaklığının Etkisi	32
1.3.2.6. Reaksiyon Süresinin Etkisi	32
1.4. ARAŞTIRMADA KULLANILAN YAĞLARLA İLGİLİ BİLGİLER	33
1.4.1. Mısırözü Yağı	33
1.4.2. Fındık Yağı	34
1.4.3. Ayçiçeği Yağı	35
1.4.4. Soya Yağı	36
1.4.5. Bitkisel Atık Yağlar	37
1.5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	38
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	53
2.1. MATERYAL	53
2.2. BİTKİSEL YAĞLARIN BİYODİZELE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ	54
2.2.1. Yağ Türünün Etkisinin İncelenmesi	56
2.2.2. Katalizör Türünün Etkisinin İncelenmesi	56

2.2.3. Reaksiyon Sıcaklığının Etkisinin İncelenmesi	57
2.2.4. Reaksiyon Süresinin Etkisinin İncelenmesi	57
2.2.5. Alkol-Yağ Molar Oranın Etkisinin İncelenmesi	57
2.3. ELDE EDİLEN BİYODİZELLERİN YAKIT ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ	57
2.3.1. Viskozite	57
2.3.2. Yoğunluk	59
2.3.3. Setan Sayısı	60
2.3.4. Isıl Değer	61
2.3.5. Akış Özellikleri	62
2.3.6. Parlama Noktası	62
2.3.7. Karbon ve Kükürt Tayini	63
2.3.8. İyot Sayısı	63
SONUÇ VE TARTIŞMA	65
3. 1. MISIR YAĞININ TRANSESTERİFİKASYONU	65
3.1.1. Katalizörün Etkisi	65
3.1.2. Reaksiyon Sıcaklığının Etkisi	67
3.1.3. Reaksiyon Süresinin Etkisi	68
3.1.4. Alkol-Yağ Molar Oranının Etkisi	71
3.1.5. Mısır Yağı-Petrol Dizeli Karışımlarının Viskozite ve Yoğunluk Özelliklerinin Değişimi	72
3.1.6. Mikrodalga Kullanılarak Mısır Yağından Biyodizel Eldesi	74
3.2. FINDIK YAĞININ TRANSESTERİFİKASYONU	76
3.2.1. Katalizörün Etkisi	76

3.3. AYÇİÇEĞİ YAĞININ TRANSESTERİFİKASYONU	78
3.3.1. Katalizörün Etkisi	78
3.3.2. Atık Ayçiçeği Yağından Biyodizel Eldesi	80
3.4. FINDIK YAĞI VE AYÇİÇEĞİ YAĞI KARIŞIMLARININ TRANSESTERİFİKASYONU	82
3.4.1. Katalizörün Etkisi	82
3.5. SOYA YAĞININ TRANSESTERİFİKASYONU	84
3.5.1. Katalizörün etkisi	84
SONUÇLAR	86
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	96

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. B100 ve B20 biyodizel kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek emisyon değerlerinin dizel yakıtlarla karşılaştırmalı değerleri	9
Tablo 1.2. Biyodizel standartları	13
Tablo 1.3. Bazı yağ asitlerinin karbon ve çift bağ sayıları	19
Tablo 1.4. Bitkisel yağların yakıt özellikleri	21
Tablo 1.5. Çeşitli yağların yağ asidi içerikleri	22
Tablo 2.1. Yağların bazı yakıt özellikleri	56
Tablo 3.1. Mısır yağından farklı katalizör kullanıldığında elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri	66
Tablo 3.2. Mısır yağından 25 °C'de ve 60 °C'de elde edilen biyodizelin yakıt özellikleri	68
Tablo 3.3. Mısır yağından 3, 12 ve 24 saat süreyle 25 °C'de elde edilen biyodizelin yakıt özellikleri	69
Tablo 3.4. Mısır yağından 1, 2 ve 4 saat süreyle 60 °C'de elde edilen biyodizelin yakıt özellikleri	70
Tablo 3.5. Mısır yağından 1/3, 1/6 ve 1/10 yağ/alkol molar oranı ile 60 °C'de elde edilen biyodizelin yakıt özellikleri	72
Tablo 3.6. Biyodizel ve petrol dizeli karışımlarının bazı yakıt özellikleri	73
Tablo 3.7. Mısır yağının mikrodalgada esterleşmesine reaksiyon süresinin etkisi ...	75
Tablo 3.8. Mikrodalga kullanılmasıyla mısır yağından elde edilen biyodizelin yakıt özellikleri	75

Tablo 3.9. Fındık yağından farklı katalizör kullanıldığında elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri	77
Tablo 3.10. Ayçiçeği yağından farklı katalizör kullanıldığında elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri	79
Tablo 3.11. Atık ayçiçeği yağından farklı katalizör kullanıldığında elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri	81
Tablo 3.12. Fındık yağı ve ayçiçeği yağı karışımından farklı katalizör kullanıldığında elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri	83
Tablo 3.13. Soya yağından farklı katalizör kullanıldığında elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yağ asidinin gliserinle esterleşmesi	18
Şekil 1.2. Basit ve karışık trigliserid	19
Şekil 1.3. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi	24
Şekil 1.4. Bitkisel yağın transesterifikasyonu	26
Şekil 1.5. Trigliseridlerin transesterifikasyonu	29
Şekil 1.6. Alkali katalizörlü transesterifikasyonun mekanizması	29

RESİMLER DİZİNİ

Resim 1.1. Mısır bitkisi	34
Resim 1.2. Fındık bitkisi	35
Resim 1.3. Ayçiçeği bitkisi	36
Resim 1.4. Soya fasulyesi bitkisi	37
Resim 2.1. Gliserin-ester faz ayrımı	55
Resim 2.2. Su-ester faz ayrımı	55
Resim 2.3. Viskozite ölçme cihazı	59
Resim 2.4. Mettlet-Toledo yoğunluk ölçme cihazı	59
Resim 2.5. IKA kalorimetre cihazı	61
Resim 2.6. Tanaka Flash Point	63

GİRİŞ

Günümüz dünyasında ülkelerin enerji ihtiyaçları hızlı bir şekilde artmaktadır. Kullanılan enerji petrol, kömür ve doğal gaz gibi tükenen kaynaklardan ve hidroelektrik ve nükleer kaynaklardan sağlanmaktadır. Enerji kaynaklarının tükenmesi, yol açtıkları çevresel sorunlar ve enerji fiyatlarındaki artış, ülkelerin alternatif enerji kaynaklarına yönelmesine sebep olmaktadır. Bu alternatif enerji kaynaklarından bir tanesi de bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen biyodizeldir.

Biyodizel, yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol (metil veya etil alkol) ile reaksiyonu sonucunda oluşan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Ham bitkisel yağlar, lokanta ve yemek fabrikaları atık yağları, bozulmuş acılaşmış yağlar, mezbaha atıkları olan hayvansal yağlar biyodizele dönüştürülebilir.

Biyodizel üretiminde birçok teknik olmasına rağmen ucuz maliyeti nedeniyle sodyum hidroksit veya potasyum hidroksit gibi bazik katalizör kullanarak alkol ve yağı esterleştirme yöntemi (transesterifikasyon) tercih edilmektedir.

Transesterifikasyon sonucunda ürün olarak biyodizel, gliserin ve az miktarda sabun elde edilmektedir. Biyodizel ve gliserin aralarında oluşan faz farkı nedeniyle kolayca ayrılabilir. Biyodizel içerisinde az miktarda çözünmüş olarak kalan sabun, katalizör ve gliserin artıkları biyodizeli yıkamakla giderilmekte ve nihai olarak saf biyodizel elde edilmektedir.

Transesterifikasyon işlemi, alkol-yağ molar oranı, alkol t¼r¼, kataliz¼r t¼r¼ ve miktarı, reaksiyon s¼resi ve sıcaklığı ve reaktiflerin saflığından etkilenir.

Bu çalışmada bir tarım ¼lkesi olan ¼lkemizde yetişebilen bazı bitkilerin yağlarından (mısır, fındık, ayçiçeği ve soya fasulyesi vb.) ve atık yağlardan kaliteli ve ekonomik biyodizel ¼retimi amaçlanmıştır. Çalışmamızda aynı zamanda kataliz¼r, alkol-yağ molar oranı, reaksiyon sıcaklığı ve s¼resi gibi etkenlerin biyodizel eldesine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen biyodizellerin, yoğunluk, viskozite, parlama noktası, akma noktası, setan sayısı, iyot değeri, ısıl değeri gibi yakıt ¼zellikleri tespit edilip diğer uluslararası standartlarda yer alan analiz değerleri ile karşılaştırılmıştır.

1.1. BİYODİZEL

Biyodizel, genellikle bitkisel yağlardan (kanola, aspir, soya, pamuk, ayçiçeği keten tohumu, yerfıstığı, bittım yağı) bunun yanı sıra bitkisel atık yağlardan (evsel atık yağ, endüstriyel atık yağ, tüketimlerden kaynaklanan atık yağlar) ve hayvansal yağlardan (balık yağı, tavuk yağı gibi) transesterifikasyon yöntemi ile üretilen dizel araç yakıtına verilen addır.

Hammaddesi yağlı tohum bitkileri, atık bitkisel ve hayvansal yağlar olan biyodizel, dizel ile her oranda karıştırılarak veya saf halde, dizelin kullanıldığı her alanda kullanılabilen, dizele eşdeğer bir yakıttır. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları herhangi bir dizel motorunda, motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir¹.

1.1.1. Biyodizelin Tarihçesi

Biyolojik yakıtların gelişim tarihi teknolojik açıdan çok politik ve ekonomik değişimlere dayanır. Alternatif dizel yakıtı, biyodizel, büyük ilgiyi 1970'lerde yaşanan enerji krizi ile çekmiştir. Aslında bitkisel yağların transesterifikasyonu gliserin elde etmek amaçlı olarak 1800'lerden beri uygulanmaktadır. O günlerde ana amaç gliserin elde etmek olduğundan, organik yağlardan transesterifikasyonla üretilen metil veya etil esterler, biyodizel, yan ürün olarak alınıyordu.

Bitkisel yağ ve türevlerinin dizel yakıt olarak kullanımı ise 1900'lerde dizel motorun icat edilişi ile başlar. Rudolf Diesel, Dizel motorun mucidi, 1898 yılında Paris'te Dünya Sergisinde icadını yer fıstığı yağı (ilk biyodizel) ile çalıştırarak tanıtmıştır². Rudolf Diesel ayrıca bir açıklamasında "Dizel motorlar bitkisel yağlarla çalıştırılabilir ki bu durum ülkelerin tarımını geliştirmelerine yardımcı olacaktır." demiştir. Bitkisel yağlar yakıt olarak 1920'lere kadar kullanılmıştır. Bu yıllarda bir tür petrol ürünü olan, No2 dizel diye adlandırılan dizel yakıtı gündeme gelmiştir ve dizel motorlar bu yakıtı kullanacak şekilde modifiye edilmiştir. Uygun fiyatı, bulunulabilirliği, devlet desteği ile dizel yakıtı olarak petrol dizeli tercihe edilmeye başlanmıştır.

İlginç olan bir başka gelişme de II. Dünya Savaşı sırasında Nazi Almanyası ve müttefikleri araçlarında biyokütle yakıtlarını kullanmışlardır. Bu gelişmeye rağmen biyoyakıtların kullanımı gelişim gösterememiş, silik kalmıştır.

1970'lerde yaşanan iki ekonomik krizden ilki 1973'de OPEC'in (Organization of Petroleum Exporting Countries-Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü) dünya petrol durumunu kontrol ederek petrol üretimini düşürmesi fiyatların yükselmesiyle yaşanmıştır. 1978'de yaşanan ikinci krizle otomobil alıcıları daha çok dizel araçları tercih etmeye başlamışlardır. Ardından kullanıcılar kendi biyoyakıtlarını kendileri yapma yoluna gitmişler ve biyoyakıt potansiyeline yeniden başvurmuşlardır.

1980'lerde, alternatif yakıt olabilecek bitkisel yağların yüksek viskozite sorununun yağların metil alkolle reaksiyonuyla metil esterlerine, biyodizele, dönüştürülerek giderildiği görülmüştür. Böylece biyodizel ismi telaffuz edilir olmuştur.

Günümüzde yaşanan küresel iklim değişikliği sorunu, hava ve su kalitesindeki düşüş ve insan sağlığı sorunları yenilenebilir, emisyonlarıyla temiz, çevreci alternatif yakıt biyodizel kullanımını hızla hayata geçirmiştir. Aynı zamanda ekonomik ve politik yaklaşımlar da fosil kökenli yakıtlara alternatif yakıtları destekler yönde değişmiştir. Böylece biyodizel tüm dünya ülkelerinde kabul görek yaygın kullanım alanına sahip olmuştur³.

1.1.2. Biyodizelin Olumlu ve Olumsuz Özellikleri

Avantajları:

Biyodizelin doğrudan, dolaylı ve olası olmak üzere pek çok olumlu özelliği ve potansiyeli bulunmaktadır. Biyodizelin bu avantajları şu şekilde sıralanabilmektedir⁴:

- Biyodizelin setan sayısı, petrodizelin setan sayısından daha yüksek olduğu için motor daha az vurunutulu çalışmaktadır,

- Petrodizel, yakıtına oranla motorda daha iyi yağlayıcı özelliğe sahiptir. Özellikle düşük sülfürlü petrodizel yakıtlarda azalan yağlayıcılığı biyodizel kullanarak artırmak mümkündür,
- Biyodizelin parlama noktası, petrodizelden daha yüksektir ve bu sayede taşıma ve depolamada daha güvenlidir,
- Emisyon değerleri daha az (NO_x -azotoksitler hariç) olduğundan, sürdürülebilir gelecek, sağlıklı bir kalkınma, çevre korunması ve küresel ısınma gibi konularda petrodizel yakıtlara oranla daha zararsız bir yakıttır,
- Biyolojik olarak kolay ayrışabildiği ve toksik olmadığı için biyodizelin kullanımını daha güvenlidir,
- Yenilenebilir bir kaynaktır ve yerel imkanlarla üretilebilir,
- Petrole bağımlılığı azaltması nedeniyle ekonomik ve stratejik olarak katkı sağlar,
- Kırsal kesimin sosyo-ekonomik yapısında iyileşme sağlar ve bu sayede kırsal alandan kentlere göçün önlenmesine katkıda bulunur,
- İş imkanları yaratır, yan sanayinin gelişmesine katkıda bulunur,
- Petrol yüzünden çıkan devletlerarası sorunlar, devletlerin bir nevi kendi petrolünü üretmeleri sayesinde kısmen çözülmüş olacaktır,
- Biyodizel üretiminin artmasıyla petrol fiyatlarındaki anormal artışlar, talebin bir kısmının veya tamamının biyodizelle karşılanması ile önlenmiş ve bu sayede ulaşım, ısınma, tarımsal ve endüstriyel üretim maliyetlerinin kontrol altına alınmasıyla enflasyon artışı belli ölçüde kontrol altında tutulmuş olacaktır,
- Gübre, küspe ve gliserin gibi yan ürünlerle tarım ve sanayiye katkı sağlar,

Sakıncaları:

Biyodizel kullanımıyla ortaya çıkabilecek sakıncalar ise şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Isıl değeri petrodizele göre bir miktar daha düşüktür. Bu durum motordaki yanma sonucunda azda olsa güç düşüşüne neden olmaktadır,
- Soğuk hava şartlarından petrodizele göre daha çabuk etkilenir. Özellikle bulutlanma daha erken görülmektedir. Bu durum biyodizelin soğuk iklim bölgelerinde kullanımını sınırlandırıcı bir faktördür. Bunu aşabilmek için B20 (% 20 biyodizel ve % 80 dizel karışımı) kullanım formu tercih edilmektedir,
- NO_x emisyonları petrodizele göre bir miktar yüksektir,
- Yakıt tüketimi hacim esasında % 11, ağırlık esasında ise % 5–6 daha fazla olmaktadır,
- Saf biyodizel (B100) kullanımında motor malzemelerinin (özellikle yakıt sistemindeki hortum, bağlantı elemanı ve contalar) biyodizele uygun seçilmesi, uygun değilse değiştirilmesi gerekmektedir,
- Tarım arazilerinde gıda üretimi için ayrılan arazilerin bir kısmının daha çok kar elde edileceği düşünülerek yağ bitkisi tarımına ayrılması ile az gelişmiş ülkelerde gıda fiyatlarında artış ve gıda temininde zorluk yaşanması muhtemeldir.

1.1.3. Biyodizelin Çevresel Özellikleri

Biyodizelin tarımsal bitkilerden elde edilmesi nedeniyle, fotosentez yolu ile karbon dioksiti (CO₂) dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için, sera etkisini arttırıcı yönde etki göstermez. Tükettiğimiz biyodizelden atmosfere verilen CO₂, biyodizel üretiminde kullanılacak olan yağ bitkisi tarafından en fazla bir yıl içinde geri alınacaktır. Bu açıdan bakıldığında: biyodizel üretimi, CO₂ emisyonları için doğal bir yutak olarak nitelendirilebilir.

Biyodizel yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan zehirli bir gaz olan karbonmonoksit (CO) oranı dizel yakıtların yanması sonucu oluşan CO oranından % 50 daha azdır.

Bakteriler tarafından kolayca ayrıştırabildiği için çevre dostu olarak kabul edilen biyodizelin içerdiği kükürt miktarı, dizele oranla çok daha düşüktür. Bu da dizel yerine biyodizelin kullanılması durumunda, asit yağmuru gibi olumsuz çevresel etkilerin oluşmasını önler. Sülfür emisyonu (SO_x) saf biyodizel kullanımında tamamen bertaraf edilebilmektedir. Dizel yakıtla kıyaslandığında biyodizel kullanımıyla birlikte sülfür oksit ve sülfat emisyonuyla oluşan kirlilik temizlenmekte ve yok olmaktadır.

Partiküllü ortamda gerçekleşen solunum insan sağlığını tehlikeye atmaktan öte değildir. Dizel yakıtlara göre biyodizel kullanımlarında açığa çıkan partikül miktarı % 47 daha azdır.

Biyodizelin NO_x emisyonları dizel yakıtı göre daha fazladır. Emisyon miktarı motorun biyodizel yakıtı uygunluğuna bağlı olarak değişir. NO_x emisyonlarının % 13 oranına kadar arttığı tespit edilmiştir.

Ozon tabakasına olan olumsuz etkiler biyodizel kullanımında dizel yakıtı nazaran % 50 daha azdır.

Saf biyodizel (B100) ve % 20 oranında (B20) biyodizel kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek emisyon değerlerinin dizel yakıtılarla karřılařtırılmalđ değerleri Tablo 1.1.' de verilmektedir⁵.

Tablo 1.1. B100 ve B20 biyodizel kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek emisyon değerlerinin dizel yakıtılarla karřılařtırılmalđ değerleri

	B100	B20
Yanmamış Hidrokarbonlar	% -67	% -20
Karbon Monoksit	% -48	% -12
Partikül Madde	% -47	% -12
Nitratlı maddeler	% -90	% -50
Sülfatlar	% -100	% -20
Kükürt Oksitler (SO _x)	% -15,5	% -2,10
Azot Oksitler (NO _x)	% +13	% +2
Hidrokarbonların Ozon Tabakasına Etkisi	% -50	% -10
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (Kanserojen maddeler)	% -80	% -13

Suya bırakıldığında; 28 günlük bir sürecin sonunda biyodizelin yüzde 95'i çözünürken, dizelde bu oran yüzde 40 mertebelerine kadar düşmektedir. Bu nedenle, özellikle Amerika Birleşik Devletlerinde birçok eyalette, göller ve nehirler gibi sulu alanlarda kullanılan ulaşım araçlarında ve teknelerde saf biyodizel kullanımı zorunlu kılınmıştır.

Biyodizelin olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel için ağızdan alınmada öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1,75 g tuz/kg vucüt ağırlığı olup, tuz biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri, biyodizelin ciltte % 4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir.

1.1.4. Dünyada Biyodizel

1980'li yıllar ile birlikte özellikle Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde küçük çapta da olsa biyodizel üretimine başlanmıştır. Başlangıçta biyodizel için belli bir norm olmaması ve üretimin şimdiki tekniklere göre ilkel sayılabilecek şekilde yapılması sonucunda pek o kadar da kaliteli olmayan biyodizel üretilmiştir. Daha sonra gelişen biyodizel teknolojisi ve biyodizele bir standart getirilmesi ile üstün kalitede biyodizel üretilmiştir. Günümüzde yapılan araştırmalar sonucunda biyodizel için Avrupa'da EN (Europeane Norm-Avrupa Standartları) ve ABD'nde soya bitkisinden elde edilen biyodizel için ASTM (American Society for Testing and Materials - Amerikan Standart Test Metotları)'nin normları mevcuttur. Bu normlara uygun üretilmiş

biyodizel sorunsuz bir şekilde kullanılmaktadır. Şu an itibariyle, çoğu gelişmiş ülkeler başta olmak üzere 36'yı aşkın ülkede biyodizel üretimi söz konusudur⁶.

Almanya'da yıllık biyodizel üretimi 1.200.000 ton civarındadır ve hali hazırda % 100 biyodizel içeren araç yakıtı 1900'ü aşkın benzin istasyonunda kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Almanya için geçerli norm DIN 51606 sayılı normdur. 1996 yılından itibaren piyasaya sürülen Volkswagen ve Audi motorlu araçların hepsinde ve Mercedes kamyonlarında biyodizel kullanımı tamamiyle serbest bırakılmıştır. Taksi amaçlı kullanılan Mercedes otomobillerde kullanımı da serbesttir. Bunu müteakip diğer markalar da biyodizel kullanımını onaylamış ve serbest bırakmıştır.

Avusturya'da yıllık biyodizel üretimi 850.000 ton seviyelerine yaklaşmıştır. Biyodizelin petrol kaynaklı ile % 2 oranında karıştırılması devlet tarafından tavsiye edilmektedir. Ayrıca Avusturya ve Almanya'da biyodizel için fosil yakıt vergisi alınmamaktadır.

Çek Cumhuriyeti'nde irili ufaklı işletmelerde toplam 200.000 ton/yıl civarında üretim söz konusudur. Benzin istasyonlarında % 30 biyodizel ve % 70 motorin karışımı bionafta adı ile daha ucuza satışa sunulmaktadır.

Fransa'da ise biyodizel üretimi 600.000 ton/yıl üzerindedir. Benzin istasyonlarında % 5 biyodizel ve % 95 motorin karışımı kullanıcıların hizmetine

sunulmuştur. Bu % 5'lik kısım fosil yakıt vergisinden muaftır ve her yıl bu oran arttırılmaktadır.

İtalya'da şu anda biyodizel üretim kapasitesinin ancak % 15'i değerlendiriliyor. Bu kotanın kalkmasıyla birlikte biyodizel üretiminin artacağı kesindir. Ayrıca, İtalya Hükümeti 100 000'den fazla nüfuslu yerleşim alanlarında, belediye araçlarında biyodizel kullanımını teşvik ederek başlattığı projeyi başarıyla devam ettirmektedir.

Amerika Birleşik Devletlerinde özellikle soya fasulyesi yağından biyodizel üretimi söz konusudur. ASTM kuruluşunun normlarına uygun biyodizel, araçlarda yakıt olarak sorunsuz bir şekilde kullanılabilir. Yapılan planlara göre 2010 yılında enerji ihtiyacının % 30'u alternatif enerji kaynaklarından karşılanacaktır.

Belçika'da ise yıllık biyodizel üretimi 400.000 ton civarındadır. Danimarka'da 30.000 ton/yıl kapasiteli, İspanya'da ise 50.000 ton/yıl kapasiteli birer işletme plan aşamasındadır.

Biyodizel için EN 14214 Avrupa Standardı ile ASTM D 6751 Amerikan Standardı yürürlüktedir. Türkiye'de ise EN 14214 Standardı temel alınarak TSE (Türk Standartları Enstitüsü) Standardı hazırlanmıştır.

Biyodizel standart özellikleri karşılaştırmalı olarak Tablo 1.2.'de verilmiştir⁷.

Tablo 1.2. Biyodizel standartları

Biyodizel	Birim	Avrupa Standardı EN 14214	Amerika Standardı ASTM D 6751
Yoğunluk, 15°C’de	g/cm ³	0,86-0,90	0,82-0,86
Viskozite 40°C’de	mm ² /s	3,5-5,0	1,9-6,0
Parlama noktası	°C	min. 101	min. 120
Toplam kükürt	mg/kg	max. 100	max. 500
Setan Sayısı		min. 51	min. 47
Toplam askıda madde	mg/kg	max. 24	
Nötralizasyon değeri	mg	max. 0,50	max. 0,80
Metanol içeriği	% ağırlıkça		max. 0,2
Ester içeriği	% ağırlıkça	min. 96,5	
Monoglisidler	% ağırlıkça	max. 0,8	
Diglisidler	% ağırlıkça	max. 0,2	
Triglisidler	% ağırlıkça	max. 0,2	
Serbest gliserol	% ağırlıkça	max. 0,02	max. 0,02
Toplam gliserol	% ağırlıkça	max. 0,25	max. 0,24
İyot sayısı		max. 120	

1.1.5. Türkiye’de Biyodizel

Türkiye, bölgesel fosil enerji kaynakları yeterli olmayan ve enerji ihtiyacının % 85’ini ithal eden bir ülkedir. İthalatı yapılan enerji kaynaklarının, uluslararası pazardaki fiyat dalgalanmaları, ulusal ekonomiye büyük bir yük getirmektedir. Enerji

konusu giderek politikleşerek, enerji ithalatının bağımlılığı ve ödemeler dengesindeki kronik açığın, politik istikrarın temel tehlikesini oluşturacağı düşünülmektedir. Türkiye'nin enerji tüketimini ithal edilen fosil yakıtlara dayalı olarak sürdürmesi, gayri safi yurtiçi hasılanın azalmasına neden olmaktadır. Gelişmiş ülkeler, uluslararası maliyetlerden yüksek olsa bile yerli enerji üretimini tercih etmektedirler.

Biyodizel, ülkemizde mevcut olanaklarla uygulamaya alınabilecek en önemli alternatif yakıt seçeneklerinden biridir. Ülkemizde kara taşımacılığının önemli bölümünde ve deniz taşımacılığında dizel motorlu taşıtlar kullanılmaktadır. Ayrıca endüstride jeneratörler için önemli miktarda dizel kullanılmaktadır. Petrol tüketimimizin ancak % 15'i yerli üretimle sağlanabilmektedir. Petrol ürünleri tüketimi içinde ise en büyük payı % 34 değeri ile dizel almaktadır.

Biyodizel kullanımı ile petrol tüketiminde ve egzoz gazı kirliliğinde azalma gerçekleşecektir. Biyodizel üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Türkiye'nin 1 milyon 900 bin hektarlık kullanılmayan ancak tarıma uygun arazisi vardır. Bu arazilerde enerji tarımı yapıldığı takdirde, 1 milyon 250 bin ton biyodizel üretimi gerçekleştirilebilir.

Ayrıca biyodizel üretiminde atık hayvansal ve bitkisel yağlarda kullanılmaktadır. Türkiye'de yılda 1.500.000 ton bitkisel yağ gıda amacı ile kullanılmaktadır. Bu yağdan yaklaşık olarak 350.000.000 kg atık yağ oluşmaktadır. Bu kullanılmış bitkisel ve hayvansal atık yağlar kanalizasyona dökülmeyip geri bu yağların geri kazanılması ile biyodizel, gliserin ve sabun üretilerek ekonomiye katkı

sağlanabilir. Kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağların geri kazanılması ile evsel atıklar % 25 oranında daha az kirlenmiş olur

Ülkemizde 286 biyodizel üreticisinin toplam 2,3 milyon ton kurulu kapasitesi bulunmaktadır. Bu rakamla Türkiye, kurulu biyodizel üretimi kapasitesi açısından Almanya'dan sonra dünya ikincisi konumunda bulunmaktadır. Bu kapasitenin 1,5 milyon tonluk kısmı lisanslandırılmıştır ve yıllık üretim sadece 100 bin tondur. Potansiyel değerlendirilememektedir, çünkü bu konuda bazı mevzuatlar engel oluşturmaktadır.

1.1.6. Biyodizelin Ekonomik Değeri

Biyodizel üretim maliyeti yüksek olan bir yakıttır. Yağlı bitki tohumundan üretim yapan tesislerde biyodizel maliyetindeki en büyük pay bitki tohumuna aittir. Atık yağı hammadde olarak kullanan işletmelerde üretim maliyeti göreceli olarak daha azdır.

Üretim maliyetini düşüren unsurlar üretim sırasında elde edilen yan ürünlerin (küspe ve gliserin) değerlendirilmesidir. Özellikle gliserin biyodizel üretim maliyetini belirleyen ve tesisin mali faydasını direkt etkileyen bir yan üründür. Ayrıca saflaştırma sırasında elde edilen gübrenin de ekonomik değeri vardır. Yan ürün olarak elde edilen gliserin sabun ve kozmetik sanayinde değerlendirilebildiği gibi saflaştırılarak ilaç sektöründe de kullanılabilir. Gliserin bir trihidroksi alkoldür. Sabun endüstrisinde sıvı ve katı yağların sabunlaşması sonucu oluşur.

1.1.7. Biyodizelin Türkiye Ekonomisi İçin Getirileri

Kendi öz kaynaklarımızdan elde ettiğimiz petrol dizeli ülkemiz ihtiyacının yok denebilecek kadar küçük bir kısmını karşılamaktadır ve petrol ürünleri üzerindeki verginin yüksek olması sebebiyle üretim maliyetleri her geçen gün artmaktadır.

Bununla birlikte:

- Ülkemiz petrolde ithalat bağımlısıdır.
- Çevresel etki açısından telafisi çok yüksek maliyetlere varan zararlara neden olmaktadır. Tüm gelişmiş ülkelerde petrol dizelinin doğurduğu negatif etkilerin giderilmesi için çalışmalar sürmekte bunun için de büyük bütçeler ayrılmaktadır.
- Petroldeki sahtecilik ve kaçakçılık devlete milyarlarca dolar zarar vermektedir.
- Çiftçiye ucuz mazot sunulması petrol ithalatçısı konumunda olan ülkemiz açısından son derece zordur. Gerek petrol üzerindeki vergiler, gerekse petrol dizelinin ağırlıklı olarak ticari araçlarda ve enerji elde etmek amacıyla sanayi tesislerinde kullanılmasından dolayı yalnızca çiftçiye ucuz mazot verilmesinin çifte standarda neden olacağı gerekçesiyle ticari araç sahipleri ve sanayi tesislerinin de aynı istekte bulunmalarına bir sebep teşkil edecektir.
- Biyodizel üretimini ile ülke ekonomisine katkı sağlanabilecektir.

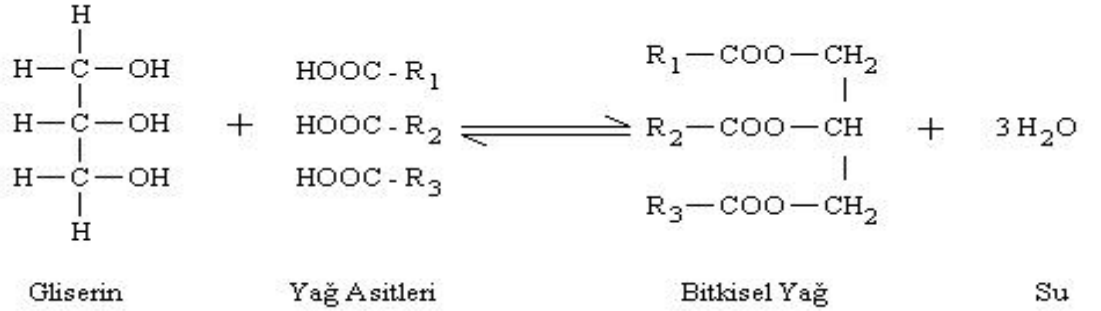
- Üretimnin tamamen yerli olması sebebiyle ithal bağımlılığı ortadan kalkacaktır. Bu enerji aynı zamanda yenilenebilir ve stratejik bir enerji kaynağıdır.
- Biyodizelin maliyeti mazota oranla yüksektir. Ancak çevresel ve tarımsal avantajları nedeniyle tüm dünyada vergilerden muaf ve teşvik edilen bir ürün konumundadır. Ayrıca tüm katma değer ülkede kalacak ve istihdam, gelir ve tüketim faktörlerindeki çarpan etkisi her katmanda kendini gösterecektir.
- Devletin gelir kaybına uğrayacağı düşüncesi yanlıştır. Yurtiçinde yapılan her yatırım istihdam, iş ve vergi demektir. Bununla birlikte, en ucuz ürünün temin edilebilen ürün olduğu unutulmamalıdır.
- Biyodizel temiz ve homojen bir yakıttır. Çevre kirliliğinin önlenmesi için gelecekte oluşturulacak bütçeler şimdiden temiz enerji kullanımı ile minimuma indirilecektir.
- Biyodizel temelde mazota rakip değil alternatiftir. Ülkemizde mazot tüketimi yıllık 15.000.000 ton civarındadır. Bu tüketim miktarının % 10–20 arası bir miktar biyodizel olarak üretilebilir. Üretilen ürünler katkı olarak kullanıldığı zaman mevcut dizel yakıtların kalitesini Avrupa normlarına taşıyacaktır. Fiyat ve nitelik açısından oldukça farklı bir ürün olan biyodizel mazot sahteciliği ve kaçakçılığının önüne geçerek devletimizi kayıptan kurtaracaktır.

1.2. BİTKİSEL YAĞLAR

1.2.1. Bitkisel Yağların Kimyasal Yapısı

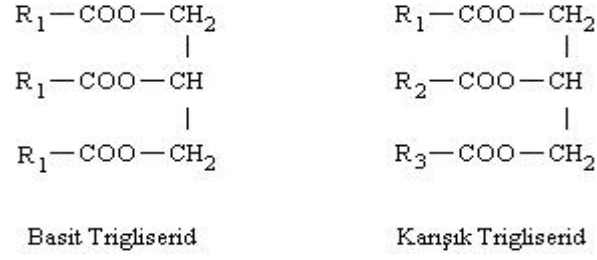
Oda sıcaklığında sıvı halde bulunan ve yüksek oranda doymamış yağ asitleri içeren sıvılar bitkisel yağ olarak adlandırılır. Bitkisel yağlar suda çözünmeyen, su geçirmez maddelerdir. Bitkisel ve hayvansal yağlar genellikle % 97 trigliseritlerden, % 3 monogliserit ve digliseritlerden meydana gelmektedir. Trigliseritler, yağ asitlerinin gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. Bir başka ifade ile trigliserin olarak da adlandırılmaktadırlar.

Yağ asidinin gliserinle esterleşmesinin kimyasal denklemi Şekil 1.1.'de görülmektedir⁸.



Şekil 1.1. Yağ asidinin gliserinle esterleşmesi

Gliserinin 3 karbon atomunun da aynı yağ asidi ile esterleşmesinden basit trigliserid, farklı yağ asitleri ile esterleşmesinden ise karışık trigliserid elde edilir.



Şekil 1.2. Basit ve karışık trigliserid

Trigliseridteki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturur. Doymamış yağ asidi moleküllerinin karbon atomları arasında bulunun çift bağ sayısı, bir ya da daha fazla olabilmektedir. Yağ asitleri, içerdikleri karbon atomu sayısına bağlı olarak, uzunluğu farklı zincirler oluşturur. Bitkisel yağlarda en çok bulunan yağ asitlerine örnek olarak; 16 karbonlu palmitik ile 18 karbonlu stearik, oleik, linoleik ve risinoleik asitleri gösterilebilir. Bunlardan palmitik asidin çift bağ sayısı olmayıp doymuştur. Oleik ve risinoleik yağ asitleri bir çift bağa, diğerleri iki çift bağa sahiptir.

Tablo 1.3. Bazı yağ asitlerinin karbon ve çift bağ sayıları

Yağ asidi	Karbon sayısı	Çift bağ sayısı	Kimyasal Yapı
Miristik asit	14	0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
Palmitik asit	16	0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
Stearik asit	18	0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
Arakhidik asit	20	0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
Behenik asit	22	0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$
Oleik asit	18	1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

Erusik asit	22	1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$
Linoleik asit	18	2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Linolenik asit	18	3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

Bitkisel yağların yağ asidi içeriği, dizel motorlarında karbon oluşumunu azaltan etkili bir faktördür. 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 yavaştır. Üç çift bağ bulunan bir yağ asidine göre ise, onbeş kat daha yavaş oksitlenir. Oksitlenme stabilitesi, depolama anında sakızlaşmanın oluşumu hakkında bilgi veren önemli bir özelliktir. Oksitlenme ile birlikte, setan sayısı yükselir ve viskozite artar⁹.

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. 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.

1.2.2. Bitkisel Yağların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri dizel yakıtınıninkine benzerdir. Fakat aradaki en büyük farklardan biri, bitkisel yağların viskozitesidir. Bitkisel yağların viskoziteleri 30 mm²/s ile 40 mm²/s arasında değişmektedir ve dizel yakıtının viskozitesinin 17 ile 20 katı kadardır. Yine bitkisel yağların yoğunlukları dizel yakıtına göre biraz daha fazladır. Isıl değer bakımından, bitkisel yağların ısıl değerleri dizel yakıtına göre yaklaşık % 10 daha düşüktür. Bitkisel yağların setan sayıları ise dizel yakıtınıninkine yakındır. Setan sayısı yakıtın tutuşabilirlik kalitesini yükseltir. Tablo 1.4’te bazı bitkisel yağların yakıt özellikleri verilmiştir¹⁰.

Tablo 1.4. Bitkisel yağların yakıt özellikleri

Yağ	Viskozite (mm ² /s)	Yoğunluk (g/cm ³)	Alt ısıl 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
Ayçiçeği	33,9	0,9161	39575	7,2	-15,0	274	37,1	0,15
Susam	35,5	0,9133	39349	-3,9	-9,4	260	40,2	4,96
Dizel	2,7	0,8400	45343	-15	-33,0	52	47,0	-

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

Tablo 1.5. Çeşitli yağların yağ asidi içerikleri

Yağ asidi	Soya yağı (%)	Mısır yağı (%)	Fındık yağı (%)	Ayçiçeği yağı (%)
Palmitik	11,75	11,67	5,90	7,33
Stearik	3,15	1,85	1,27	3,07
Oleik	23,26	25,16	86,32	25,65
Linoleik	55,53	60,60	5,97	63,10
Linolenik	6,31	0,48	0,07	0,70
Diğer	0	0,24	0,47	0,15

1.2.3. Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılması aslında çok eskiye dayanmaktadır. Bitkisel yağlar 1920'lerin sonuna kadar kullanılmıştır. Rudolf Diesel, 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 yakıtta göre değişiklik yapılmıştır..

Bitkisel yağlar dizel motorlarında kullanılabilen, yenilenebilir bir alternatif yakıttır. Geçmişten günümüze kadar bitkisel yağlar birçok araştırmacı tarafından dizel motorlarında denenmiştir. Bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılmasıyla birlikte pek çok motor problemi meydana gelmiştir. Bunlar maddeler halinde sıralanacak olursa;

- Duman yoğunluğu artmıştır.
- Enjektörlerde karbon birikintileri meydana gelmiştir.
- Piston sekmanlarında yapışmalar ve karbon birikintileri meydana gelmiştir.
- İlk çalıştırma esnasında zorluk ve vuruş 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.
- Bitkisel yağların viskozitesi yüksektir. Bu yüzden, özellikle düşük sıcaklıklarda kullanımı daha zordur. Yüksek viskozite zayıf atomizasyona neden olmuştur.

Bu olumsuz sebeplerin yanında, yanma sonu egzoz 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 gerekmektedir.

1.2.4. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi

Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar, öncelikle yağların viskozitelerini azaltmaya yöneliktir. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal yöntem olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. İyileştirme yöntemleri Şekil 1.3’de gösterilmiştir¹¹.



Şekil 1.3. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi

Isıl yöntemde, yakıt olarak kullanılacak olan bitkisel yağların, ön ısıtma ile sıcaklığının yükseltilmesi, viskozitenin azaltılması amaçlanmaktadır. Ancak, bu yöntemin hareketli bir araç motorunda uygulama zorluğu vardır.

Kimyasal yöntem ise dört alt gruba ayrılmaktadır. Bunlar; inceltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon’dur. Bu yöntemler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

1.2.4.1. İnceltme

Bu yöntemde bitkisel yağlar veya atık kızartma yağları belirli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılır. Bir yandan kullanılan yağın viskozitesi düşürülürken diğer yandan da dizel yakıtı kullanımı azaltılmış olur. Uygulamalarda yaygın olarak kullanılan B20 yakıtı, dizel, yakıtı içerisine % 20 oranında bitkisel yağ katılarak elde edilir. Bu şekilde elde edilen yakıtın dizel yakıtına göre maliyetinin daha düşük olduğu ve performans değerlerinin de dizel yakıtına yakın olduğu belirlenmiştir. Seyreltme yöntemi uygulamalarında en çok tercih edilen bitkisel yağlara örnek olarak ayçiçeği, soya, aspir, kolza, yerfıstığı yağı ve kullanılmış kızartma atık yağları verilebilir¹².

1.2.4.2. Mikroemülsiyon oluşturma

Mikroemülsiyon, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur. Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyon oluşturulmaktadır. Böylece viskozite değeri düşmektedir. Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları meydana getirmek mümkün olabilmektedir¹².

1.2.4.3. Piroliz

Piroliz veya kraming kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemidir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki

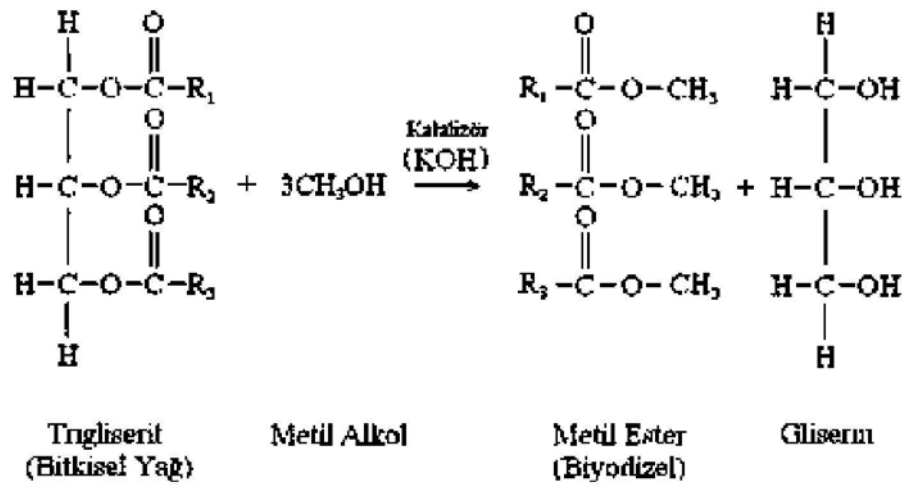
yöntem vardır. Bunlardan biri, bitkisel yağ ısı etkisiyle kapalı bir kaptaki parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır. Bu ikinci yöntem ile yapılan bir çalışmada, soya yağından elde edilen distilatının saf bitkisel yağa göre, dizel yakıtına daha yakın özellikler taşıdığı gözlenmiştir¹².

1.2.4.4. Transesterifikasyon

Bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntem transesterifikasyon veya diğeri adıyla alkoliz reaksiyonudur.

1.3. TRANSESTERİFİKASYON

Transesterifikasyon; yağ asitlerinin (bitkisel yağlar, evsel atık yağlar, hayvansal yağlar) bazik bir katalizör eşliğinde alkol (metanol, etanol vb.) ile esterleşme reaksiyonudur¹².



Şekil 1.4. Bitkisel yağın transesterifikasyonu

1.3.1. Transesterifikasyon Kinetiği ve Mekanizması

Bu yöntem ile biyodizel üretiminde aşağıdaki işlem basamakları takip edilmektedir¹³:

1. Alkol ve katalizörün karıştırılması: Katalizör tipik olarak sodyum hidroksit (kostik soda) veya potasyum hidroksittir. Katalizör standart bir karıştırıcı kullanılarak alkol içerisinde çözülür.

2. Reaksiyon: Alkol/katalizör karışımı kapalı reaksiyon kabı içerisinde doldurulur ve bitkisel veya hayvansal yağ ilave edilir. Daha sonra alkol kaybını önlemek amacıyla sistem tamamen atmosfere kapatılır. Reaksiyon karışımı, reaksiyonu hızlandırmak amacıyla belli bir sıcaklıkta tutulur ve reaksiyon gerçekleşir. Önerilen reaksiyon süresi 1 ile 8 saat arasında değişmektedir ve bazı sistemler reaksiyonun oda sıcaklığında olmasını gerektirir. Beslemedeki hayvansal veya bitkisel yağların içerisindeki su ve serbest yağ asitlerinin miktarının izlenmesi konusunda dikkatli olunmalıdır. Serbest yağ asidi veya su seviyesinin yüksek olması, sabun oluşumu ve gliserin yan ürününün alt akım olarak ayrılması problemlerine neden olabilir.

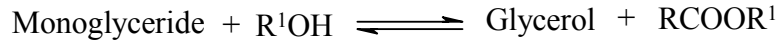
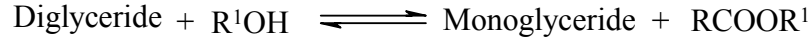
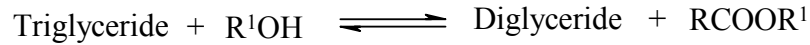
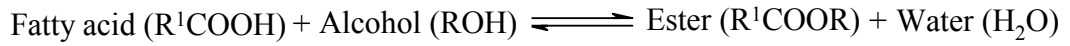
3. Ayırma: Reaksiyon tamamlandıktan sonra iki ana ürün gliserin ve biyodizeldir. Her biri reaksiyonda kullanılan miktardan arta kalan önemli miktarda metanol içerir. Gerek görülürse bazen reaksiyon karışımı bu basamakta nötrale edilir. Gliserin fazının yoğunluğu, biyodizel fazınınkinden çok daha fazla olduğundan bu iki faz gravite ile ayırt edilebilir ve gliserin fazı çöktürme kabının dibinden kolayca

çekilebilir. Bazı durumlarda bu iki malzemeyi daha hızlı ayırmak amacıyla santrifüj kullanılır.

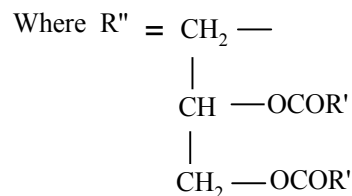
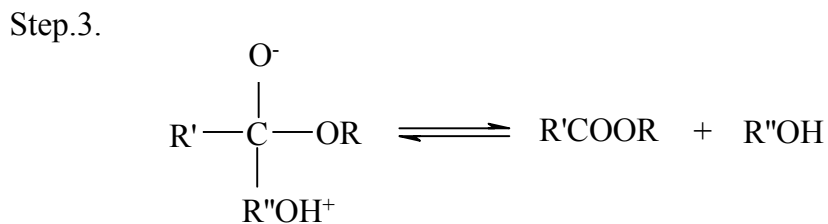
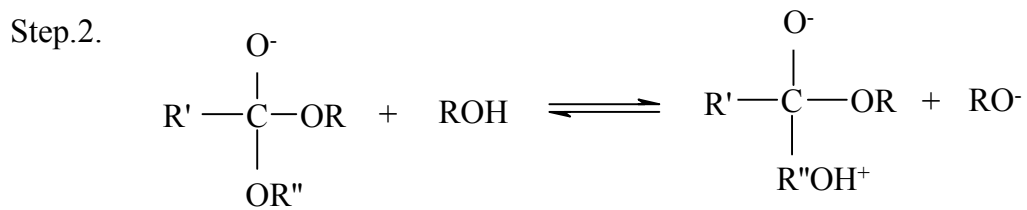
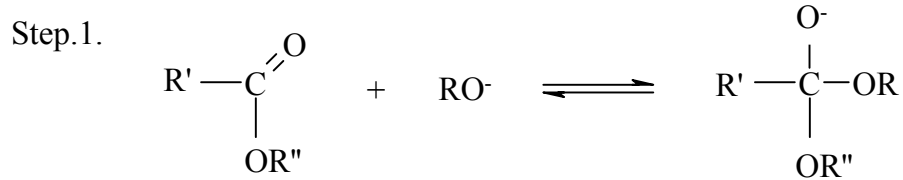
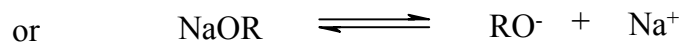
4. Alkolün uzaklaştırılması: Gliserin ve biyomotorin fazları ayrıldıktan sonra her bir fazdaki fazla alkol bir flaş buharlaştırma veya distilasyon işlemi ile uzaklaştırılır ve reaksiyon karışımı nötralize edilir. Gliserin ve ester fazları ayrılır. Her iki durumda da alkol distilasyon kolonu kullanılarak geri kazanılır ve tekrar kullanılır. Geri kazanılan alkol içerisinde su bulunmamalıdır.

5. Gliserin nötralizasyonu: Gliserin yan ürünü, kullanılmamış katalizör ve bir asit ile nötralize edilmiş sabunlar içerir ve ham gliserin olarak depolanmak üzere depolama tankına gönderilir. Bazı durumlarda bu fazın geri kazanılması sırasında oluşan tuz, gübre olarak kullanılmak üzere geri kazanılır. Pek çok durumda tuz gliserin içerisinde bırakılır. Su ve alkol, ham gliserin olarak satışa hazır olan % 80–88 saflıkta gliserin elde etmek amacıyla uzaklaştırılır. Daha karmaşık işlemlerde gliserin % 99 veya daha yüksek saflığa kadar distillenir ve kozmetik ve ilaç sektörüne satılır.

6. Metil ester yıkama işlemi: Gliserinden ayrıldıktan sonra biyomotorin kalıntı katalizör ve sabunları uzaklaştırmak amacıyla ılık suyla yavaşça yıkanır, suyu uzaklaştırılır ve depolamaya gönderilir. Bazı işlemlerde bu basamak gereksizdir. Bu normal olarak, açık amber-sarı renkte, petrodizele yakın viskoziteli bir sıvı veren üretim işleminin sonudur. Bazı sistemlerde de biyomotorin distillenerek safsızlıkların uzaklaştırılması sağlanır.



Şekil 1.5. Trigliseridlerin transesterifikasyonu



$\text{R}' =$ Carbon chain of fatty acid

$\text{R} =$ Alkyl group of alcohol

Şekil 1.6. Alkali katalizörlü transesterifikasyonun mekanizması

1.3.2. Transesterifikasyon Reaksiyonlarını Etkileyen Parametreler

Transesterifikasyon işlemi, reaksiyon koşullarına bağlı olarak değişik faktörlerden etkilenir. Bu faktörlerin etkileri aşağıda açıklanmıştır¹⁴:

1.3.2.1. Serbest Yağ Asidi ve Nemin Etkisi

Alkali katalizörün kullanımında su ve bitkisel yağ içerisindeki serbest yağ asitlerinin miktarı çok önemlidir. Bitkisel yağ kesinlikle sudan arındırılmış olmalı ve su içermeyen saf alkoller kullanılmalıdır. Çünkü su reaksiyonu kısmen değiştirerek sabunlaşmaya neden olabilir. Sabun ise katalizörün reaksiyondaki katalitik etkisini azaltır ve viskozitenin yükselmesi ile jelleşmeye neden olur. Bu sebeple hem ürün verimi düşer, hem de gliserinin ayrıştırılması güçleşir.

Serbest yağ asitleri de alkali katalizör ile reaksiyona girerek sabun ve su oluşumuna sebep olurlar. Bu nedenle alkali katalizör eşliğinde gerçekleşen transesterifikasyon reaksiyonunun başarılı sonuçlanabilmesi ve ticari anlamda geçerli bir yöntem olabilmesi için bitkisel yağın serbest yağ asitleri miktarının ağırlıkça % 0,5'inin altında olması ve kullanılan alkolün de mutlaka su içermiyor olması gerekir¹⁵.

1.3.2.2. Katalizör Türü ve Derişiminin Etkisi

Transesterifikasyon reaksiyonlarında alkali katalizörler, asit katalizörler ve enzimler kullanılmaktadır. Alkali katalizör olarak sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, sodyum metoksit, potasyum metoksit, sodyum hidrit, potasyum amid ve potasyum hidrit kullanılmaktadır. Asit katalizörler olarak sülfürik asit, fosforik asit, hidroklorik asit, sülfonik asit kullanılır.

Alkali katalizörler asit katalizörlerden çok daha hızlıdır. Yüksek ürün eldesi için genellikle NaOH, KOH, NaOCH₃, KOCH₃ tercih edilmektedir. Orta katalitik etkiye sahip olan NaOH diğerlerine göre daha ucuzdur ve daha düşük molar kütleyle sahip olmasıyla birlikte daha iyi özelliklere sahip olmasından dolayı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.

Genelde rafine edilmiş ve ham yağlarda alkali katalizör kullanılırken, atık mutfak yağlarının transesterifikasyon reaksiyonunda asidik katalizörlü bir ön iyileştirme yapıldıktan sonra alkali katalizör kullanımı daha uygun görülmüştür.

1.3.2.3. Alkol Türünün Etkisi

Biyodizel üretiminde genellikle 1–8 C atomuna sahip monohidrik alifatik alkoller kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılanları etanol ve metanoldür. Düşük fiyatı, fiziksel ve kimyasal avantajları (kısa zincirli ve polar olması) nedeni ile genellikle metanol kullanılmaktadır. Ayrıca kısa zincirli bu alkoller trigliseritlerle çok çabuk reaksiyon verir ve NaOH bu alkoller içinde kolayca çözünür.

1.3.2.4. Alkolün Yağa Molar Oranının Etkisi

Ester ürünlerini etkileyen en önemli parametrelerden birisi de alkol–trigliserid (yağ) molar oranıdır. Stokiyometrik transesterifikasyon reaksiyonu, 1 mol gliserid ile 3 mol alkol reaksiyona girerek 3 mol yağ asidi ile 1 mol gliserol oluşturur. Yüksek molar oranlı reaksiyonlarda çok daha kısa sürede daha yüksek oranda ester dönüşümü gerçekleşmektedir.

1.3.2.5. Reaksiyon Sıcaklığının Etkisi

Transesterifikasyon reaksiyonu kullanılan alkol ve yağa bağlı olarak farklı sıcaklıklarda gerçekleşebilir. Yüksek sıcaklık, reaksiyon zamanını kısaltır, reaksiyonu hızlandırır ve dönüşümü artırır. Genelde reaksiyon alkolün kaynama noktasına yakın bir sıcaklığa getirilir. Oda sıcaklığında da reaksiyon gerçekleşebilmektedir.

Atık kızartma yağları, kızartma işlemi boyunca polimerize olarak yüksek moleküler ağırlığa sahip olurlar ve viskoziteyi artırırlar. Aynı zamanda içerisindeki serbest yağ asidi miktarı artar. Bu nedenle atık kızartma yağları kullanımında reaksiyon sıcaklığının yüksek olması reaksiyon sisteminde pozitif etki yaparak viskoziteyi düşürür ve reaksiyon zamanını kısaltır.

1.3.2.6. Reaksiyon Süresinin Etkisi

Ester dönüşümü reaksiyon süresinin uzamasıyla artmaktadır. Trigliseritlerin transesterifikasyonu yağ asidi alkil esterleri ve gliserol üretir. Gliserol tabakası reaksiyon kabının altına yerleşir. Digliseritler ve monogliseritler bu işlemde ara üründür.

Basamaklı reaksiyonlar geri dönüşlüdür ve dengeyi ester oluşumuna doğru kaydırmak için alkolün aşırısı alınır. Aşırı alkol varlığında ileri doğru olan reaksiyon yalancı birinci derecedendir ve geri reaksiyonun ikinci dereceden olduğu bulunmuştur. Alkali ile katalizlendiğinde transesterifikasyonun daha hızlı olduğu gözlenmiştir.

1.4. ARAŞTIRMADA KULLANILAN YAĞLARLA İLGİLİ BİLGİLER

1.4.1. Mısırözü Yağı

Mısır yağı, Graminae familyasından *Zea mays* mısır tanelerinin tohumundan elde edilir. Mısır tohumundan yağ çıkarımı, ezicilerle ve çözücü solüsyonlarla yapılır. Ezilmiş mısıra hekzan veya izo-hekzan uygulanır ve bu uygulamalarla mısırın içerisindeki yağın yaklaşık % 95'i çıkarılır. Daha sonra rafine etme işlemiyle yağın tamamı elde edilir.

Türkiye'de mısır yağı, toplam sıvı yağ pazarı içinde yaklaşık yüzde 7-8'lik pay ile ayçiçeği ve zeytinyağından sonra üçüncü sırada yer almaktadır. Özellikle son yıllarda bitkisel kaynaklı sıvı yağlar arasında talebi en hızlı artan yağ da mısır

yağıdır. Mısır yağı tüketiminin % 80'i kentsel nüfus tarafından gerçekleştirilmekte, bölgesel bazda bakıldığında Marmara Bölgesi yüzde 50 ile tüketim liderliğini elinde bulundurmaktadır.

Mısır tohumunun yağ içeriği % 17, protein içeriği % 12 civarındadır. Mısır yağı, % 19–49 arasında değişen oleik asit, % 34–62 arasında değişen linoleik asit içeriği ile oleik-linoleik grubu yağlar arasında yer almaktadır. Başlıca doymuş yağ asidi ise yaklaşık % 10 ile palmitik asittir. Mısır yağının trigliserid yapısının önemli kısmını ise 40, 42, 44, 46 ve 48 karbonlu trigliseridler oluşturmaktadır¹⁶.



Resim 1.1. Mısır bitkisi

1.4.2. Fındık Yağı

Betulacea familyasına mensup olan fındık, yurdumuzun çeşitli bölgelerinde yetişmekle beraber, yoğun olarak Kuzey Anadolu sıra dağlarının Karadeniz'e bakan yamaçlarında yetiştirilmektedir. Ülkemizdeki kültür fındıkları 5–6 m boylanabilir ve *Corylus avellana* ile *Corylus maxima* türlerinin melezleridir.

Fındık meyvesinin bileşiminde ; % 60–70 yağ, % 20 karbonhidrat, % 15 protein, % 5 su bulunmaktadır. Yüksek yağ içeriği nedeniyle fındık, yağ üretiminde de kullanılmaya başlanmıştır. Fındığın çeşidine bağlı olmakla beraber yağ asidi kompozisyonu açısından fındık yağı; % 5 palmitik asit, % 2 stearik asit, % 1 palmitoleik asit, % 78 oleik asit, % 14 linoleik asit içermektedir¹⁶.



Resim 1.2. Fındık bitkisi

1.4.3. Ayçiçeği Yağı

Ayçiçeği yağı, yağ oranı % 39–45 arasında değişen *Helianthus annuus* bitkisinin tohumlarından elde edilen bir yağdır. Dünyada ayçiçeği ekimi yapılan başlıca ülkeler; Rusya, Ukrayna, Arjantin, Macaristan, Fransa, İspanya, Hindistan ve Türkiye'dir. Ülkemizde özellikle Trakya ve Marmara Bölgelerimizde ayçiçeği bitkisinin ziraatı önemli bir yer tutmaktadır.

Sıvı olarak ve margarin hammaddesi katı yağ üretiminde yaygın kullanım alanı bulan ayçiçeği yağı açık sarı renkli, rafine edilerek kullanılabilen bir yağdır.

Ayçiçeği yağı % 15 doymuş, % 85 doymamış yağ asidi içermekte, doymamış yağ asitlerinin yüzde 14-43'n oleik asit, yüzde 44-75'ini linoleik oluřturmaktadır¹⁶.



Resim 1.3. Ayçiçeği bitkisi

1.4.4. Soya Yağı

Soya fasulyesi yağı, Leguminosae familyasından *Glycine max* türlerinin tohumlarından elde edilir. Soya ziraatının yaygın olarak yapıldığı başlıca lkeler Amerika, Brezilya, Arjantin, in ve Japonya'dır. Soya yağının ülkemizde ayçiçeği yağının liderliğinin sürdüğü sıvı yağ pazarı içindeki payı çok düşüktür.

Soya tohumunun protein içeriği (% 40) yüksek olan küspesi için ekimi yapılan soya tohumunda % 18-20 oranında yağ bulunmaktadır. Sıvı olarak ya da margarin hammaddesi olarak katı yağ üretiminde kullanılır. Soya yağı % 4-11 linolenik, % 44-62 linoleik asit içeriği ile linoleik grubu yağlar arasında yer almaktadır¹⁶.



Resim 1.4. Soya fasulyesi bitkisi

1.4.5. Bitkisel Atık Yağlar

Restoran ve evsel atık yağları yağ asidi esterlerine dönüştürmek suretiyle alternatif bir dizel yakıtı olarak dizel motorlarında kullanımı hem insan sağlığı hem de çevresel açıdan önemli bir avantaja sahiptir. Şimdiye kadar Türkiye’de bu yağların sadece küçük bir yüzdesi toplanarak sabun üretiminde kullanılmıştır. Atık mutfak yağlarının, dizel motorlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilmesi için motorine yakın değerlere sahip bir yakıtı dönüştürülmesi gerekmektedir. Dönüştürülme işleminde en genel kullanılan metot transesterifikasyon reaksiyonudur. Atık mutfak yağlarının transesterifikasyon reaksiyonu; serbest yağ asidi oranı ve su içeriği, kullanılan alkolün kimyasal yapısı, katalizör tipi, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi gibi fonksiyonlardan etkilenmektedir.

1.5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

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 arkadaşları¹⁷, 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 ısıl değer 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 Barsic¹⁸, 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 arkadaşları¹⁹, 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 dakikada 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 dakikada 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 yağların, ön yanma odalı dizel motorunda direkt enjeksiyonlu motora göre daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Lague ve arkadaşları²⁰, 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 sökülmüş, 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. Karışımlar motorda, dizel yakıtına nazaran daha çok karbon birikintisine sebep olmuştur. Ancak bu fazlalık, piston sekmanlarının yapışmasına ve pistonun hareketini zorlaştıracak bir etki meydana getirmemiştir. Yapılan bu çalışmayla, atık yağların ön yanma odalı bir dizel motorunda kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Cıgızoğlu ve arkadaşları²¹, kullanılmış ayçiçeği 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 ısıl değerinin düşük olması ile birlikte, elde edilen tork ve güçte azalma olmuştur. Tam yük şartlarında özgül yakıt tüketimi dizel yakıtıninkine yakın ölçülmüştür. Ancak duman yoğunluğunda belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca tam yük şartlarında, güç ve torkta belirgin bir farklılık görülmemiştir.

Demirsoy ve Kındırılıoğlu²², bitkisel yağlar ile dizel yakıtını karıştırarak dizel motorlarında kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada, % 85 ayçiçeği 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.

Tomasevic ve Marinkovic²³, yaptıkları çalışmada kızartma yağının metanolizini incelemişlerdir. Ürün verimini ve saflığını etkileyen transesterifikasyon reaksiyon koşullarını gözlemlemişlerdir. Bunlar yağ kalitesi, yağ/alkol oranı, baz katalizör konsantrasyonu, sıcaklık ve reaksiyon süresidir. Reaksiyon 25 °C’de farklı yağlar kullanarak % 0,5–1,5 potasyum hidroksit veya sodyum hidroksit eşliğinde gerçekleştirilmiştir. % 1 potasyum hidroksitle 25 °C, 1:6 yağ/alkol molar oranı, 30 dakika reaksiyon süresinde üretilen biyodizelin, dizel motorunda kullanıma uygun bir biyodizel olduğunu belirtmişlerdir.

Yücesu ve arkadaşları²⁴, tek silindirli bir dizel motorunda bitkisel yağ kullanımının motor performansı ve eksoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada ham ayçiçeği 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, ısıl değerleri bir miktar artmış ve yoğunlukları 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.

Freedman ve arkadaşları²⁵, pamuk yağı, soya yağı, fındık yağı ve ayçiçeği yağından biyodizel üretmişler ve alkol oranı, katalizör miktarı, katalizör tipi ve reaksiyon sıcaklığının biyodizel üretimindeki etkilerini incelemişlerdir. Ayçiçeği yağı ile yapılan deneylerde alkol olarak metanol, katalizör olarak yağın % 0,5'i oranında sodyum metoksit kullanıldığında ve 60 °C'deki reaksiyonun 1 saat sonundaki , alkol/yağ molar oranı 3:1 iken ester dönüşümü % 82 olmuş, alkol/yağ molar oranı 6:1 olduğunda ise dönüşüm % 98'e yükselmiştir. Alkol olarak metanolün yanısıra etanol ve n-bütanol de kullanılmıştır. 3:1 alkol/yağ molar oranı, % 0,5 NaOCH₃ kullanıldığında ve reaksiyon sıcaklığı kullanılan alkolün kaynama noktasının biraz altında seçildiğinde, 1 saat sonunda dönüşüm n-bütanol, etanol ve metanol için sırasıyla, % 88, % 81 ve % 82 olmuştur. Alkol/yağ molar oranı 6:1'e yükseltildiğinde dönüşümler % 96–98 aralığında belirlenmiştir. Yan ürün olarak elde edilen gliserin miktarını belirleyebilmek için, alkol/yağ 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/yağ molar oranında 1 saat içinde dönüşümler 60 °C, 45 °C ve 32 °C'de sırasıyla % 94, % 87 ve % 64 olarak belirlenmiştir.

Sims²⁶, iç yağdan alkol olarak metanol, etanol ve n-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, alkol olarak n-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 n-bütül 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 arkadaşları²⁷, kolza metil esterini direkt enjeksiyonlu, turbo şarjlı 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. Bu sistemde egzoz gazı sirkülasyonu kullanılarak NO_x, HC ve CO emisyonlarının azaltılabileceğini belirtmişlerdir.

Işığigür ve arkadaşları²⁸, aspir yağından metil ester üretmişlerdir. Ürettikleri esteri dört silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda, aynı koşullarda dizel yakıtı ile motor performansı ve egzoz emisyon karakteristikleri bakımından karşılaştırmışlardır. Deneyler sonucunda ester ile dizel yakıtı birbirine yakın motor karakteristikleri göstermiştir. CO ve HC emisyonları dizel yakıtına nazaran daha düşük belirlenmiştir. Ayrıca esterin diğer üstün bir yanının, metil esterin dizel yakıtına kıyasla çok az kükürt içermesinin olduğunu belirtmişlerdir.

Peterson ve arkadaşları²⁹, kanola, soya, iç yağı ve kolza yağlarından etil ve metil esterler üretmişlerdir. Ürettikleri esterleri dizel motorunda kısa süreli testlerle denemişlerdir. Üretilen biyodizelleri kıyasladıklarında, etil esterlerin metil esterlere göre daha yüksek viskoziteye sahip olduğunu, akma ve bulutlanma noktalarının daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. 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 Hanna³⁰, 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 sayısı saptanmıştır. Yapılan deneylere göre, ester-etanol ve dizel yakıtı karışımlarının yoğunlukları 0,835–0,830 g/cm³ arasında değişmiştir. Ester-etanol karışımının setan sayısı, dizel yakıtına oranla daha yüksektir ve karışımdaki dizel yakıtı oranı arttıkça setan sayısı 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 arkadaşları³¹, sığır iç yağından farklı reaksiyon şartlarında NaOH kullanarak biyodizel üretmişlerdir. 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 arkadaşları³², 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 oranında artmış, partikül madde miktarı ise % 26 azalmıştır. % 100 biyodizel için NO_x miktarı % 11 artarken, partikül madde % 66, CO % 47 ve HC % 44 oranında azalmıştır.

Karaosmanoğlu ve arkadaşları³³, biyodizelin rafine aşamasında 50 °C sıcaklıktaki distile su ile yıkanmasının en iyi rafine prosesi olduğunu belirtmişlerdir. Sıcak su ile yıkama işleminden sonra biyodizelin saflığı yaklaşık % 99 olmuştur.

Canakci ve Gerpen³⁴, asit katalizör kullanarak, alkol/yağ molar oranı, reaksiyon sıcaklığı, katalizör miktarı, reaksiyon zamanı, su içeriği ve serbest yağ asidi miktarının biyodizel üretimindeki etkilerini incelemişlerdir. Reaksiyon süresi 48 saat, alkol/yağ molar oranı 6:1 ve % 3 sülfirik asit 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 alkol/yağ molar oranının etkisini görebilmek için, 3:1, 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/yağ 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 süresinin 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/yağ 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-bütanol kullanıldığında % 92,1 ve metanol kullanıldığında % 87,8 olarak tespit edilmiştir.

Tat ve Gerpen³⁵ yaptıkları çalışmalarda, 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. Karışım içerisindeki biyodizel miktarı arttıkça yoğunluk da 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.

Kinast³⁶, 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 kullanılarak 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 yüzdeli (% 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 3–6 °C arasında düşüş göstermiştir. Bulutlanma noktası testlerinde dizel yakıtının bulutlanma noktası -18 °C iken, % 1 biyodizel eklenmesi ile birlikte bulutlanma noktası 1–3 °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.

Çanakci ve Gerpen³⁷, 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 miktarı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Ulusoy ve Alibaş³⁸, ayçiçeği 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 etmişlerdir.

Kalum ve Maşjuki³⁹, palmiye yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile % 7,5 ve % 15 oranlarda karıştırarak 4 silindirli endirekt 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 karışımında 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 karışımında HC miktarı % 45 azalmıştır. Yapılan bu çalışmayla birlikte, motor yağında seyrelme meydana gelmiş ve motor yağının viskozitesi düşmüştür.

Çetinkaya ve Karaosmanoglu⁴⁰, kullanılmış kızartma yağından biyodizel üretmişlerdir. Alkol olarak metanol, katalizör olarak sodyum hidroksit 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 oranı 1:4 seçildiğinde, 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 seçildiğinde 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 olmuştur. 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 düşürülmüştür. Bu değeri yakalayabilmek için yedi yıkamanın yeterli olduğunu belirtmişlerdir.

Şanlı⁴¹, farklı alkol ve katalizör kullanımının biyodizelin özelliklerine etkisini incelemiştir. Hammadde olarak ayçiçeği, 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 seçildiği durumdaki biyodizel eldesi ile 9:1 arasındaki biyodizel eldesinin pek değişmediği görülmüştür. % 1 KOH kullanımı ile sağlanan yakıt özellikleri, % 1 NaOH ile sağlanamamıştır. Yine % 1,5 KOH kullanıldığında, biyodizel eldesi, % 1 kullanıma göre pek değişmemiştir. Ancak % 1,5 NaOH kullanıldığında biyodizelde jelleşme görülmüştür.

Lee ve arkadaşları⁴², common-rail dizel motorunda biyodizel-dizel yakıt karışımlarının yanma karakteristiklerini incelemiştir. 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 arkadaşları⁴³, 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 arkadaşları⁴⁴, kullanılmış kızartma yağından, alkol/yağ molar oranı 3:1–9:1, katalizör miktarı % 0,5–1,5, reaksiyon sıcaklığı 65–25 °C ve katalizör tipini değiştirerek biyodizel üretmişlerdir. Ürettikleri biyodizellerin yoğunluk, viskozite, akma-bulutlanma ve parlama noktalarını ölçmüşlerdir. 3:1 alkol/yağ molar oranı, % 1 KOH ve 65 °C reaksiyon sıcaklığında 2 saat sonunda ester dönüşümü % 70'e çıkmıştır. 6:1 oranda en iyi dönüşüm elde edilmiştir. 9:1 molar oran kullanıldığında gliserin tam olarak ayrıştırılmamış 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 ve % 1,5 katalizör olmak üzere, 65 °C reaksiyon sıcaklığında 6:1 molar oranında en yüksek ester dönüşümü % 1 KOH'te 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 °C ile -2,1 °C arasındadır.

Yamık ve İçingür⁴⁵, 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 sülfirik asit ve 65–85 °C sıcaklığında reaksiyon yaparak ürettikleri etil esterinin viskozitesi 7,48 mm²/s, yoğunluğu 0,89 g/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.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. MATERYAL

Deneylerde Kullanılan Kimyasal Maddeler (Analitik Saflıkta)

1. Metanol (CH_3OH)
2. Sodyum hidroksit (NaOH)
3. Potasyum hidroksit (KOH)
4. Sodyom metoksit (NaOCH_3)
5. Potasyum metoksit (KOCH_3)
6. Anilin
7. Hidroklorik asit (HCl)
8. Tiyosülfat
9. Nişasta
10. Kloroform (CHCl_3)
11. Asetik asit
12. Brom
13. Potasyum iyodür

Deneylerde Kullanılan Cihazlar

1. Koehler K23377 - 00000 Kinematic Viscosity Bath
2. Mettler-Toledo yoğunlukölçer cihazı,
3. Eltra Cs500 Carbon Sulfur Determinator,

4. Tanaka APM-6T-A Flash Point
5. IKA Calorimeter System C 2000 basic C 2000 control kalorimetre,
6. Sanyo Medikal Freezer derin dondurucu,
7. Gec-Avery hassas terazi
8. Chiltern Hotplate Hp-31E ısıtıcı
9. Kronometre
10. Termometre
11. Santrifüj Cihazı
12. Milestone Labstation 400 W mikrodalga fırın

2.2. BİTKİSEL YAĞLARIN BİYODİZELE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Çalışmamızda ham yağları ve bitkisel atık yağları biyodizele dönüştürmek için transesterifikasyon yöntemi seçildi. Hazır olarak satın alınan bitkisel yağlar ve Dicle Üniversitesi Yemekhanesinden temin edilen atık ayçiçeği yağı, metanol ile esterleştirildi. Katalizör miktarı, kullanılan yağın % 0,5'i kadar alındı.

Ağırlık ölçümleri yapıldıktan sonra, alkol ve katalizör önce başka bir kaptaki karıştırıldı. Ardından karışım yağın olduğu kaba eklenerek bir magnetik karıştırıcı yardımıyla belirlenen sıcaklığa kadar ısıtıldı. Alkol kaybının önlenmesi için, kondenser (yoğunlaştırıcı) kullanıldı. Reaksiyon sıcaklığı manyetik karıştırıcının termometresi ile kontrol edildi.

Reaksiyon süresi sona erdiğinde, karışım reaksiyon kabından alınıp dinlendirme kabında bekletildi. 5–10 dakika içinde gliserin-ester faz ayrışması oluştu (Resim 2.1). Yoğunluğu fazla olan gliserin dibe çökerken, ester üst kısımda kaldı. Karışım, ayrışmanın tam olabilmesi için ayırma hunisinde yaklaşık bir gün boyunca bekletildi. Beklemeden sonra, gliserin esterden ayrıştırıldı. Geriye kalan esterin içinde, reaksiyonda kullanılan alkol ve katalizör artıkları, reaksiyon sırasında oluşan sabun artıkları bulunmaktadır. Ester bu haliyle yakıt olarak kullanılamaz durumdadır. Ester, bu artık maddelerden ayrıştırılmak üzere yıkama işlemine tabi tutuldu. Yıkama işleminde, esterin ağırlığının üçte biri kadar, 60 °C sıcaklıkta saf su kullanıldı. Su ilavesinden sonra hafifçe çalkalanıp bekletildi. Yıkama işlemi dört kez yapıldı. Yoğunluğu daha yüksek olan su dibe çökerken, ester üst kısımda kaldı. (Resim 2.2). Daha sonra üretilen esterler, parametrelerine bakılmak üzere buzdolabında saklandı.



Resim 2.1. Gliserin-ester faz ayrımı



Resim 2.2. Su-ester faz ayrımı

Atık yağları biyodizele dönüştürmek için transesterifikasyon işleminden önce yabancı maddelerden uzaklaştırmak için filtreleme işlemi yapıldı.

Trasesterifikasyon işlemine etki eden parametreleri incelemek üzere reaksiyonlar farklı koşullarda gerçekleştirildi.

2.2.1. Yağ Türünün Etkisinin İncelenmesi

Çalışmamızda mısır, fındık, ayçiçeği ve soya fasulyesi bitkilerinin rafine yağları ve evsel atık yağlar kullanılmıştır. Kullanılan yağların bazı yakıt özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Yağların bazı yakıt özellikleri

Yağlar	Toplam molekül ağırlığı	Yoğunluk (15 °C)	Yoğunluk (50 °C)	Yağın hacmi (ml)
Mısırözü	872,81	0,923	0,90	966,57
Fındık	885,02	0,919	0,90	984,45
Ayçiçeği	877,22	0,925	0,91	969,30
Soya	882,82	0,925	0,91	975,50

2.2.2. Katalizör Türünün Etkisinin İncelenmesi

Katalizörün transesterifikasyona etkisini incelemek için, bütün yağ çeşitlerinde diğer parametreler (reaksiyon sıcaklığı, alkol-yağ molar oranı, reaksiyon süresi gibi) sabit tutularak NaOH, KOH, NaOCH₃ ve KOCH₃ katalizör olarak kullanıldı.

2.2.3. Reaksiyon Sıcaklığının Etkisinin İncelenmesi

Bitkisel yağları 25 °C (oda sıcaklığı) ve 60 °C'de esterleştirerek reaksiyon sıcaklığının biyodizel verimine etkisi incelendi.

2.2.4. Reaksiyon Süresinin Etkisinin İncelenmesi

Optimum reaksiyon süresini belirlemek için diğer koşullar sabit tutularak deneyler 25 °C için 3, 12 ve 24 saat, 60 °C için 1, 2 ve 4 saat uygulandı.

2.2.5. Alkol-Yağ Molar Oranın Etkisinin İncelenmesi

Optimum alkol-yağ molar oranını belirlemek amacıyla diğer parametreler sabit tutularak 3:1, 6:1, 10:1 alkol-yağ molar oranlarıyla 3 farklı deney yapıldı.

2.3. ELDE EDİLEN BİYODİZELLERİN YAKIT ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

2.3.1. Viskozite

Viskozite akış halinde olan bir sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır⁴⁶. Kinematik viskozitenin tayininde prensip, kısaca, numunenin sabit bir sıcaklıkta düşey bir boru içerisinde akıtılması ve boru üzerinde işaretlenmiş belirli bir mesafeyi geçmesi için geçen zamanın ölçülmesinden ibarettir. Yakıt besleme sisteminde yakıtın akıcılığı çok önemlidir. Yakıtın silindirler içinde atomizasyonu yanma performansı açısından çok önemlidir. Yüksek viskozite yakıtın fakir atomizasyonuna, kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine sebep olur. Yüksek viskozite yüksek pompalama basıncı gerektirir. Enjektörlerin püskürtülmesini azaltır. Biyodizelin viskozitesi yaklaşık 3,5–6 mm²/s kadardır. Hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça viskozite artar, çift bağ sayısı arttıkça viskozite azalır. Biyodizelin safsızlığı ve oksidasyon ürünleri viskoziteyi arttırır.

Elde edilen biyodizellerin kinematik viskoziteleri Koehler K23377-00000 Kinematic Viscosity Bath cihazıyla 40 °C’de ölçüldü. Akış süreleri kronometreyle tespit edildi. Akış sürelerinden viskozlukları hesaplandı.

Viskozite = c.t

c: Viskozimetre sabiti (Her viskozimetre borusunun üzerinde yazılıdır)

t: Akış zamanı(saniye)



Resim 2.3. Viskozite ölçme cihazı

2.3.2. Yoğunluk

Biyodizelin yoğunluğu ($860\text{--}900\text{ kg/m}^3$, $15\text{ }^\circ\text{C}$, EN 14214) fosil dizel yakıtına göre daha yüksektir ($820\text{--}845\text{ kg/m}^3$). Yoğunluk yakıt sarfiyatına ve yanma ısısına etki eder. Hidrokarbon zinciri uzadıkça yoğunluk azalır, çift bağ sayısı arttıkça yoğunluk artar.

Elde edilen biyodizellerin yoğunlukları Mettler -Toledo yoğunluk ölçme cihazı ile tayin edildi.



Resim 2.4. Mettlet-Toledo yoğunluk ölçme cihazı

2.3.3. Setan Sayısı

Dizel yakıtlarının tutuşma özelliğini belirtir⁴⁶. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesi süresini azaltır. Uzun düz zincirli doymuş hidrokarbonların setan sayısı yüksektir. Kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olan yakıtlar dizel vuruntusuna daha fazla eğilimlidir. Setan sayısı, yanma, kararlılık, sürülebilirlik ve CO, HC emisyonları gibi motor performans parametrelerini etkiler. Setan sayısı hidrokarbonların uzunluğu arttıkça artar, çift bağ sayısı arttıkça azalır. Orta veya uzun zincirli doymuş hidrokarbonların setan sayıları yüksektir Soya ve ayçiçeği yağının doymamışlığı yüksek olup setan sayıları düşüktür. Oksidasyon sonucu oluşan peroksitler setan sayısını artırır. Biyodizelin setan sayısının klasik dizel yakıtından yüksek olması yanma veriminin yüksek olmasını sağlar. Biyodizellerin setan sayısı anilin noktası yardımıyla hesaplandı.

$$\text{API Derecesi} = (141,5/d) - 131,5$$

$$\text{Setan sayısı} = \text{API derecesi}(15,6 \text{ }^\circ\text{C}) \times \text{Anilin Noktası}/100$$

$$(d=\text{yoğunluk})$$

Anilin noktasını bulmak için deney tüpleri iyice yıkandı ve 105 °C'de etüvde kurutuldu. İçine termometre ve karıştırıcı yerleştirilen hava ceketli deney tüpleri içine pipetle 10 ml anilin ve 10 ml kurutulmuş numune (biyodizel) konuldu. Numune hava kabarcıkları oluşturulmamasına dikkat edilerek kuvvetlice karıştırıldı. Sıcaklığı dakikada 2–3 °C artacak şekilde numune ile anilin faz farkı iyice kayboluncaya

kadar, hava ceketini doğrudan doğruya ısıtıldı. Karışımın tamamının aniden bulanıklaştığı sıcaklık anilin noktası olarak kaydedildi.

2.3.4. Isıl değer

Yakıtın birim kütlesi/hacmi başına alınan enerji miktarını belirler⁴⁶. Ağırlık sınırlaması olan araçlar için bu değer çok önemlidir. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça ısı değer artar. Doymamışlık arttıkça (hidrojen sayısı azaldıkça) ısı değer azalır. Biyodizelin ısı değeri oksijen içeriğinden dolayı (yaklaşık %11) fosil dizel yakıtına göre daha düşüktür. Aynı motor çalışma şartları altında biyodizelin güç ve torku daha düşüktür. Enjeksiyon hacmi artarsa aynı motor performansı elde edilebilir. Ancak yakıt sarfiyatı artar.

Biyodizellerin ısı değerleri IKA Calorimeter System kalorimetre cihazıyla tayin edildi.



Resim 2.5. IKA kalorimetre cihazı

2.3.5. Akış Özellikleri

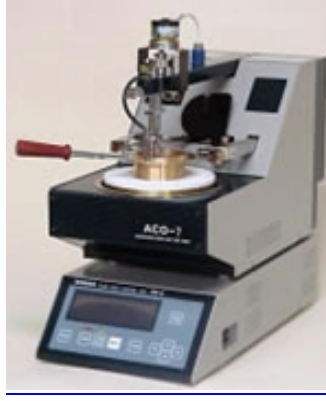
Bulutlanma-noktası, soğuk filtre tıkanma ve akma noktası yakıtın soğukta akış özelliğini belirtir⁴⁶. Düşük sıcaklıkta yakıt kalınlaşabilir ve uygun bir şekilde akmayarak yakıt yollarının ve enjektörlerin performansını etkiler. Akma noktası, biyodizelin hareket edebildiği en düşük sıcaklıktır. Doymuş hidrokarbonların bu değerleri yüksektir. Yüksek sıcaklıklarda kristalize olurlar. Hayvansal ve kızartma yağlarının doymuş hidrokarbon sayısı fazladır. Soğuk akış özelliği iyi olmayan yakıt kullanımı motorun yakıt besleme elemanlarına hasar verir. Ayrıca motorda ilk hareket problemleri oluşur.

Biyodizeller ağzı kapalı, içine termometre daldırılmış tüplere konuldu. Sanyo Medikal Freezer marka derin dondurucuda donduruldu. İlk harekete geçtiği sıcaklık ile bulutumsu görünümün başladığı sıcaklık tespit edildi.

2.3.6. Parlama Noktası

Parlama noktası, yakıt ısıtıldığında, yakıt üzerinde oluşan yakıt buharı ile hava karışımının tutuşabildiği en düşük sıcaklık olarak tanımlanabilir⁴⁶. 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.

Biyodizellerin parlama noktası Tanaka Flash Point cihazıyla belirlendi.



Resim 2.6. Tanaka Flash Point

2.3.7. Karbon ve Kükürt Tayini

Dizel yakıtındaki kükürt yakıtın önemli problemlerindendir. Bilindiği gibi egzoz borusundaki sülfür oksit hidrojenle reaksiyona girerek sülfürik asidi oluşturur ve asit yağmurlarına sebep verir.

Biyodizellerin yapısındaki karbon ve kükürt miktarı Carbon Sulfur cihazıyla belirlendi ve sonuçlar incelendiğinde biyodizellerin hemen hemen hiç kükürt içermediği görüldü.

2.3.8. İyot Sayısı

Yağ asitlerinin bazıları doymamış (olefinik) hidrokarbolardan oluşur. Herhangi bir yağdaki doymamış hidrokarbon oranı yağın erime noktasını doğrudan etkiler. Erime noktası doymuşluk oranı ile artar. Genel olarak, verilen bir yağdaki

doymamışlık oranı iyot ile tepkimeye sokularak bulunur. Bu durumda her bir HC=CH- çift bağı için bir mol iyot kullanılmış olur.

Yaklaşık 0,2 gram olarak tartılmış biyodizeller 10 ml kloroform (CHCl₃) içinde çözüldü ve üzerine 25 ml iyot-bromür çözeltisi (500 ml asetik asit, 4 ml brom ve 2,3g iyotun karışımıyla hazırlanan çözelti) eklendi. Çözelti karışımı karanlık bir yerde 3–4 dakika bekletildi. Karışıma bekleme süresi sonunda 100 ml saf su ve 20 ml % 10'luk KI çözeltisi eklenerek iyice karıştırıldı. Karışım içinde



Çözeltideki fazla iyot ayarlı tiyosülfat ile nişasta indikatörlüğünde titre edildi. Kullanılan tiyosülfat hacmine V₁ dendi. İçinde biyodizel bulunmayan ve öteki maddeleri (çözücü ve ayraçlar) içeren verilen miktardaki ikinci bir çözelti hazırlandı ve bu tiyosülfat ile titre edildi. Bu titrasyona kalibrasyon titrasyonu denir. Burada harcanan tiyosülfat çözeltisinin hacmine V₂ dendi.

Analiz için alınan yağ ağırlığı w, tiyosülfat çözeltisinin normalitesi N ise iyot değeri I_x

$$I_x = 12.69x(V_2 - V_1/w) \times N$$

bağıntısıyla hesaplandı.

BULGULAR VE TARTIŞMA

3. 1. MISIR YAĞININ TRANSESTERİFİKASYONU

3.1.1. Katalizörün Etkisi

Rafine edilmiş mısır yağını biyodizele çevirmek için tranesterifikasyon yöntemi seçildi. Bitkisel yağ/alkol molar oranı 1.6 olarak seçilip, yaklaşık 300 g. mısır yağı 60 g. metanol ve 1,5 g. katalizör (NaOH, KOH, NaOCH₃, KOCH₃) ile karıştırılarak 60 °C'de reflaks edildi. Reaksiyon kabının altında gliserin tabakası oluşunca karışım ayırma hunisine kondu. Bir gece bekledikten sonra iki faz elde edildi. Alttaki faz gliserin olarak alınıp santrifüjlendi, üstteki faz ise (metil ester fazı) sıcak su ile nötralleşene kadar yıkanıp, vakumlu desikatörde kurutuldu. Elde edilen biyodizel örneklerinin parametrelerine bakıldı.

Mısır yağı metanol ile NaOH katalizörü eşliğinde esterleştirildiğinde % 97 verim, KOH katalizörü eşliğinde esterleştirildiğinde % 95 verim, NaOCH₃ katalizörü eşliğinde esterleştirildiğinde % 90,5 verim ve KOCH₃ katalizörü eşliğinde esterleştirildiğinde % 88 verim alındı. Elde edilen biyodizel örneklerinin yakıt özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir:

Tablo 3.1. Mısır yağından farklı katalizör kullanıldığında elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri:

Yakıt Özellikleri	Mısır yağının metil esteri				ASTM	EN	Dizel
	NaOH	KOH	NaOCH ₃	KOCH ₃	D 6751	14214	
Ester verimi	% 97	% 95	% 90,5	% 88			
% C	65,51	67,95	65,52	66,25			
% S (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,35	15 ppm	10 ppm	< 0,5
Kinematik viskozite (mm ² /s)	4,15	4,29	4,26	4,12	1,9-6,0	3,5-5,0	2,5-3,5
Isıl değer (MJ/kg)	39,92	41,71	40,75	40,15			42,7
Yoğunluk (g/cm ³)	0,8842	0,8684	0,8782	0,8760	0,82-0,86	0,86-0,90	0,82-0,86
Parlama noktası (°C)	168	175	168	152	min. 120	min. 101	> 55
İyot sayısı	73,7	70,5	74,2	70,2		max.120	
Akma noktası (°C)	> -30	-30	-32	-28	-33		-33
Bulutlanma noktası (°C)	-11	-10	-9	-12			-16
Setan sayısı	52,14	51,16	49,55	48,50	min. 47	min. 51	49-55
pH	5,352	5,455	5,352	5,349			

Ester verimlerine bakıldığında en yüksek verim NaOH katalizörü eşliğinde alındı. Bu nedenle reaksiyon sıcaklığının etkisini incelemek için mısır yağı NaOH katalizörü kullanılarak esterleştirildi.

3.1.2. Reaksiyon Sıcaklığının Etkisi

Yağ ve alkol arasındaki transesterifikasyon verimini etkileyen faktörlerden biri reaksiyonun yapıldığı ortamın sıcaklığıdır. Bu amaçla 1:6 yağ/alkol molar oranında mısır yağı ve metanol, 1,5 g NaOH ile 25 °C ve 60 °C'de reaksiyona sokuldu.

Ester verimleri incelendiğinde; sıcaklık yükseldikçe verimin önemli ölçüde arttığı görüldü. Bu da yüksek sıcaklığa ulaşmak için gereken enerji maliyetinin göze alınabileceği anlamındadır.

Tablo 3.2. Mısır yağından 25 °C’de ve 60 °C’de elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri:

Yakıt Özellikleri	Mısır yağının metil esteri		ASTM D 6751	EN 14214	Dizel
	60 °C	25 °C			
Ester verimi	% 97	% 75			
% C	65,51	87,50			-
% S (ppm)	0.00	02,6	15 ppm	10 ppm	< 0,5
Kinematik viskozite (mm ² /s)	4,15	4,12	1,9-6,0	3,5-5,0	2,5-3,5
Isıl değer (MJ/kg)	39,92	40,15			42,7
Yoğunluk (g/cm ³)	0,8842	0,8654	0,82-0,86	0,86-0,90	0,82-0,86
Parlama Noktası (°C)	168	110	min. 120	min. 101	> 55
İyot sayısı	73,7	65,0		max.120	
Akma noktası (°C)	> -30	>-30	-33		-33
Bulutlanma noktası (°C)	-11	-15			-16
Setan sayısı	52,14	45,5	min. 47	min. 51	49-55
pH	5,352	7,890			

3.1.3. Reaksiyon Süresinin Etkisi

Reaksiyon süresinin transesterifikasyona etkisini incelemek için deneyler 25 °C’de 3 grupta yapıldı. Oda sıcaklığındaki bu deneyler 3, 12 ve 24 saat sonra sonlandırıldı.

Tablo 3.3. Mısır yağından 3,12 ve 24 saat süreyle 25 °C’de elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri:

Yakıt Özellikleri	Mısır yağının metil esteri			ASTM D6751	EN 14214	Dizel
	3 saat	12 saat	24 saat			
Ester verimi	% 75	% 79,5	% 88			
% C	87,50	77,50	85,22			-
% S (ppm)	0,00	0,00	0,18	15 ppm	10 ppm	< 0,5
Kinematik viskozite (mm ² /s)	4,12	4,98	5,27	1,9-6,0	3,5-5,0	2,5-3,5
Isıl değer (MJ/kg)	40,15	39,75	40,22			42,7
Yoğunluk (g/cm ³)	0,8654	0,8702	0,8779	0,82-0,86	0,86-0,90	0,82-0,86
Parlama Noktası (°C)	110	118	124	min. 120	min. 101	> 55
İyot sayısı	65	66	70		max.120	
Akma noktası (°C)	>-30	>-30	>-30	-33		-33
Bulutlanma noktası (°C)	-15	-12	-14			-16
Setan sayısı	45,5	47	45	min. 47	min. 51	49-55
pH	7,890	7,956	8,891			

Benzer şekilde 60 °C’de reaksiyon süresi 1, 2 ve 4 saat olarak değiştirildi. Optimum reaksiyon süresini bulmak amacıyla yapılan deneylerde 1 saat sonunda % 72,5 verim alındığı görüldü. 2 saatin sonunda ise % 97’lik bir verimin olduğu, 4 saatin sonunda ise verimin % 98,5’e çıktığı sonucuna varılmıştır. Ancak, yaklaşık % 2’lik verim farkı reaksiyon süresini 2 katına çıkarmak için yeterli olmayan bir değerdir. Bu sebeple diğer parametreleri belirlemek için daha sonra gerçekleştirilecek olan deneylerde reaksiyon süresi 2 saat alınacaktır.

Tablo 3.4. Mısır yağından 1, 2 ve 4 saat süreyle 60 °C’de elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri:

Yakıt Özellikleri	Mısır yağının metil esteri			ASTM D 6751	EN 14214	Dizel
	1 saat	2 saat	4 saat			
Ester verimi	% 72,5	% 97	% 98,5			
% C	71,52	65,51	68,22			-
% S (ppm)	0,00	0,00	0,00	15 ppm	10 ppm	< 0,5
Kinematik viskozite (mm ² /s)	4,47	4,15	4,20	1,9-6,0	3,5-5,0	2,5-3,5
Isıl değer (MJ/kg)	39,15	39,92	40,56			42,7
Yoğunluk (g/cm ³)	0,8654	0,8842	0,8779	0,82-0,86	0,86-0,90	0,82-0,86
Parlama Noktası (°C)	155	168	165	min. 120	min. 101	> 55
İyot sayısı	73	73,7	75		max. 120	
Akma noktası (°C)	>-30	> -30	>-30	-33		-33

Bulutlanma noktası (°C)	-10	-11	-11			-16
Setan sayısı	50,23	52,14	55	min. 47	min. 51	49-55
pH	5,212	5,352	5,556			

3.1.4. Alkol-Yağ Molar Oranının Etkisi

Optimum yağ/alkol oranını belirlemek amacıyla diğer parametreler sabit tutularak 1/3, 1/6, 1/10 yağ/alkol molar oranları için 3 farklı deney yapılmıştır. 1,5 gram NaOH sırasıyla 45 ml, 75 ml ve 120 ml metanol ile karıştırılıp 300 gram mısır yağı ile esterleştirildi. Elde edilen biyodizellerin verimleri hesaplandığında 1/3 yağ/alkol oranı için biyodizel verimi % 77 civarındayken aynı şartlarda yağ/alkol oranı 1/6 alındığında biyodizel verimi % 97'lere kadar çıkmaktadır. Fakat alkol miktarının daha fazla artmasıyla biyodizel verimi de düşmektedir. Yağ/alkol oranı 1/10 alındığında transesterifikasyon verimi tekrar % 90 civarına düşmektedir. Alkol miktarının artmasıyla reaksiyon veriminin düşmesi ise şu şekilde açıklanabilir: Yağ ve alkol birbiri içinde çözünmezken, reaksiyon ortamında bulunan ve katalizör görevi gören sodyum metoksit ise alkolde iyi bir şekilde çözünmektedir. Bu sebeple reaksiyon ortamında fazla alkol bulunması, hem reaksiyona girenlerin daha iyi karışmasına engel olmakta hem de ortamdaki katalizörü seyrelterek aktivitesini azaltmakta olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3.5. Mısır yağından 1/3, 1/6 ve 1/10 yağ/alkol molar oranı ile 60 °C’de elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri:

Yakıt Özellikleri	Mısır yağının metil esteri			ASTM D 6751	EN 14214	Dizel
	1/3	1/6	1/10			
Ester verimi	% 77	% 97	% 90			
% C	60,25	65,51	68,22			-
% S (ppm)	0,00	0,00	0,00	15 ppm	10 ppm	< 0,5
Kinematik viskozite (mm ² /s)	4,09	4,15	4,03	1,9-6,0	3,5-5,0	2,5-3,5
Isıl değer (MJ/kg)	40,25	39,92	40,37			42,7
Yoğunluk	0,8222	0,8842	0,8324	0,82-0,86	0,86-0,90	0,82-0,86
Parlama Noktası (°C)	145	168	148	min. 120	min. 101	> 55
İyot sayısı	72	73,7	76,2		max.120	
Akma noktası (°C)	>-30	> -30	>-30	-33		-33
Bulutlanma noktası (°C)	-10	-11	-11			-16
Setan sayısı	50,40	52,14	53,20	min. 47	min. 51	49-55
pH	5,123	5,352	5,354			

3.1.5. Mısır Yağı-Petrol Dizeli Karışımlarının Viskozite ve Yoğunluk Özelliklerinin Değişimi

Rafine edilmiş mısır yağı ile metanol 60 °C’de NaOH katalizörlüğünde esterleştirilerek elde edilen biyodizel örneği petrol dizeli ile belli oranlarda karıştırılarak elde edilen karışımların viskozite ve yoğunluk özelliklerine bakıldı.

- B 10 (% 90 petrol dizeli + % 10 biyodizel)
B 20 (% 80 petrol dizeli + % 20 biyodizel)
B 30 (% 70 petrol dizeli + % 30 biyodizel)
B 40 (% 60 petrol dizeli + % 40 biyodizel)
B 50 (% 50 petrol dizeli + % 50 biyodizel)
B60 (% 40 petrol dizeli + % 60 biyodizel)
B70 (% 30 petrol dizeli + % 70 biyodizel)
B80 (% 20 petrol dizeli + % 80 biyodizel)
B90 (% 10 petrol dizeli + % 90 biyodizel)
B100 (% 100 biyodizel)

Tablo 3.6. Biyodizel ve petrol dizeli karışımlarının bazı yakıt özellikleri:

	Kinematik viskozite (mm ² /s)	Yoğunluk (g/cm ³)
B10	3,9668	0,8205
B20	3,9202	0,8248
B30	3,9758	0,8300
B40	3,9805	0,8349
B50	3,9862	0,8405
B60	3,9909	0,8458
B70	3,9961	0,8501

B80	4,0602	0,8549
B90	4,0658	0,8593
B100	4,0694	0,8642

3.1.6. Mikrodalga Kullanılarak Mısır Yağından Biyodizel Eldesi

Mikrodalga, elektromagnetik spektrumda IR ile radyo dalgalarının arasında kalan, dalga boyu 300.000–1.000.000.000 nm olan bir enerji formudur. Moleküller sürekli bir dipole sahip oldukları zaman bir elektrik akımı oluşur. Bu moleküller sürekli salınım yapar ve her bir salınımda yönelme değişir. Molekülün tekrar yönelmesiyle meydana gelen güçlü salınımlar, dakikada 10 dereceye kadar içten güçlü bir ısınmaya neden olur. Bundan dolayı birçok endüstriyel, bilimsel ve tıbbi uygulamalarda bu ışınlardan kullanılmaktadır⁴⁷.

Mısır yağı metanol ile 1:10 yağ/alkol molar oranında karıştırılarak NaOH katalizörlüğünde mikrodalga kullanılarak esterleştirildi. Bu reaksiyondaki amaç esterleşmenin daha kısa sürede olmasını sağlamaktır. Yapılan deneylerde; geleneksel ısıtma ile 60 °C’de 2 saat sonunda % 97 verim alınırken, mikrodalga kullanılarak sadece 5 dakikada % 98 verim elde edildiği görüldü.

Ayrıca mikrodalga ile reaksiyon süreleri de incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edildi. 5. dakikadan sonra meydana gelen verim düşüşünün sabunlaşmadan dolayı olduğu düşünüldü.

Tablo 3.7. Mısır yağının mikrodalgada esterleşmesine reaksiyon süresinin etkisi

	SÜRE						
	1 dak.	2 dak.	3 dak.	4 dak.	5 dak.	6 dak.	7 dak.
Ester verimi	% 82,5	% 87	% 92,5	% 95,5	% 98	% 96	% 91,5

Tablo 3.8. Mikrodalga kullanılmasıyla mısır yağından elde edilen biyodizelin yakıt özellikleri:

Yakıt Özellikleri	Mısır yağının metil esteri		ASTM D6751	EN 14214	Dizel
	Geleneksel Isıtma	Mikrodalga			
Ester verimi	% 97	% 98			
% C	65,51	76,12			-
% S (ppm)	0,00	0,00	15 ppm	10 ppm	< 0,5
Kinematik viskozite	4,15	3,52	1,9-6,0	3,5-5,0	2,5-3,5
Isıl değer (MJ/kg)	39,92	42,72			42,7
Yoğunluk	0,8842	0,8536	0,82-0,86	0,86-0,90	0,82-0,86
Parlama Noktası (°C)	168	167	min. 120	min. 101	> 55
İyot sayısı	73,7	93,5		max.120	
Akma noktası (°C)	> -30	>-31	-33		-33
Bulutlanma noktası	-11	-14			-16
Setan sayısı	52,14	51,98	min. 47	min. 51	49-55
pH	5,352	6,858			

3.2. FINDIK YAĞININ TRANSESTERİFİKASYONU

3.2.1. Katalizörün etkisi

Rafine edilmiş fındık yağı, metanol ile 1,5 gram katalizör (NaOH, KOH, NaOCH₃, KOCH₃) eşliğinde karıştırılarak 60 °C’de esterleştirildi.

Fındık yağı metanol ile NaOH katalizörü eşliğinde esterleştirildiğinde % 88,2 verim, KOH katalizörü eşliğinde esterleştirildiğinde % 95,5 verim, NaOCH₃ katalizörü eşliğinde esterleştirildiğinde % 73,5 verim ve KOCH₃ katalizörü eşliğinde esterleştirildiğinde % 88,6 verim alındı. Elde edilen biyodizel örneklerinin yakıt özellikleri Tablo 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.9. Fındık yağından farklı katalizör kullanıldığında elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri:

Yakıt Özellikleri	Fındık yağının metil esteri				ASTM	EN	Dizel
	NaOH	KOH	NaOCH ₃	KOCH ₃	D 6751	14214	
Ester verimi	% 88,2	% 95,5	% 73,5	% 88,6			
% C	63,67	60,65	61,06	65,23			-
% S (ppm)	0,00	1,73	0,32	0,00	15 ppm	10 ppm	< 0,5
Kinematik viskozite (mm ² /s)	4,72	5,62	4,51	5,20	1,9-6,0	3,5-5,0	2,5-3,5
Isıl değer (MJ/kg)	38,45	41,71	43,23	40,23			42,7
Yoğunluk (g/cm ³)	0,8743	0,8912	0,8735	0,8732	0,82-0,86	0,86-0,90	0,82-0,86
Parlama Noktası (°C)	168	150	184	152	min. 120	min. 101	> 55
İyot sayısı	80,45	73,2	71,8	72,0		max.120	
Akma noktası (°C)	-13	-15	-15	-14	-33		-33
Bulutlanma noktası (°C)	-6	-10	-9	-9			-16
Setan sayısı	50,25	53,25	48,23	49,50	min. 47	min. 51	49-55
pH	5,562	4,5460	5,327	6,374			

3.3. AYÇİÇEĞİ YAĞININ TRANSESTERİKASYONU

3.3.1. Katalizörün etkisi

Rafine ayçiçeği yağı metanol ile 1:6 yağ-alkol molar oranı ile transesterifikasyon yöntemi ile esterleştirildi. Reaksiyon sırasında farklı katalizörler kullanılarak (NaOH, KOH, NaOCH₃, KOCH₃) katalizörün etkisi incelendi.

Ayçiçeği yağından NaOH katalizörü ile % 89,4 verim, KOH katalizörü ile % 95,3 verim, NaOCH₃ katalizörü ile % 87,2 verim ve KOCH₃ katalizörü ile % 89,8 verim elde edildi. Biyodizel örneklerinin yakıt özellikleri Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10. Ayçiçeği yağından farklı katalizör kullanıldığında elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri:

Yakıt Özellikleri	Ayçiçeği yağının metil esteri				ASTM D 6751	EN 14214	Dizel
	NaOH	KOH	NaOCH ₃	KOCH ₃			
Ester verimi	% 89,4	% 95,3	% 87,2	% 89,8			
% C	60,24	62,75	61,62	66,72			-
% S (ppm)	0,00	0,07	0,35	0,09	15 ppm	10 ppm	< 0,5
Kinematik viskozite (mm ² /s)	4,59	4,04	4,08	5,74	1,9-6,0	3,5-5,0	2,5-3,5
Isıl değer (MJ/kg)	38,59	39,76	43,52	56,23			42,7
Yoğunluk (g/cm ³)	0,8827	0,8722	0,8125	0,8970	0,82-0,86	0,86-0,90	0,82-0,86
Parlama Noktası (°C)	159	126	145	150	min. 120	min. 101	> 55
İyot sayısı	86,5	101,6	69,5	75,3		max.120	
Akma noktası (°C)	-15	-25	-19	-17	-33		-33
Bulutlanma noktası (°C)	-7	-15	-10	-9			-16
Setan sayısı	53,25	49,95	46,80	48,25	min. 47	min. 51	49-55
pH	4,237	4,221	6,256	5,699			

3.3.2. Atık Ayçiçeği Yağından Biyodizel Eldesi

Atık bitkisel yağlar biyodizel üretiminde en önemli kaynaklardan biridir. Atık yağlar kullanılmasındaki amaç ticari olarak biyodizel üretimindeki maliyeti düşürmektir.

Dicle Üniversitesi Yemekhanesinden alınan atık ayçiçeği yağı süzöldükten sonra metanol ile karıştırılarak transesterifikasyona tabi tutuldu. Katalizör olarak NaOH ve KOH kullanıldı.

Tablo 3.11. Ayçiçeği yağından farklı katalizör kullanıldığında elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri

Yakıt Özellikleri	Ayçiçeği yağının metil esteri		Atık ayçiçeği yağının metil esteri		ASTM D 6751	EN 14214	Dizel
	NaOH	KOH	NaOH	KOH			
Ester verimi	% 89,4	% 95,3	% 94,6	% 92,7			
% C	60,24	62,75	61,53	59,82			-
% S (ppm)	0,00	0,07	0,00	0,00	15 ppm	10 ppm	< 0,5
Kinematik viskozite (mm ² /s)	4,59	4,04	4,30	4,17	1,9-6,0	3,5-5,0	2,5-3,5
Isıl değer (MJ/kg)	38,59	39,76	40,05	39,93			42,7
Yoğunluk (g/cm ³)	0,8827	0,8722	0,8855	0,8855	0,82-0,86	0,86-0,90	0,82-0,86
Parlama Noktası (°C)	159	126	164	162	min. 120	min. 101	> 55
İyot sayısı	86,5	101,6	94,68	92,40		max.120	
Akma noktası (°C)	-15	-25	-9	-9	-33		-33
Bulutlanma noktası (°C)	-7	-15	-5	-5			-16
Setan sayısı	53,25	49,95	47,24	46,67	min. 47	min. 51	49-55
pH	4,237	4,221	8,506	8,488			

3.4. FINDIK YAĞI VE AYĐIĐEĐI YAĞI KARIŞIMLARININ TRANSESTERİFİKASYONU

3.4.1. Katalizörün etkisi

Rafine edilmiş findık yağı ve ayđiđeđi yağı 1:1 oranlarında karıştırılarak elde edilen karışım yağı metanol ve 1,5 g. katalizör (NaOH, KOH, NaOCH₃, KOCH₃) ile karıştırılarak 60 °C’de esterleştirildi. Elde edilen metil esterin yakıt özellikleri Tablo 3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.12. Fındık yağı ve ayçiçeği yağı karışımından farklı katalizör kullanıldığında elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri:

Yakıt Özellikleri	Fındık+ayçiçeği yağının metil esteri				ASTM	EN	Dizel
	NaOH	KOH	NaOCH ₃	KOCH ₃	D 6751	14214	
Ester verimi	% 94,9	% 92,5	% 91,7	% 80,67			
% C	66,54	64,55	65,24	61,86			-
% S (ppm)	0,00	0,20	0,15	0,05	15 ppm	10 ppm	< 0,5
Kinematik viskozite (mm ² /s)	4,57	5,32	5,34	5,50	1,9-6,0	3,5-5,0	2,5-3,5
Isıl değer (MJ/kg)	39,56	40,23	40,25	39,56			42,7
Yoğunluk (g/cm ³)	0,8810	0,8871	0,8882	0,8952	0,82-0,86	0,86-0,90	0,82-0,86
Parlama Noktası (°C)	166	154	150	144	min. 120	min. 101	> 55
İyot sayısı	83,5	83,2	72,9	70,8		max.120	
Akma noktası (°C)	-17	-15	-18	-16	-33		-33
Bulutlanma noktası (°C)	-11	-8	-10	-10			-16
Setan sayısı	51,35	49,25	50,23	48,23	min. 47	min. 51	49-55
pH	5,356	4,156	4,256	4,142			

3.5. SOYA YAĞININ TRANSESTERİKASYONU

3.5.1. Katalizörün etkisi

Rafine soya yağı metanol ile 1:6 yağ-alkol molar oranı ile transesterifikasyon yöntemi ile esterleştirildi. Reaksiyon sırasında farklı katalizörler kullanılarak (NaOH, KOH, NaOCH₃, KOCH₃) katalizörün etkisi incelendi.

Soya yağından NaOH katalizörü ile % 92,3 verim, KOH katalizörü ile % 89,3 verim, NaOCH₃ katalizörü ile % 86,9 verim ve KOCH₃ katalizörü ile % 85,4 verim elde edildi. Biyodizel örneklerinin yakıt özellikleri Tablo 3.13'de verilmiştir.

Tablo 3.13. Soya yağından farklı katalizör kullanıldığında elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri:

Yakıt Özellikleri	Soya yağının metil esteri				ASTM D 6751	EN 14214	Dizel
	NaOH	KOH	NaOCH ₃	KOCH ₃			
Ester verimi	% 92,3	% 89,3	% 86,9	% 85,4			
% C	68,57	69,18	65,26	62,53			-
% S (ppm)	0,38	0,00	0,15	0,12	15 ppm	10 ppm	< 0,5
Kinematik viskozite (mm ² /s)	4,27	4,57	4,08	4,49	1,9-6,0	3,5-5,0	2,5-3,5
Isıl değer (MJ/kg)	40,52	39,58	43,52	50,25			42,7
Yoğunluk (g/cm ³)	0,8795	0,8812	0,8125	0,8802	0,82-0,86	0,86-0,90	0,82-0,86
Parlama Noktası (°C)	174	168	145	170	min. 120	min. 101	> 55
İyot sayısı	101,3	98,57	97,23	89,25		max.120	
Akma noktası (°C)	-13	-12	-11	-9	-33		-33
Bulutlanma noktası (°C)	-7	-9	-5	-6			-16
Setan sayısı	52,15	50,15	48,44	49,23	min. 47	min. 51	49-55
pH	5,237	6,682	7,488	5,6956			

SONUÇLAR

Yaşam kalitesini belli bir düzeyde sürdürmek için gerekli enerji tüketimi sürekli olarak artmaktadır. Maalesef enerji kaynakları aynı oranda artmamakta hatta azalmaktadır. Fosil yakıtların tükenmesi, ülkelerin ithal petrole olan bağımlılıklarını azaltma hedefleri yanında yaşanan küresel iklim değişikliği sorunu, hava ve su kalitesindeki düşüş ve insan sağlığı sorunları, yasal düzenlemeler bilim adamlarını yeni enerji kaynaklarının keşfi için zorlamaktadır. Dünya genelinde yoğun olarak araştırılan alternatif yakıtlardan biri de biyodizeldir.

Petrol türevli dizel yakıtı, alternatif yakıt olarak geliştirilen biyodizelin üretim hammaddesi yağlardır. Bitkisel/hayvansal veya kullanılmış yemek yağları katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile transesterifikasyon işlemi sonucu biyodizel üretilmektedir. Yan ürün olarak da gliserin oluşmaktadır.

Bu çalışmada biyodizel üretimi, bitkisel yağların (mısır yağı, fındık yağı, ayçiçeği yağı, fındık-ayçiçeği yağı karışımı, soya yağı ve atık bitkisel yağlar) metanol ve alkali katalizör ile karıştırılması esasına dayalı transesterifikasyon yöntemine göre yapıldı. Geliştirilen farklı reaksiyon koşulları ile katalizörün etkisi, reaksiyon sıcaklığı ve süresinin etkisi, alkol/yağ molar oranının etkisi incelenerek en iyi çalışma şartları belirlenmeye çalışıldı.

Bütün bu çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Mısır yağı ile yapılan deneylerde farklı katalizör kullanıldığında en yüksek verimin NaOH ile alındığı gözlemlendi. Aynı katalizör ile yapılan deneylerde sıcaklığın artması ile verimin arttığı görüldü. Reaksiyon süresi de arttırılınca verimin arttığı ancak belli bir süre sonra tekrar düşük verim alındığı görüldü. Aynı şekilde alkol/yağ molar oranının artması ile verimin arttığı tespit edildi. Fakat alkol-yağ molar oranı 10:1 olarak yükseltildiğinde verimin düştüğü görüldü. Bunun nedeni ise alkol miktarının artırıldığı durumlarda sabunlaşmanın meydana gelmesidir. Sonuç olarak mısır yağı için optimum reaksiyon koşulu NaOH katalizörlüğünde, 6:1 alkol-yağ molar oranı, 60 °C sıcaklık ve 2 saat süre olarak belirlendi.
- Mısır yağının mikrodalga ile yapılan esterleşme reaksiyonunda geleneksel ısıtma yönteminden daha yüksek verim elde edildi. Bu da ileride yapılabilecek çalışmaların zaman tasarrufu nedeniyle bu yöne kaydırılabileceğini düşündürdü.
- Fındık yağı, ayçiçeği yağı ve bu yağların eşit oranlarda karıştırılmasıyla yapılan deneylerde en yüksek verime KOH katalizörlüğünde erişildi.
- Atık bitkisel yağları değerlendirmek ve ekonomik olarak maliyeti düşürmek amacıyla kullanılmış ayçiçeği yağından da yüksek verimler elde edildiği gözlemlendi.

- Soya yağının transesterifikasyonunda en yüksek verim NaOH katalizörlüğünde alındı.
- Sonuç olarak; bütün biyodizel örneklerinin yakıt özelliklerinin standartlara uygun olduğu ve bu nedenle dizel motorlarda kullanılabileceği görüldü.

Biyodizel üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Türkiye'de kolza (kanola), ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı mümkündür. Türkiye hükümetinin aldığı son tasarruf önlemleri kapsamında tarımda sadece kanola ve soya ekimine destek verilme kararı alınmıştır. Bu bitkilerin ekimi ek bir bedelle desteklenmektedir. Kışı ılıman geçen bölgelerde bu bitkiler ikinci ürün olarak da ekilebilir. Tarımı sorunsuz ve maliyeti buğday ve ayçiçeğinden az olan soya, Türk çiftçisi için önemli bir kurtarıcı olacaktır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 10 milyon dekar alanda sulu tarım olanağı vardır; bölgede pamuk bitkisinin yanı sıra dönüşümlü olarak soya ekimi olumlu olacaktır. Çok genel bir hesaplama ile, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde soya ekimi ve biyodizel üretimi ile yılda 1.5 milyon ton biyodizel üretilebileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- 1) [http:// www.biyoyakit.net](http://www.biyoyakit.net) (Erişim tarihi: 07/08/2009).
- 2) Fangrui, M.; Milford, A., “*Biodiesel Production: a review*”, Bioresource Technology, 70: 1-15, 1999.
- 3) Karaosmanoğlu, F.; “*Biyomotorin ve Türkiye*” , [http:// www.biyomotorin-biyodiesel.com](http://www.biyomotorin-biyodiesel.com) (Erişim tarihi: 01/09/2009).
- 4) [http:// www.biyoyakit.net](http://www.biyoyakit.net) (Erişim tarihi: 03/01/2010).
- 5) [http:// www.iee.gov.tr/biyoenenerji/biyodizel](http://www.iee.gov.tr/biyoenenerji/biyodizel) (Erişim tarihi: 15/01/2010).
- 6) [http:// www.albiyobir.org.tr/biyodizel.htm](http://www.albiyobir.org.tr/biyodizel.htm), “*Biyodizel. Alternatif enerji ve Biyodizel reticileri Birliği*”, (Erişim tarihi: 25/01/2010).
- 7) Thuneke, K.; Rmmele, E.; Widmann, B.; Wilharm, T.; “*Standardisation of rapeseed oil as a fuel 1st World Conference and Exhibition on biomass for Energy and Industry*”, 5-9 June Sevilla, Spain. Volume I, P.532-535, 2000.
- 8) Erdoğan, D.; Muhammed, A.; “*Yakıt Olarak Kullanılan Bazı Bitkisel Yağların Dizel Motor Performanına Etkileri*”, Tarımsal Mekanizasyon 17. Ulusal Kongresi, Tokat, 1997.

9) Peterson, C. L.; Wagner, G. L.; Auld, D. L.; “*Vegetable Oils Substitutes for Diesel Fuel*”, Trans. Of ASAE, 322-327, **1983**.

10) Acaroglu, M.; “*Biyomotorin Yakıtı*”, Alternatif Enerji Kaynakları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 75-78, 229-256, **2003**.

11) Yamık, H.; “*Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması*”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 71-142, **2002**.

12) Altun, Ş.; Gür, A. M.; “*Bitkisel Yağların Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarında Kullanılması*”, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 35-42, **2005**.

13) [http:// www.genbilim.com.tr](http://www.genbilim.com.tr), (Erişim tarihi: 17/02/2010).

14) Hanra, M. A.; Clements, L, D.; “*The Effect of Mixing on Transesterification of Beef Tallow*”, Bioresource Technology, 69, 289-293, **1999**.

15) Zhang, Y.; Dube, M. A.; McLean, D. D.; Kates, M.; “*Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment*”, Bioresource Technology, 89:1-16, **2003**.

- 16) Gümüşkesen, A. S.; Yemişçioğlu, F.; “*Bitkisel Yağ Teknolojisi*”, II. Baskı, Asya Tıp Yayıncılık Ltd. Şti., İzmir, s.224, **1999**.
- 17) Goering, C. E.; Schwab, A. W.; Dangherty, M. J.; Pryde, E. H.;Heakin, A. J.; “*Fuel Properties of Eleven Vegetable Oils*”, Trans. of ASAE, 25(6), 1472-1477, **1982**.
- 18) 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**.
- 19) 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**.
- 20) Lague, C. M.; Lo, K. V.; Staley, L. M.; “*Waste Vegetable Oil as a Diesel Fuel Extender*”, Canadian Agricultural Engineering, 30, 27-32, **1987**.
- 21) Cıgızoğlu, K. B.; Özaktaş, T.; Karaosmanoğlu, F.; “*Used Sunflower Oil as an Alternative fuel for Diesel Engine*”, Energy Sources, 19, 559-566, **1997**.
- 22) Demirsoy, M.; Kındırğioğlu, K.; “*Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Değişik Yağların Kullanılması*”, 1. Uluslararası Katılımlı Otomotiv Teknoloji Kongresi, Adana, **1997**.

23) Tomasevic, A.V.; Marinkovic, S.S.; “*Methanolysis of Used Frying oils*”, Fuel Process Technology, 81, 1-6, **2003**.

24) 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**.

25) 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**.

26) Sims, R. E.; “*Tallow Esters as an Alternative Diesel Fuel*”, Trans. of ASAE, 28 (3), 716-721, **1985**.

27) 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**.

28) Işığür, A.; Karaosmanoğlu, F.; Aksoy, H. A.; Hamdullahpur, F.; 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**.

- 29)** Peterson, C. L.; Reece, D. L.; Beck, S. M.; “*Processing, Characterization and Performance of Eight Fuels from Lipids*”, ASAE Meeting Presentation, paper no 946531, **1994**.
- 30)** Ali, Y.; Hanna, M. A.; “*Physical properties of Tallow Ester and Diesel Fuel Blends*”, Bioresource Technology, 47, 131-134, **1994**.
- 31)** 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**.
- 32)** Graboski, M. S.; Ross, J. D.; McCormick, R. L.; “*Transient Emissions from No. 2 Diesel and Biodiesel Blends in a DDC Series 60 Engine*”, SAE paper 961166, 55-62, **1996**.
- 33)** Karaosmanoğlu, F.; Cıgızoğlu, M. T.; Tüter, M.; Ertekin, S.; “*Investigation of the Refining Step of Biodiesel Production*”, Energy&Fuels, 10, 890-895, **1996**.
- 34)** Canakci, M.; Van Gerpen J. H.; “*Biodiesel Production Via Acid Catalysis*”, Trans. of ASAE, 42 (5), 1203-1210, **1999**.
- 35)** Tat, M. E.; Van Gerpen, J. H.; “*The Kinematic Viscosity of Biodiesel and Its Blends with Diesel Fuels*”, JAOCS, 76 (12), 1511-1513, **1999**.

36) 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**.

37) Canakci, M.; Van Gerpen J.; “*Biodiesel Production from Oils and Fats with High Free Fatty Acids*”, Trans. of ASAE, 44 (6), 1429-1436, **2001**.

38) Ulusoy, Y.; Alibaş, K.; “*Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Yönden İncelenmesi*”, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fak. Dergisi, 16, 37-50, **2002**.

39) Kalam, M. A.; Masjuki, H. H.; “*Biodiesel from Palm Oil - an Analysis of Its Properties and Potential*”, Biomass & Bioenergy, 23, 471-479, **2002**.

40) Çetinkaya, M.; Karaosmanoğlu, F.; “*Optimization of Base-Catalyzed Transesterification Reaction of Used Cooking Oil*”, Energy&Fuels, 18, 1888-1895, **2004**.

41) Şanlı, H.; “*Farklı Alkol ve Katalizör Kullanımının Biyodizel Üretimindeki Etkileri*”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, **2005**.

- 42)** 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**.
- 43)** 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**.
- 44)** Encinar, J. M.; Gonzalez, J. F.; 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**.
- 45)** Yamık, H.; İçingür, Y.; “*Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Etil Esterin Kullanımı*”, *G. Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 18(3), 545-553, **2005**.
- 46)** Saydut, A.; Duz, M. Z.; Kaya, C.; Kafadar, A. B.; Hamamci, C. ; “*Transesterified Sesame (Sesamum indicum L.) Seed Oil as a Biodiesel Fuel*”, *Bioresource Technology*, 99,6656-6660, **2008**.
- 47)** Kingston, H. M.; Valter, J.; *Microwave Enhanced Chemistry, Fundamentals, Sample Preparation and Applications*, Department of Chemistry and Biochemistry Duquesne University, **1995**

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Aylin BEYCAR KAFADAR

Doğum Yeri: Ankara

Doğum Tarihi: 11.03.1974

Medeni Hali: Evli

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu:

Lise: Ankara Kocatepe Mimar Kemal Lisesi (1988-1991)

Lisans: ODTÜ Eğitim Fakültesi Kimya Öğretmenliği (1992-1997)

Yüksek Lisans: ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı (1998-2001)

Doktora: Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı (2002- _)

Çalıştığı Kurumlar:

MEB Bakanlığı İngilizce Öğretmeni (1998- ____)