

**Türkiye Koşullarında Üretilen Biyodizelin Bazı
Özelliklerinin Standartlara Uygunluğunun ve Yakıt
Püskürtme Miktarı Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi**

ÖZGÜR GÜVEN

Yüksek Lisans Tezi

Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. TÜRKAN AKTAŞ

2010

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TÜRKİYE KOŞULLARINDA ÜRETİLEN BİYODİZELİN BAZI ÖZELLİKLERİNİN
STANDARTLARA UYGUNLUĞUNUN VE YAKIT PÜSKÜRTME MİKTARI ÜZERİNE
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

Özgür GÜVEN

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ.DR. TÜRKAN AKTAŞ

TEKİRDAĞ-2010

Her hakkı saklıdır

Doç. Dr. Türkan AKTAŞ danışmanlığında, Özgür GÜVEN tarafından hazırlanan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından. Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı :

İmza:

Üye :

İmza :

Üye :

İmza :

Üye :

İmza :

Üye :

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı
kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRKİYE KOŞULLARINDA ÜRETİLEN BİYODİZELİN BAZI ÖZELLİKLERİNİN STANDARTLARA UYGUNLUĞUNUN VE YAKIT PÜSKÜRTME MİKTARI ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Özgür GÜVEN

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Türkan AKTAŞ

Bu çalışmada, ülkemizde üretilen biyodizelin reolojik özelliklerinden biri olan viskozite değerleri ve bunun yanında motor performans eğrilerine doğrudan etkili olan özelliklerden biri olan özgül ağırlık değerleri saptanmıştır. Bu değerlerin standartlara uygunluğu incelenmiştir. Sıcaklığın viskozite değişimleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla 20 ve 40 °C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta viskozite ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Standartlara uygun şekilde özgül ağırlık değerleri de 15 °C’ de belirlenmiştir. Bu çalışma, piyasadan toplanan ve kullanımda olan 8 adet biyodizel numunesi (4’ü Sanayi Ticaret İl Müdürlüklerine kayıtlı, diğer dördü ise kayıtlı değildir) ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla da 1adet motorin numunesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Viskozite ve özgül ağırlık ölçümlerinin yanı sıra farklı marka traktör motorlarında yaygın olarak kullanılan 3 farklı tip enjektör kullanılarak, viskozite ve özgül ağırlık değişimlerinin enjektörlerden püskürtülen yakıt miktarı üzerine ve püskürtülen yakıtın yanma odası içerisindeki dağılımına etkileri de belirlenmiştir. Yanma odası içerisindeki yakıt dağılımını saptamak amacıyla traktör motorundaki yanma odası ile aynı ölçülere sahip bir yanma odası modeli oluşturulmuştur. Araştırma sonuçlarına göre, örneklerin sıcaklık değerlerinin artmasıyla viskozite değerlerinin oldukça düştüğü saptanmıştır. Kayıtlı olan firmalara ait örneklerde dahil olmak üzere biyodizellerin büyük çoğunluğunda viskozite ve özgül ağırlık değerlerinin standart dışı olduğu belirlenmiştir. Yüksek özgül ağırlık ve viskoziteden dolayı püskürtülen yakıt miktarı tüm biyodizel örnekleri ve enjektörler için motorine kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Yanma odası içerisindeki dağılıma göre en yüksek yakıt miktarı 9 numaralı yüksek viskoziteli biyodizel örneğinde saptanmıştır. Motorin yanma odasında biyodizel örneklerine göre daha uzak bölgelere püskürtülmüş ve dağılımın daha homojen olduğu saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyodizel, standartlar, viskozite, özgül ağırlık , yakıt püskürtme.

2010, 48 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

DETERMINATION OF COMPLIANCE OF SOME PROPERTIES OF BIODIESEL THAT ARE PRODUCED IN TURKEY CONDITIONS TO STANDARDS AND EFFECTS ON QUANTITY OF FUEL SPRAYING

Özgür GÜVEN

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Main Science Division of Agricultural Machinery

Supervisor : Doç.Dr. Türkan AKTAŞ

In this study, viscosity values that is one of the rheological properties of biodiesel samples that have been produced in Turkey conditions. In addition to this, specific weight values that are effective on directly to engine performance curves were also determined. Compliance of these values to standards were examined. Kinematic viscosity measurements at two different temperatures namely 20 and 40 °C were carried out to determine the effect of temperature on viscosity changing. Density measurements according to the standard at 15 °C was also set. In this study, eight biodiesel samples were collected from markets (4 of them are enrolled to Industry and Commerce provincial Directorates, the other four are not registered), and 1 diesel sample as comparison sample were used. In addition to viscosity and specific weight measurements, effect of viscosity and specific weight changes on the amount of fuel sprayed from injector by using 3 different types injectors that are used in different brand widely used tractor engines was determined. In addition to these effects of fuel with different density and viscosity on distribution of sprayed fuel in combustion chamber was determined by manufacturing a model combustion chamber that has identical with tractor combustion chambers. According to research results, increasing of the temperature decreased the viscosity values highly. Including the registered samples, in the great majority of biodiesel samples viscosity and specific weight values were determined to be non-standard. Due to high specific weight and viscosity, amount the sprayed fuel were found higher for all injector and biodiesel samples compared to sprayed diesel amount. According to distribution in combustion chamber, the highest fuel amount was found for biodiesel 9 that has the maximum viscosity. Diesel was sprayed the furthest points in combustion chamber and its distribution was found more homogeneity compared with those biodiesel samples.

Keywords : Biodiesel , standards, viscosity, specific weight , fuel spraying.

2010, 48 pages

İÇİNDEKİLER	Sayfa No
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	10
2.1 Biyodizelin Tanımına İlişkin Kaynak Özetleri	10
2.2 Biyodizellerin Motorlarda Kullanımına İlişkin Kaynak Özetleri	12
2.3 Biyodizellerin Bazı Özelliklerinin Saptanmasına İlişkin Kaynak Özetleri	14
2.4 Yakıtların Enjektörlerden Püskürtme Dağılımının Saptanmasına İlişkin Kaynak Özetleri	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1. Materyal	23
3.1.1. Biyodizel Numuneleri	23
3.1.2. Ölçüm Sistemleri ve Araçları	23
3.2. YÖNTEM	25
3.2.1. Kinematik Viskozite değerlerin saptanması	25
3.2.2. Özgül ağırlık Değerlerinin Saptanması	26
3.2.3. Enjektör Yakıt püskürtme Miktarlarının Saptanması	26
3.2.4. Enjektör Yakıt Püskürtme Dağılımlarının Saptanması	27
3.2.5. İstatistik Analizlerin Gerçekleştirilmesi	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	30
4.1. Biyodizel Örneklerinin Viskozite ve Özgül ağırlıklarına İlişkin sonuçlar	30
4.2. Biyodizel Örneklerinin Yanma odası içinde püskürtme dağılımlarına ilişkin sonuçlar	33
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	42
6. KAYNAKLAR	43
7. ÖZGEÇMİŞ	47
8. TEŞEKKÜR	48

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Biyodizel üretim aşamalarının şematik gösterimi (http://www.eie.gov.tr)	2
Şekil 2.1. Biyodizellerin sıcaklıkla viskozitesinin değişimi (T:Tütün tohumu yağı esteri, S: Atık ayçiçek yağı ile fındık yağı sabun stokundan yapılan biyodizel)	18
Şekil 2.2. İslı Cam Üzerine Püskürtülen Motorin Damlacıklarının Görüntüsü (Püskürtme Açıklığı 20 cm)	19
Şekil 2.3. İslı Cam Üzerine Püskürtülen %75 Pamuk Yağı+ %25 Motorin Karışımı Damlacıklarının Görüntüsü (Püskürtme Açıklığı 100 cm)	19
Şekil 2.4. Diesel yakıt demetleri (Çok delikli ve kısılmalı tip enjektörler)	20
Şekil 2.5. Dizel ve biyodizel yakıt için modellenmiş püskürtme şekilleri	21
Şekil 2.6. Dizel (a) ve biyodizel (b) yakıt için püskürtme dairesi genişliğinin değişimi	22
Şekil 3.1. Enjektör iğne ve memesinin şematik şekli	24
Şekil 3.2. Denemelerde Kullanılan vibro-viskometre ve ölçüm sonuçlarının alınması	25
Şekil 3.3. Püskürtülen yakıt miktarlarının saptanmasında kullanılan enjektör test düzeneği ve parçaları	27
Şekil 3.4. Polietilen Malzemedan imal edilmiş olan model yanma odası	28
Şekil 3.5. Yakıt hücrelerine yakıtın püskürtülmesi ve hücrelerde toplanan yakıt miktarlarının saptanması	29
Şekil 4.1. Sıcaklığa bağlı olarak 9 örnekte (1 nolu örnek motorindir) viskozite değerlerinin değişimi	31
Şekil 4.2. Örneklerde özgül ağırlık değerlerinin değişimi	32
Şekil 4.3. Farklı enjektörler kullanılarak yapılan denemelerde yakıt püskürtme miktarlarına ilişkin sonuçlar	33
Şekil 4.4. Deneylerde kullanılan enjektörden direk püskürtme şekli	33
Şekil 4.5. Motorin örneğinin yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre Değişimi	37
Şekil 4.6. Örnek 2'nin yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi	37
Şekil 4.7. Örnek 3'ün yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi	38

Şekil 4.8. Örnek 4'ün yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi	38
Şekil 4.9. Örnek 5'in yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi	39
Şekil 4.10. Örnek 6'nın yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi	39
Şekil 4.11. Örnek 7'nin yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi	40
Şekil 4.12. Örnek 8'in yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi	40
Şekil 4.13. Örnek 9'un yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. TS EN 14214 standardına göre biyodizel (B100) parametreleri ve sınır değerleri (Demir 2006)	7
Çizelge 1.2. Metil esterinin yakıt enjeksiyon siteminde oluşturacağı potansiyel Problemler	8
Çizelge 2.1. Biyodizel üretiminde kullanılan dünyanın farklı toprak ve iklim şartlarında yetiştirilebilen bazı yağ bitkileri (Altınsoy 2007)	11
Çizelge 2.2. Kanola Yağı- Dizel karışımı yakıt türleri için saptanmış olan viskozite ve özgül ağırlık değerleri	15
Çizelge 2.3. Farklı oranlarda Pamuk Yağı –Dizel yakıt için yapılan analiz sonuçları	16
Çizelge 2.4. Dizel yakıtı ve Bitkisel Yağ Metil Esterlerinin Yakıt Özelliklerinin karşılaştırılması (Utlu 2006)	17
Çizelge 3.1. Denemelerde kullanılan 3 farklı tip enjektöre ait teknik özellikler	24
Çizelge 4.1. Yanma odası modeli içine püskürtülmüş olan yakıt örneklerinde püskürme dağılımının değişimi	35

1. GİRİŞ

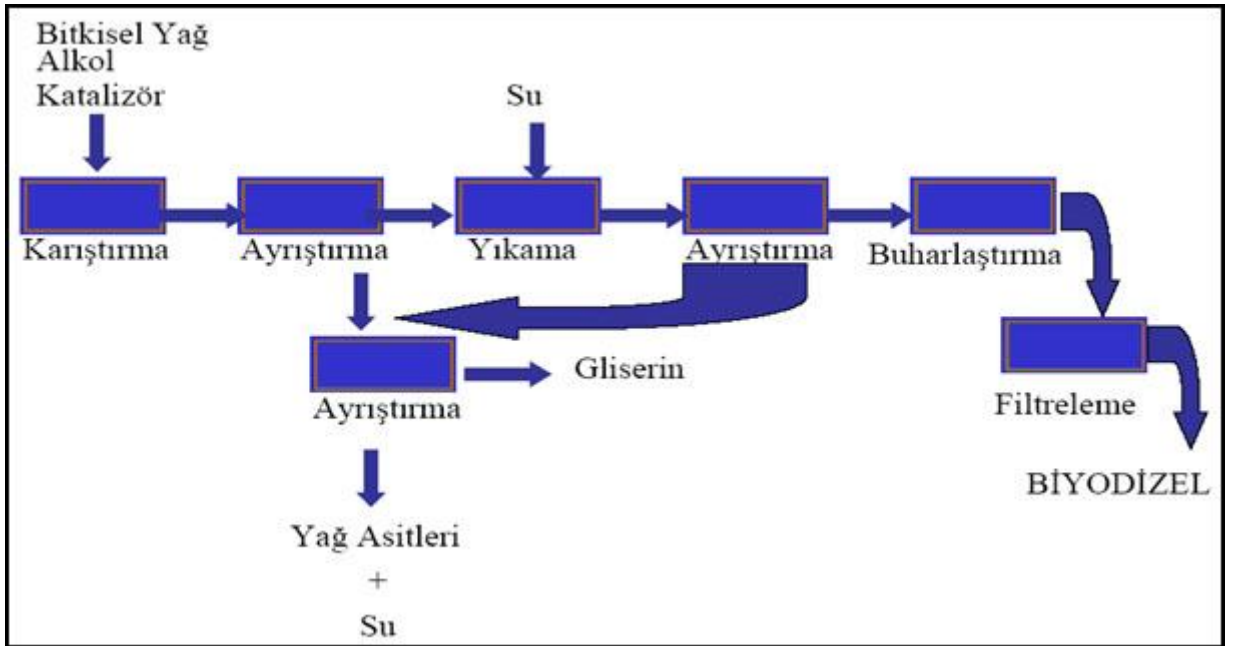
Enerji ihtiyacı, meydana gelen sanayileşme ve hızlı nüfus artışı nedeniyle sürekli olarak artmaktadır. Dolayısıyla hidrolik, termik, nükleer santraller ve kömür veya petrol vasıtasıyla yakıt talebi karşılanamaz hale gelmesi kaçınılmaz bir gerçektir. Özellikle kömür ve petrol rezervlerinin sınırlı olması ve bir gün mutlaka bitecek olması doğal sonuç olarak tüm dünyada enerji açığı oluşturmaktadır. Ülke politikalarında enerji başrolü oynamaktadır. Bir noktada bir ülkenin bağımsızlığı “ kendi enerjisini karşılayabilme potansiyeli” ile belirlenmektedir. Enerji olmadan endüstri, endüstri olmadan refah ve mutlu toplum veya bağımsızlığını koruyabilme yeteneği olmayacağı için enerjisiz bir ülke siyaseti düşünülmemelidir.

Nüfus artışı, ekonomik gelişme ve teknolojik ilerleme gibi üç ana faktör ile ilişkili olan enerji ihtiyacı, ülkelerin sosyal ve ekonomik gelişimi için önemli bir gerekliliktir. Dünyada enerji krizlerinin oluşması, enerjideki istikrarsızlıklar, yerli kaynakların değerlendirilmesi isteği alternatif enerji kaynakları arayışını her geçen gün arttırmıştır ve çalışmalar bu yönde giderek yoğunlaşmıştır. Enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemeyen olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Su, güneş, rüzgâr, biokütle ve atıklardan elde edilen enerjiler yenilenebilir enerji kaynaklarını, fosil enerji kaynakları ise yenilenemeyen enerji kaynaklarını oluşturmaktadır. Mevcut enerji kaynaklarının sınırlı olması ve yaşanan enerji krizlerinden sonra yeni enerji kaynaklarına da ilgi artmıştır. Bu kaynaklar arasında biyokütle en büyük potansiyele sahiptir. Türkiye'nin biyokütle potansiyeli primer enerji tüketimimizin % 10'unu karşılayacak düzeydedir (Çelik ve ark. 2006).

Günümüzde kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kökenli, birincil enerji kaynaklarının yanı sıra, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yoğun bir ilgi gösterilmektedir. Ana bileşenleri karbo-hidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler “ Biyokütle Enerji Kaynağı” bu kaynaklardan üretilen enerji ise “ Biyokütle Enerjisi” olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda, özellikle yağlı tohumlu bitkiler (kanola, ayçiçeği, pamuk çiğidi, soya, aspir v.b) biyokütle enerji teknolojileri olarak değerlendirilmekte ve mevcut yakıtlara alternatif kullanımları yaygınlaştırılmaktadır (Karaosmanoğlu 2002). Biyokütle kökenli en önemli yakıt, dizel motorlar için üretilen, alternatif ve yenilenebilir bir yakıt olan biyodizeldir. Biyodizel üretiminde yukarıda sayılan yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların yanı sıra, hayvansal yağlar (donmuş yağ ve balık yağı gibi hayvansal yağlar da dahil olmak üzere) veya evsel kızartma yağları dahi kullanılabilir. Bu yağlar bir katalizör

eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyona girmekte ve bunun sonucunda açığa çıkan biyodizel yakıt olarak kullanılmaktadır. Biyodizel gliserinin yağ veya bitkisel yağdan ayrıldığı transesterleşme (yağların metanol yani odun alkolü veya etanol gibi alkollerle esterleşmesi) adı verilen bir kimyasal süreçle elde edilmektedir. Bu kimyasal süreçte Şekil 1.1’ de görüldüğü gibi bitkisel yağ küçük molekül ağırlıklı alkolle bir katalizör eşliğinde gliserin ve yağ asiti oluşturmak üzere reaksiyona girmekte yani metanol (odun alkolü), sodyum hidroksitle karıştırılmakta ve sodyum metoksit elde edilmektedir. Bu tehlikeli sıvı bitkisel yağla karıştırılıp dinlenmeye bırakılınca, gliserin dibe çökmekte ve metil ester üstte kalmaktadır (Gürleyük 2003).

Bu reaksiyon sonucu biyodizel elde edilmektedir. Anlaşılacağı üzere bu işlem sonucunda geriye metil esterler (biyodizelin kimyasal adı) ve genellikle sabun ve diğer ürünlerde kullanılmak üzere satılan değerli bir yan ürün olan gliserin olmak üzere iki ürün kalmaktadır (Şekil 1.1). Bitkisel yağların, dizel yakıtı alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli yöntem kimyasal yöntemdir (Alibaş ve Ulusoy 2002).



Şekil 1.1. Biyodizel üretim aşamalarının şematik gösterimi (<http://www.eie.gov.tr>)

Dünyada biyodizelin gelişimi ve kullanımı incelenecek olursa, 1980’ li yıllar ile birlikte özellikle Avrupa’ nın çeşitli ülkelerinde küçük çapta da olsa biyodizel üretimine başladığı görülmektedir. 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. Almanya, Avustralya, İtalya basta olmak üzere Tüm Avrupa ve Amerika' da biyodizel üretimi ve tüketimi hızla çoğalmaktadır. Günümüzde yapılan araştırmalar, incelemeler ve deneyler sonucunda biyodizel için Almanya'da DIN 51606 ve A.B.D' de soya bitkisinden elde edilen biyodizel için ASTM' nin normları mevcuttur. Bu normlara uygun üretilmiş Biyodizel sorunsuz bir şekilde kullanılmaktadır. Şu an itibariyle, çoğu büyük ülkeler başta olmak üzere 36' yı aşkın ülkede Biyodizel üretimi söz konusudur. Özellikle Almanyada üretim 2 milyon tona ulaşmış olup halen yeni tesisler kurulmaktadır. AB sürecinde ve Kyoto protokolüne göre % 2, 2010 yılında da % 5,75 biyodizel (biyokütle) kullanmasının mecburi olması öngörülmüştür. EN 14214 Avrupa standardı olup bu standarda uygun Biodizel üretilmesi mecburiyeti vardır (Türkoğlu 2005). Dünyada bir çok ülke, özellikle gelişmiş ülkeler enerji politikaları gereği yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım paylarını artırma çabasında olduğu için teşvik ve destek programları yasalar çerçevesinde belirlenmektedir. Örneğin Almanya, Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Fransa, İrlanda, İsveç, İtalya, Norveç, Polonya ve Slovakya'da Biyodizel yasal olarak vergiden muaf tutulmaktadır.

Ülkemizde ilk olarak 1998 yıllarında Bursa'da küçük bir işletmenin kurulmasıyla biyodizel üretimi ticari anlamda başlamıştır. Ülkemizde sanayi ölçeğinde ilk biyodizel üretimi 2001 yılında yapılmıştır. Bu tarihten itibaren Türkiye' deki dizel araç kullanıcıları da biyodizelle tanışmıştır. Mart 2003' te ülkemizin ilk EN 14214 standartlarına uygun soya yağı kökenli biyodizelin üretimi gerçekleştirilmiştir. 10/09/2004 Tarihli ve 25579 Sayılı Resmî Gazetede Yayımlanan Petrol Piyasasında Uygulanacak Teknik Kriterler Hakkında Yönetmelikteki Tanımlar ve Kısaltmalar Madde 4'de Akaryakıt tanımı biyodizeli de içererek yapılmıştır. Son yıllarda ülkemizde'de kolza (kanola), ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı da teşvik edilmekle beraber hükümetin aldığı son tasarruf önlemleri kapsamında tarımda sadece kanola ve soya ekimine destek verilme kararı alındığı için son yıllarda özellikle kanola ekim alanlarında hızlı bir artış olmuştur.

Çoğunluğu 2005 yılında kurulan Biyodizel Üretim İşletmeleri AR - GE faaliyetlerine ağırlık vermiş, Üniversitelerle işbirliğine girmiş, TÜBİTAK'dan TEYDEB projeleri almış ve yaklaşık 90.000 ton fiili üretim yapmışlardır. 2005 yılında biyodizel üretim amaçlı bitkisel yağ ithalatı 42.000 ton olarak gerçekleşmiştir. Geri kalan kısımda ise yerli kaynaklar ve atık yağlar kullanılmıştır. 2006 yılının Nisan ayında Otobiyodizele getirilen yüksek ÖTV, EPDK'

dan alınan lisansların analizler nedeniyle gecikmesi, 2006 biyodizel üretiminin ancak 10.000 ton olmasına sebep olmuştur. Diğer yandan yasal tesislerin verimli olmadıkları için kapalı kalmaları ve yüksek ÖTV, merdiven altını harekete geçirmiş ve biyodizel üretim makinesi adı altında standart üretim kabiliyeti olmayan standart dışı 3000 kadar makine piyasaya sürülmüştür. Ülke tarımına hiçbir katkısı olmayan bu standart dışı üretim, hem biyodizeli teknik anlamda olumsuz etkilemiş, hem de karşımıza kontrol edilemeyen bir yapıyı ortaya çıkarmıştır (Afacan 2009). Biyodizel konusunda resmi olarak faaliyet gösteren, işleme ve dağıtım lisansına sahip 59 adet firmanın olduğu fakat bu firmaların önemli bir bölümünün fiilen çalışmadığı yapılan tespitler arasındadır (Yaşar 2008).

Modern dizel motorlarının çoğunda direkt püskürtmeli yakıt sistemleri mevcuttur. Bu motorlar yakıt demetinin kalitesine karşı indirekt püskürtmeli motorlara göre daha hassastırlar. Dolayısıyla kullanılacak yakıtın özelliklerinin mümkün olduğunca dizel yakıtıninkine yakın olması istenmektedir. Biyodizelin diğer yakıt türlerine göre pek çok üstünlükleri vardır. Bunların başlıcaları tarımsal ürün ve atıklardan elde edilebilmesi, üretiminin kolay olması, zehirli atık içermemesi ve egzoz duman gazlarını azaltmasıdır (bu azalma; CO₂ miktarında %78, CO miktarında %15 ve HC miktarında yaklaşık %27 oranında saptanmıştır). Pek çok olumlu yönlerinin yanında bitkisel yağların yüksek viskozite ve düşük uçuculuk özelliğine sahip olmaları yakıt olarak kullanılmasını zorlaştıran özelliklerdir. Bu sebeplerden dolayı bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmelerini sağlamak amacı ile son yıllarda genel olarak iki prensip üzerinde çalışılmaktadır. Birincisi, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi, diğeri ise motor aksamının yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusudur. Bitkisel yağların dizel yakıtı yerine doğrudan kullanımındaki en büyük engel viskozitelerinin yüksek oluşudur. Bu sebeple yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi yöntemi; genel olarak, bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasını içermektedir. Bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle yüksek viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir. Buna göre yüksek viskozite problemi, saf bitkisel yağlara çeşitli yöntemler uygulanarak çözülmeye çalışılmaktadır.

Buna göre yüksek viskozite problemi ya püskürtme basınç ve zamanının değiştirilmesi gibi motorda bir takım değişiklikler yapılarak ya da bitkisel yağlara ısıl veya kimyasal yöntemler uygulanarak çözülmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemlerin başlıcaları; seyreltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz, süperkritik ve yeniden esterleştirme (transesterifikasyon) yöntemleridir (Oğuz ve Öğüt 2001). Trigliseridlerin transesterifikasyon ile metil ya da etil

estere dönüştürülmeleri sonucunda, molekül ağırlıkları yaklaşık üçte iki oranında azalmakta, buna bağlı olarak viskoziteleri yaklaşık sekiz kat azalırken, uçuculukları da önemli miktarda artmaktadır. Uçuculuk önemli ölçüde iyileştiğinden dolayı soğukta ilk hareket problemleri azalmaktadır. Biyodizelin hacimsel ısı değeri motorinden yaklaşık % 12 daha az olmakla birlikte, setan sayısı ve parlama noktası daha yüksektir. Ayrıca ester yakıtların dumanlanma ve akma noktaları da dizel yakıtınınkinden daha yüksektir. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında bir başka kısıtlayıcı faktör de düşük sıcaklıklarda katılma eğilimi göstermeleridir. Bu probleme dizel yakıtı ile karışım oluşturmak veya bir çeşit ön ısıtma uygulamak suretiyle kısmen çözüm getirilmektedir (Schwab 1987).

Yüksek viskozite motor yakıt sisteminin, enjektörlerin ve filtresinin tıkanmasına, enjektör açılma basıncının yükselmesine, kötü atomizasyona (Demirbaş, 2006) ve yanma sürelerinin petrol kökenli yakıtlara göre daha uzun olmasına sebep olmaktadır (Varde 1982). Yüksek viskozite ayrıca segmanlarda karbon birikintisine ve yağlama yağının bozulması problemlerini de doğurmaktadır. Parlama noktasının yüksek olması, uçuculuk özelliğinin az olduğunu göstermektedir. Bu ise yanma odasında daha fazla birikintiye, enjektör ucunda karbonizasyona ve segman yapışmasına neden olmaktadır. Viskozitenin yüksek, uçuculuğun düşük olması soğukta ilk hareket zorluğuna, alev sönmesine ve tutuşma gecikmesi periyodunun uzamasına sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, bir çok ülkede bitkisel yağlar saf olarak kullanılmamakta dizel yakıtına belli oranlarda katılarak, ısıtılarak veya esterleştirilerek (biyodizele dönüştürülerek) tüketilmektedir. Bitkisel yağ biyodizel haline getirildiğinde, bir çok özelliği dizel yakıt özelliklerine yaklaşmaktadır. Ancak yoğunluğu dizel yakıtınınkinden genellikle biraz daha yüksek kalmaktadır (Huzayyin 2004).

Biyodizelin özgül ağırlık, viskozite, ısı değeri, setan sayısı, bulutlanma ve akma noktaları, distilasyon, parlama ve tutuşma noktaları değerleri ISO normlarına göre karakterize edilmiştir (Encinar ve ark. 2002, Demirbaş 2002). Biyodizel Avrupa Birliği ülkelerinde ve ABD’de endüstriyel ölçekte üretilmektedir. Biyodizel Standartları Avrupa (EN 142149) ve Amerikan (ASTM D-6751) standartlarıdır. Bu standartları karşılayan biyodizel üretimi yapıldığında, biyodizel birçok modern motorda modifikasyona gerek duymaksızın güvenli ve dayanıklı olarak kullanılabilir (Alptekin ve Çanakçı 2007).

Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından piyasaya sunulan biyodizelin, TS EN 14214 standardına uygunluğu zorunlu hale getirilmiştir (Çizelge 1.1). Her ne kadar Biyodizelin standardında 25 parametre bulursa da Enerji piyasası Düzenleme Kurulu biyodizel

üreticilerinin üretim tesislerinde 7 parametreyi analiz etmelerini yeterli bulmuştur (Yıldız 2008). Bu parametreler ester muhtevası, iyot sayısı, asit sayısı, parlama noktası, su muhtevası, 15 °C sıcaklıkta ölçülen özgül ağırlık ve 40 °C sıcaklıkta ölçülen viskozite değerleridir.

Biyodizelin kinematik viskozitesi motorinden biraz fazladır, fakat ham yağdan oldukça düşüktür. Kinematik viskoziteyi etkileyen faktörler; zincir uzunluğu, çift bağların yeri, sayısı ve özelliğidir. Bitkisel yağların viskozitesi; filtrede, enjeksiyon pompası ve enjektörde kolay akışı sağlayacak düzeyde olmalıdır. Yüksek viskozite yüksek pompalama basıncı gerektirmektedir. Düşük viskoziteli yakıtlar ise; yakıt pompasında kaçaklara yol açacaktır ve böylece yakıt tüketiminde artış oluşacaktır. Bir diğer önemli parametre olan özgül ağırlık değeri motor performans eğrilerine doğrudan etki eden bir yakıt özelliğidir. Yakıt enjeksiyon sistemleri yakıtı hacimsel olarak ölçmektedir ve bu yüzden yakıtın yoğunluğunun değişmesi farklı kütlede yakıt enjekte edilmesine neden olacaktır (Alptekin ve Çanakcı 2007). Yoğunluğun değişimi yakıt sarfiyatının yanında yanma ısısına da önemli düzeyde etki etmektedir. Yoğunluğun yüksek çıkması da, prosten gliserinin yeterince uzaklaştırılmadığının göstergesidir. Bu sebeplerden dolayı biyodizelin viskozite ve özgül ağırlık değerlerinin standartlara uygun olması büyük önem taşımaktadır. Avrupa'da kullanılan EN 14214 ve ülkemizde bu standarda göre oluşturulmuş olan TS EN 14214 standardına göre 3.5- 5.0 mm²s⁻¹ arasında, ASTM D-6751 (American Society for Testing and Materials) standardına göre ise 1.9-6.0 mm²s⁻¹ arasında değişmektedir. Özgül ağırlık değeri ise yine TS EN 14214 standardına göre 860-900 kg/m³ aralığında olmalıdır.

Çizelge 1.1. TS EN 14214 standardına göre biyodizel (B100) parametreleri ve sınır değerleri (Demir 2006)

Özellik	Birim	En az	En çok	Test Metodu
Ester içeriği	% (m/m)	96.5	-	EN 14103
Özgül ağırlık, 15 °C	kg/m ³	860	900	EN ISO 12185
Kinematik viskozite, 40°C	mm ² /s	3.50	5.00	EN ISO 3104
Parlama Noktası	°C	120	-	PrEN ISO 3679
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10	prEN ISO 20846
Karbon kalıntı	% (m/m)	-	0.30	EN ISO 10370
Setan sayısı		51	-	EN ISO 5165
Sülfat kül içeriği	% (m/m)	-	0.02	ISO 3987
Su içeriği	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır şerit korozyonu	-	1		EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı 110 °C	Saat	6.0	-	EN 14112
Asit değeri	mg KOH/g	-	0.5	EN 14104
İyot değeri	g iyot/100 g	-	120	EN 14111
Linolenik asit metil esteri	% (m/m)	-	12	EN 14103
Yüksek doymamış (≥4 çift bağ)	% (m/m)	-	1	
Metanol içeriği	% (m/m)	-	0.20	EN 14110
Monoglisericid içeriği	% (m/m)	-	0.80	EN 14105
Diglisericid içeriği	% (m/m)	-	0.20	EN 14105
Triglisericid içeriği	% (m/m)	-	0.20	EN 14105
Serbest gliserol	% (m/m)	-	0.02	EN 14105
Toplam gliserol	% (m/m)	-	0.25	EN 14105
Grup I Metalleri (Na+K)	mg/kg	-	5.0	EN 14108
Grup II Metalleri (Ca+Mg)			5.0	EN 14109
Fosfor içeriği	mg/kg	-	10	EN 14107

Standartlara uymayan biyoyakıtların yakıt sistemine olan olumsuz etkisi oldukça önemlidir. Bundan dolayı pek çok yakıt enjeksiyon sistemi üreten büyük firmalar tedbir alma yoluna gitmiştir. Örneğin yakıt enjeksiyon sistem üreticileri Delphi, Stanadyne, Denso ve Bosch firmaları Haziran 2004 tarihinde ortaklaşa yayınladıkları durum raporunda, alternatif

yenilenebilen yakıtlar ile ilgili geliştirme çalışmalarını desteklediklerini fakat hacimce karışımı % 5'i geçen, EN 14214 standardı tarafından belirtilmiş olan yakıt standartlarına uymayan biyoyakıtlar için garanti vermeyeceklerini bildirmişlerdir. Yakıt enjeksiyon sistemi üreticilerinin standart dışı biyoyakıtlar ile ilgili yaptıkları firma çalışması Çizelge 1.2'de özetlenmiştir (Altınsoy 2007).

Çizelge 1.2. Metil esterinin yakıt enjeksiyon sisteminde oluşturacağı potansiyel problemler

Yakıt Karakteristiği	Etkisi	Hata Modu
Biyomotorin genel	Nitril kauçuk içeren bazı elastomer malzemelerde yumuşama, kabarma/ şişme veya sertleşme ve çatlama	Yakıt kaçağı
	Dizel içeriğinden alınan tortular	Filtre tıkanması
Metil esterinde serbest metanol	Alüminyum ve çinkoda aşındırıcılık Düşük parlama noktası	Yakıt enjeksiyon sisteminde korozyon
Biyomotorin proses kimyasalları	Potasyum ve sodyum bileşikleri katı partiküller	Filtre tıkanması
	Serbest yağ asitleri	Yüksek korozyon
	Organik asitlerle tuz oluşumu	Filtre tıkanması
	Sedimentasyon	Hareketli parçalarda sıkışma
Su tutuculuğu	Metil esterinin yağ asidine dönüşmesi	Yakıt filtresinde tıkanma
Karışımda serbest su	Hidroliz	Yakıt enjeksiyon sisteminde korozyon
	Yakıtın elektriksel iletkenliğinde artış	
Serbest gliserin	Demir dışı metal malzemelerde korozyon. Selüloz filtreler tarafından emilim. Hareketli parçalar üzerinde çökelti oluşumları ve reçine birikmesi.	Filtre ve enjektör tıkanması
Mono/di-gliserid	Gliserine benzer	Enjektör tıkanması

Bu alışma, piyasadan toplanan ve kullanımda olan 8 adet biyodizel numunesi ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla da 1 adet motorin numunesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında biyodizelin yakıt olarak kullanımında motor performansının korunması açısından en önemli özelliklerden olan kinematik viskozite ve özgül ağırlık değerleri saptanmıştır. Ülkemizde üretilmiş ve kullanılmakta olan biyodizel örneklerinde saptanan bu değerlerin TS EN 14214 standardına uygun olup olmadığı incelenmiştir. Sıcaklığın viskozite değişimleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla 20 ve 40 C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta viskozite ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında farklı marka traktör motorlarında yaygın olarak kullanılan 3 farklı tip enjektör kullanılarak, viskozite ve özgül ağırlık değişimlerinin enjektörlerden püskürtülen yakıt miktarı üzerine etkileri saptanmıştır. Ayrıca yanma odasındaki dağılımın homojenliğinin örnek biyodizellerin viskozite ve özgül ağırlık değerlerine bağlı olarak değişimi yanma odasının ölçülerinde bir model oluşturularak belirlenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Biyodizelin Tanımına İlişkin Kaynak Özetleri

Farklı araştırmacılar biyodizel ile ilgili aşağıda verildiği gibi farklı açılardan tanımlar yapmışlardır.

Biyodizel, yerel yenilenebilir kaynaklardan üretilen ve temiz yanan alternatif bir yakıtın ismidir. Biyodizel petrol yakıtı içermez, fakat bir biyodizel karışımı elde etmek için petrol yakıtı ile belirli oranlarda karıştırılabilir. Biyodizel kullanıldığı makinelerde herhangi bir düzenleme gerektirmez ya da küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir. Biyodizel kullanımı kolaydır, herhangi bir zehirli madde içermez, biyolojik olarak parçalanabilme özelliğine sahiptir ve esas olarak serbest sülfür ve aromatik bileşiklerinden yoksundur (Aytaç 1997).

Biyodizel, bitkisel yağlı tohumlardan, kullanılmış atık kızartma yağlardan , hayvansal yağlardan ve her türlü biyolojik kökenli yağlardan bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyon sonucunda oluşan ve yakıt olarak kullanılan yağ asidi metil esterleridir. Biyodizel üretiminde; Ayçiçeği, Soya, Kanola, Aspir, Yer Fıstığı, ve Pamuk gibi bitkilerin yağlarından, yemek veya kızartmalardan doğan atık yağlardan ve hayvansal yağlardan faydalanılmaktadır (Karahan 2005).

Biyodizel, yerel yenilenebilir kaynaklardan üretilen ve temiz yanan alternatif bir yakıtın ismidir. Biyodizel petrol yakıtı içermez, fakat bir biyodizel karışımı elde etmek için petrol yakıtı ile belirli oranlarda karıştırılabilir. Biyodizel kullanıldığı makinelerde herhangi bir düzenleme gerektirmez ya da küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir. Biyodizel kullanımı kolaydır, herhangi bir zehirli madde içermez, biyolojik olarak parçalanabilme özelliğine sahiptir ve esas olarak serbest sülfür ve aromatik bileşiklerinden yoksundur (Aytaç 1997).

Biyodizel, Dünya’da verimi ve performansı onaylanmış bir dizel yakıt alternatifidir. Üretiminde hammadde olarak ham veya kullanılmış bitkisel yağlar ve hayvansal yağlar ile bunların türevleri kullanılmaktadır. AB standartları gereği 2005 yılından itibaren dizele harmanlanması çevre ve insan sağlığı bakımından mecburi tutulmuştur. Tamamen çevre dostu bir yakıttır. Zararlı emisyonu yok denecek miktardadır. Tüm dünya ülkelerinde enerjide dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla ulusal bir yakıt olarak kullanılan biyodizel, ülkemizde de

önemli enerji açığını kapayacak, birçok kişiye istihdam sağlayacak , çiftçiyi destekleyecektir. Dizel motorlarda herhangi bir değişime gerek kalmadan direkt olarak veya dizele harmanlanarak kullanılabilir. Verdiği ısıl enerji bakımından dizele eşdeğerdir. Dizelle karıştırıldığı zaman yakıt tasarrufu sağlar (Akınerdem 2007).

Biyodizel, yapısında oksijen bulunduran, sülfür içermeyen, zehirleyici etkisi olmayan, doğada bozunabilir ve yenilenebilir bir alternatif dizel motor yakıtıdır. Dizel yakıtı ile çalışan bütün motorlarda yakıt olarak kullanılabilir (Aktaş ve Sekmen 2008).

Teknik ifade ile biyodizel; kimyasal olarak yenilenebilir yağ kaynağından (Çizelge 2.1) türetilen uzun zincirli yağ asitlerinin monoalkol esterleri olarak tanımlanabilir. Diğer bir ifade ile biyodizel; biyolojik kaynaklardan elde edilen ester tabanlı bir tür oksijenli yakıttır (Connemann ve Fischer 2000).

Çizelge 2.1. Biyodizel üretiminde kullanılan dünyanın farklı toprak ve iklim şartlarında yetiştirilebilen bazı yağ bitkileri (Altınsoy 2007)

Yağ Bitkisinin Adı	Yağ Miktarı (kg/ha)	Yağ içeriği (%)
Mısır	145	5-6
Mahun cevizi	148	38-46
Palm	189	50
Termiye	195	6-9
Pamuk	273	20
Kenevir	305	30-35
Soya	375	17-26
Keten	402	38
Fındık	405	65-75
Bezir yağı	442	49-51
Bal kabağı	449	24-30
Hardal	481	27-35
Susam	585	50
Aspir	655	25-37
Ayçiçeği	800	35-40
Kakao	863	50
Yer Fıstığı	890	36-50
Haşhaş	978	40-50
Kanola	1000	33-40
Zeytin	1019	35-70
Zencibar	1119	35-38
Badem	1125	25-50
Jajoba	1528	48-52
Ceviz	4500	60

2.2. Biyodizellerin Motorlarda Kullanımına İlişkin Kaynak Özetleri

Aydın ve Keskin (2000), pamuk yağı metil esterinin motorin ile belirli oranlardaki (30/70, 50/50, 70/30) karışımlarını tek silindirli bir dizel motorunda test etmişlerdir. Yüksek motor hızlarında pamuk yağı metil esterinin dizel yakıtı ile motorda benzer moment değerleri gösterdiği, yüksek ve düşük motor devirlerinde güç değerlerinin dizel yakıtı değerlerine yakın olduğu ve özgül yakıt tüketiminin de dizel yakıtına göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, pamuk yağı metil esteri / dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarda dizel yakıtına alternatif olarak rahatlıkla kullanılabilceğini ve bu karışımları alternatif yakıt olarak kullanan araçların egzoz emisyon testinden başarılı bir şekilde geçeceğini belirtmişlerdir.

Bitkisel yağların dizel motor yakıtı olarak kullanımı oldukça eskiye dayanmaktadır. Dr. Rudolph Diesel, yerbustığı yağını 1900'de yakıt olarak motorunda kullanmıştır. Fakat petrol kökenli yakıtların uzun yıllar boyunca ucuz ve bol miktarda bulunur olması ve bitkisel yağlar gibi yenilenebilir kaynaklı alternatif motor yakıtlarının petrol ürünlerine göre pahalı olmaları petrol ile rekabet gücünü azaltmış ve motorların petrol ürünleriyle çalışacak şekilde gelişmesini sağlamıştır. Motor yapısında yapılacak küçük değişiklikler ve bitkisel yağların yakıt özelliklerinde yapılacak iyileştirmeler ile dizel motorlarda yakıt olarak bitkisel yağların kullanılabilceğini yapılan çalışmalar göstermiştir (Altun ve Gür 2005).

Tillem 2005 yaptıkları çalışmada Graboski ve McCormick 1998, Çanakçı ve Gerpen 2001, Al-Widyan ve ark. 2002, Usta ve ark. 2005 gibi pek çok araştırmacı tarafından dizel motorlarda belirli oranlarda biyodizel kullanımının motor yapısına, çalışma şartlarına ve biyodizelin özelliklerine bağlı olarak motor performans ve emisyonlarında farklı etkiler ortaya koyduğunu bildirdiklerini belirtmiştir. Ayrıca bitkisel yağlardan elde edilen biyodizellerin ısı değerlerinin dizel yakıtına göre yaklaşık %10 daha az olmasına rağmen, güçte beklenen düşüşün bir miktar yüksek özgül ağırlık ile kısmen karşılanabildiğini, biyodizel-dizel karışımlarında özgül yakıt tüketiminde az bir oranda artış olsa da termik verimin dizel yakıt ile elde edilen değere çok yakın olduğunu bildirmiştir.

Haşimoğlu ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada, kullanılmamış rafine ayçiçeği yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretmek, bu yakıtın aşırı doldurmalı direkt püskürtmeli bir dizel motorunun kısmi yük şartlarındaki performansına ve egzoz

emisyonlarına olan etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar neticesinde motor performansı ve egzoz emisyonlarındaki değişimlerde biyodizelin alt ısı değerinin motorine göre daha düşük olmasının başlıca etken olduğu sonucuna varmışlar, yakıt olarak biyodizel kullanılması ile genel olarak özgül yakıt tüketimi, verim ve azot oksit emisyonlarının arttığını, egzoz gazı sıcaklığı ve duman koyuluğunun azaldığını bildirmişlerdir.

Karabektaş ve Ergen (2007) yaptıkları çalışmada, rafine soya yağından transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen ve biyodizel olarak adlandırılan soya yağı metil esterinin, bir dizel motorunda kullanılması sonucu elde edilen motor performans karakteristikleri ve NO_x emisyon değerlerindeki değişimleri dizel yakıtı ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirmişlerdir. Biyodizel yakıtının testlerinde motorine oranla daha düşük ısı değer, yüksek viskozite ve özgül ağırlık değerleri saptamışlardır. Motor testlerinde ise motorine oranla efektif güçte ortalama %3.92 azalma ortaya çıkmıştır. Özgül yakıt tüketiminde artış görülmüştür, NO_x emisyonları soya yağı metil esteri yakıtı ile belirgin artış göstermiştir. Yapılan testlerde yakıtın kullanımı ile ilgili önemli bir sorunla karşılaşmamışlardır.

Özsezen ve Çanakçı (2009) yaptıkları çalışmada, atık palmye metil esteri ve kanola yağı metil esterinin performans, yanma ve püskürtme karakteristiklerine etkilerini petrol kökenli dizel yakıtı referans olarak incelemişlerdir. Test motorunda, atık palmye metil esteri ve kanola yağı metil esterinin kullanımı ile petrol kökenli dizel yakıtı göre motor gücünde ve ısı veriminde ortalama %2 oranında azalma meydana geldiğini, özgül yakıt tüketiminde ortalama %6 oranında artış olduğunu, bununla beraber, metil ester kullanımı ile petrol kökenli dizel yakıtı göre ön yanma safhasının daha erken başladığını, tutuşma gecikmesinin daha kısaldığını ve maksimum silindir gaz basıncı bölgesinin üst ölü noktaya biraz daha yaklaştığını belirlemişlerdir. Ayrıca metil esterlerin kullanımı ile petrol kökenli dizel yakıtı göre yakıt sevk başlangıcının daha erken başladığını da tespit etmişlerdir. Metil esterlerin kullanımı ile değişen püskürtme ve yanma karakterleri ve metil esterin yakıt özellikleri, hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO) ve duman koyuluğu emisyonlarında azalma meydana getirirken, NO_x emisyonlarında ise kısmen artışa neden olmuştur.

Sekman ve ark. (2008) çalışmalarında, biyodizelin yakıt olarak kullanıldığı tek silindirli, dört zamanlı bir dizel motorda püskürtme basıncının motor performansı ve emisyonları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Karşılaştırma yapabilmek için önce dizel yakıtı için tavsiye edilen

19MPa püskürtme basıncında dizel yakıtı ile tam yükte motor momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklıkları ile CO, HC ve NO_x emisyonlarını ölçmüşlerdir. Daha sonra sırası ile 19 ve 21,5 MPa püskürtme basıncında biyodizel kullanılarak aynı denemeleri yapmışlardır. Biyodizel ile çalışmada dizel yakıtına göre CO ve HC emisyonlarında düşüş, NO_x emisyonunda ise artış saptamışlardır. Biyodizel yakıtın püskürtme basıncının artırılmasıyla motor momenti ve efektif güçte yaklaşık %6'ya kadar artış ve özgül yakıt tüketiminde %3'e kadar iyileşme ve ayrıca, CO, HC ve NO_x emisyonlarında azalma olduğunu belirlemişlerdir.

Bayrakçeken ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada, soya yağından metil esterleştirme yöntemi kullanılarak biyodizel üretmişlerdir. Biyodizelin motor performans ve emisyonları üzerine etkilerini tek silindirli direkt enjeksiyonlu dizel motorunda incelemişler ve dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Dizel yakıtına göre biyodizelin ortalama motor momenti ve gücünde sırası ile %4.2 ve %3'lük bir azalma gözlenirken, özgül yakıt tüketiminde %12.8'lik bir artış olduğunu saptamışlardır. Biyodizel kullanımı ile CO, HC ve NO_x emisyonlarında sırası ile ortalama olarak dizel yakıtına göre %4.1, 4.47 ve 9.23 arttığını, duman emisyonlarında ise %19.5'lik bir azalma olduğunu belirlemişlerdir.

2.3. Biyodizellerin Bazı Özelliklerinin Saptanmasına İlişkin Kaynak Özetleri

Dizel motorlarında yakıt olarak kullanılan diğer yakıtlar gibi biyodizelerde de en önemli temel özellikleri fiziksel ve kimyasal özellikler olarak ikiye ayrılmaktadır. En önemli fiziksel özellikler özgül ağırlık, viskozite, uçuculuk noktası, parlama noktası, donma noktası, su ve tortu miktarı, buharlaşma noktası, düşük sıcaklıkta davranışı; kimyasal özellikler ise ateşleme noktası, kükürt miktarı, kül miktarı, karbon artığı, setan sayısı ve aromatik yüzdesi olarak bildirilmiştir (Nişancı 2007).

Biyodizelin özgül ağırlık, viskozite, ısıl değer, setan sayısı, bulutlanma ve akma noktaları, distilasyon, parlama ve tutuşma noktaları değerleri ISO normlarına göre karakterize edildiği belirtilmiştir (Encinar ve ark. 2002, Demirbaş 2002).

Biyodizel orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Biyodizel ağırlıkça % 11 oksijen içermektedir. Oksijenli zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli motorinden ayırmaktadır. Biyodizel, motorine yakın ısıl değere, motorinden

daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu özellik biyodizeli kullanım, taşınım ve depolamada depolamada daha güvenli bir yakıt yapmaktadır (Ölçüm 2006).

Bitkisel yağların yakıt olarak direkt kullanılamamalarının ana nedeninin yüksek viskozite olduğu ve viskozitenin bitkisel yağların, yağ asidi bileşimlerine, özgül ağırlıklarına ve çevre sıcaklıklarına göre değiştiği ve viskozitenin bitkisel yağın karbon zinciri uzunluğu ile orantılı olarak arttığı belirtilmiştir. Farklı oranda hazırlanmış olan kanola yağı-dizel karışımı yakıt türleri için saptanan viskozite ve özgül ağırlık değerleri Çizelge 2.2’de verilmiştir (Alpgiray ve Gürhan 2007).

Çizelge 2.2. Kanola Yağı- Dizel karışımı yakıt türleri için saptanmış olan viskozite ve özgül ağırlık değerleri

Yakıt Türü	20 °C’da Viskozite değeri (cSt)	20 °C’ da Özgül ağırlıkları (g/cm ³)
Dizel yakıtı	3,626	0,779
Kanola yağı	59,487	0,886
%20 KY + %80 Dizel yakıt karışımı	7,829	0,733
%40 KY + %60 Dizel yakıt karışımı	14,785	0,740
%60 KY + %40 Dizel yakıt karışımı	21,653	0,746
%80 KY + %20 Dizel yakıt karışımı	32,245	0,751
Kanola yağı metil esteri	6,542	0,804

Biyodizelin yoğunluğu genellikle 0.86 ile 0.90 g/cm³ arasında değişmektedir. Birçok çalışmada, biyodizelin yoğunluğunun fazla değişmediği görülmüştür. Bu sonucun, kullanılan metanol ve yağın özgül ağırlıklarının, oluşan esterin yoğunluğuyla birbirine çok yakın olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Graboski ve McCormik 1998, Encinar ve ark., 2005).

Bitkisel yağların, dizel yakıtına göre viskozite ve yoğunluğu yüksek, uçuculuk ve ısı değerleri ise düşüktür. Bundan dolayı, dizel motorlarda tamamen veya kısmen dizel yakıtının yerine kullanımına akış problemleri, kötü atomizasyon, enjektör tıkanması, yağlama yağının

kalınlaşması, eksik yanma ve güç düşüşü gibi sorunlar sınırlama getirmektedir. (Karaosmanoğlu ve ark.2002, Altın ve ark. 2001)

Alternatif yakıt olarak motorinle karıştırılan pamuk yağının fiziksel ve kimyasal özelliklerini tayin etmek için ODTÜ Petrol Araştırma Merkezinde (PAL) laboratuvar görevlileri tarafından yapılan analizlerden ve F.Ü. Kimya Müh. Böl. Laboratuvarında yapılan ısı değer tespitinden elde edilen sonuçlar Çizelge 2.3’de verilmiştir. Pamuk yağı viskozitesinin motorine oranla çok yüksek olduğu görülmüştür. Dizel yakıtına göre pamuk yağı yoğunluğu biraz daha yüksek bulunmuştur. ODTÜ Petrol Araştırma laboratuvarında yapılan analiz sonucunda, %25 pamuk yağı + %75 motorin karışımının viskozitesinin pamuk yağına oranla büyük ölçüde düştüğü belirtilmiştir. Çalışmanın başında viskozite probleminin azaltılması için en kolay ve en ucuz metot olduğundan dolayı seyreltme önerilmiştir (Yücel. 1998).

Çizelge 2.3. Farklı oranlarda Pamuk Yağı –Dizel yakıt için yapılan analiz sonuçları

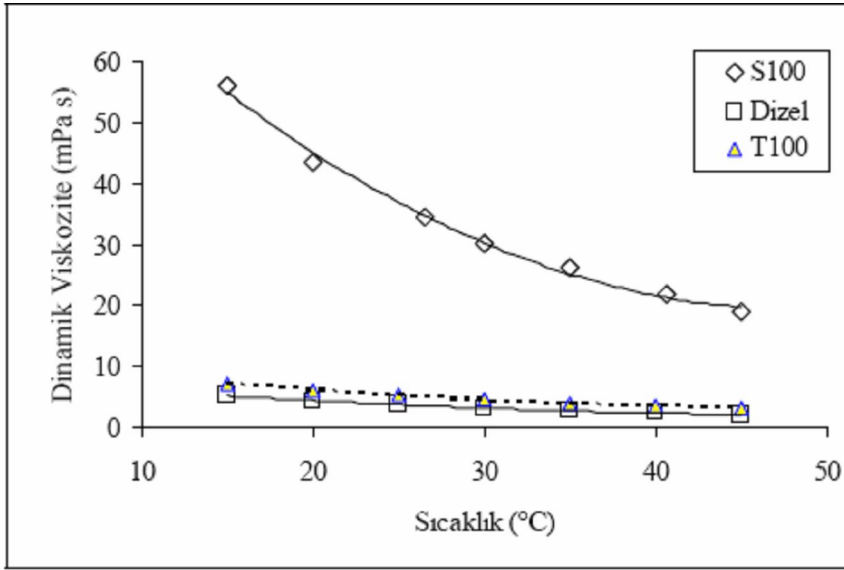
	Standart	Motorin	Standart	Pamuk Yağı oranları		
				%25	%50	%100
Viskozite	TS 1451	3.05 (mm ² /s) (40°C)	TS 2031	44.2	58.3	187.3
Özgül ağırlık	TS 1013	831 (kg/m ³) (15°C)	TS 1013	854 (kg/m ³)	875 (kg/m ³)	922 (kg/m ³)

Bazı bitkisel yağların, yakıt olarak kullanılabilme özellikleri, Çizelge 2.4’de dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tablo incelendiğinde, bitkisel yağların viskozitelerinin ASTM tarafından dizel yakıtı için verilen 4,0 olan üst sınır değerine göre yaklaşık 7–10 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Viskozitenin yüksekliği bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasındaki en önemli dezavantajlarından biridir. Bitkisel yağların viskoziteleri ve ısı içerikleri zincir uzunluğu ile artmakta, çift bağ sayısı ile azalmaktadır (Utlu ve Hepbaşlı 2006).

Çizelge 2.4. Dizel yakıtı ve Bitkisel Yağ Metil Esterlerinin Yakıt Özelliklerinin karşılaştırılması (Utlu 2006)

Bitkisel yağın adı	Özgül kütle (g/ml)	Kinematik viskozite (mm ² /s)	Isıl değeri (kJ/kg)	Setan sayısı (ASTM D613)	Tutuşma gecikmesi krank açısı (°)	Donma noktası (°C)	Akma noktası (°C)	Oksitlenme süresi (h)
Dizel yakıtı	0,86	2,9	42450	50.8	12.5	-15	-33	150
Ayçiçek yağı	0,92	34,9	39644	33	23.8	7.2	-15	5.5
Soya yağı	0,92	36,4	39390	39	19.6	-3.9	-12.2	8
Pamuk yağı	0,91	37,4	37420	51	21.4	1.7	-15	7.5
Yer fıstığı	0,91	37,2	37160	39	19.6	12.8	-6.7	6.7
Kolza yağı	0,92	39	39913	37.6	21.9	-3.9	-31.7	10.5
Keten yağı	-	27,2	39300	34.6	-	1.7	-15	3
Susam yağı	-	35,5	39350	40.2	-	-3.9	-9.4	8.5
Karbon	Tüm bitkisel yağlarda %0.22-0.30 (ASTM sınır değeri % 0.35)							
Kükürt oranı	Tüm bitkisel yağlarda %0.01 (ASTM sınır değeri % 0.5)							
Kül oranı	Tüm bitkisel yağlarda %0.005-0.01 (ASTM sınır değeri % 0.01)							
Su ve tortu	Tüm bitkisel yağlarda %0.05 (ASTM sınır değeri % 0.05)							

Usta ve ark. (2005), yaptıkları projede, biyodizel hammaddesi olarak ham kanola yağı, nötr pamuk yağı ve atık kızartma yağı kullanıp, biyodizel üretim yöntemi olarak alkali katalizörler ile transesterifikasyon (esterleşme) metodunu izlemişlerdir. Transesterifikasyon reaksiyonunda, alkol olarak metil alkol, katalizör olarak sodyum hidroksit kullanılmıştır. Üretilen biyodizeller, dizel yakıtı içerisine %20 hacimsel oranda karıştırılarak bu karışımlar, dört zamanlı, dört silindirli, ön yanma odalı 33 turbo-dizel bir motorda tam yükte test edilmiştir. Biyodizel kullanımının dizel motor emisyonlarına, özellikle partikül ve is emisyonlarına etkileri araştırılmıştır. Partikül, is ve CO emisyonundaki azalma ile birlikte performans parametrelerinde dikkate değer bir değişme olmadığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada Biyodizeller iki farklı ham maddeden üretilmektedir. Bir tanesi tütün tohumu yağının esterleştirilmesi ile elde edilen biyodizel, diğeri ise atık ayçiçeği yağı ile fındık yağı sabun stokunun yaklaşık eşit oranlarda karışımından elde edilen biyodizeldir. Farklı kaynaklardan farklı tekniklerle üretilen biyodizeller arasında sıcaklıkla viskozite değişimi çok farklı olabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan iki biyodizelin ve dizel No. 2 yakıtın viskozitesinin sıcaklıkla değişimini karşılaştırılmıştır (Şekil 2.1). Tütün tohum yağından elde edilen biyodizel (T100) düşük sıcaklıklarda da dizel yakıtı oldukça yakın viskoziteye sahip olmakla birlikte, diğeri biyodizelin (S100) viskozitesi sıcaklık düştükçe hızla arttığını gözlemlemiştir. Bu yüzden biyodizellerin sadece 40 °C’de değil düşük sıcaklıklarda da viskozitelerinin ölçülerek soğuk havalarda kullanılabilir karışım oranlarının tespit edilmesi gerektiğini ifade etmiştir (Usta ve ark. 2005).

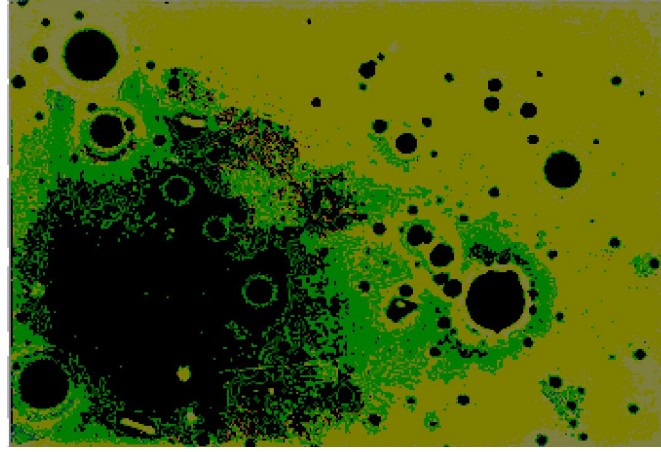


Şekil 2.1. Biyodizellerin sıcaklıkla viskozitesinin değişimi (T:Tütün tohumu yağı esteri, S: Atık ayçiçek yağı ile fındık yağı sabun stokundan yapılan biyodizel)

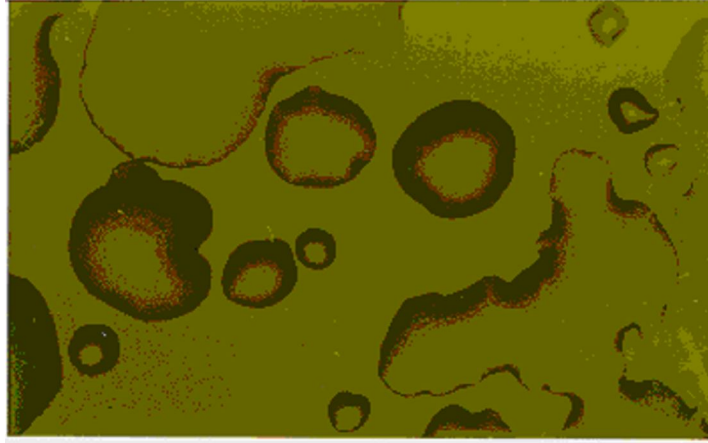
2.4. Yakıtların Enjektörlerden Püskürtme Dağılımın Saptanmasına İlişkin Kaynak Özetleri

Yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde; dizel, biyodizel veya bunların karışımından oluşan yakıtların enjektörlerden püskürtülmesi sırasında oluşan dağılım saptanması genel olarak püskürtülen yakıtın çap değerlerinin ve çap dağılımlarının farklı yöntemlerle belirlenmesi şeklinde olmuştur.

Yücel 2008, araştırmasında silindir içerisine püskürtülen yakıt huzmesinin görünümünü tespit etmek için el ile çalışan bir püskürtme pompası ve enjektör kullanmıştır. Denemelerde her karışım oranı aynı basınçta püskürtülmüştür. Enjektörün önüne isli cam konularak, cam üzerine düşen yakıt huzmesi mikroskopta incelenmiştir. Elde edilen büyütme görüntülerinden Şekil 2.2 incelendiğinde enjektörden püskürtülen motorinin kısa mesafede parçalandığı ve küçük yakıt damlacıkları elde edildiği görülmektedir. Püskürtme mesafesi arttıkça damlacık boyutunda da büyüme olmuştur. %75 Pamuk Yağı+ %25 Motorin karışımının püskürtülmesinde ise damlacıkların motorin damlacıklarına kıyasla oldukça büyük olduğu saptanmıştır (Şekil 2.3). Kısa mesafede parçalanma iyi olmamış, bu da püskürtme menziline uzamasına, yakıtın tam yanmamasına ve silindir içerisinde kalıntılara sebep olduğunu bildirilmiştir (Yücel 2008).



Şekil 2.2. İslı Cam Üzerine Püskürtülen Motorin Damlacıklarının Görüntüsü (Püskürtme Açıklığı 20 cm)

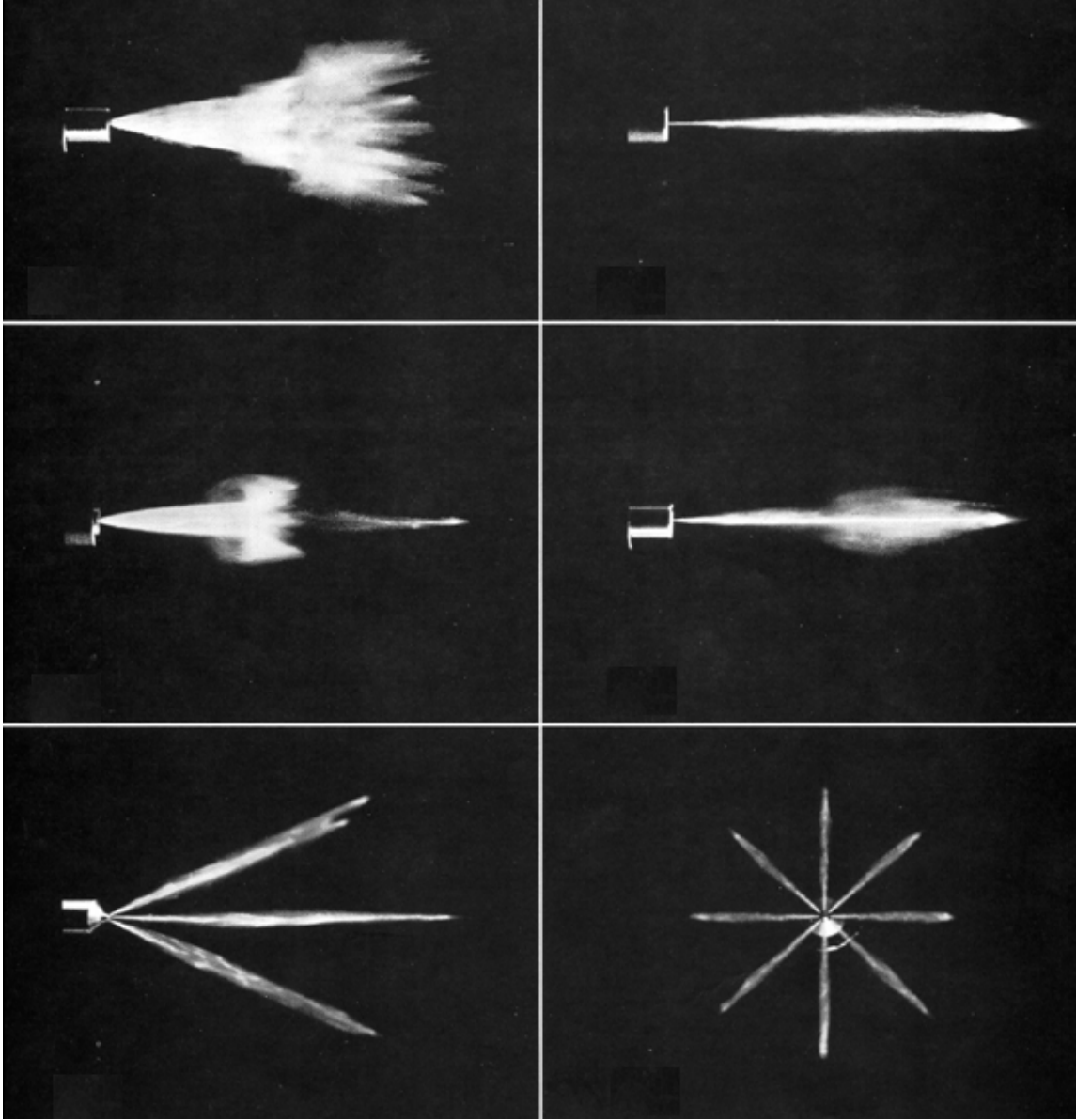


Şekil 2.3. İslı Cam Üzerine Püskürtülen %75 Pamuk Yağı+ %25 Motorin Karışımı Damlacıklarının Görüntüsü (Püskürtme Açıklığı 100 cm)

Erşan (1998) yaptığı çalışmada, sıvı yakıt viskozitesinin damlacık çapına ve dağılımına etkisi deneysel olarak incelemiştir. Deneylede viskozitesi sıcaklıkla (15°C ve 60°C) değiştirilen dizel yakıtı K- Jetronik yakıt enjeksiyon sisteminde kullanılan Bosch marka enjektörden püskürtülmüştür. Püskürtülen yakıt demetinin, püskürtme eksenı doğrultusunda fotoğrafı çekilerek, demetdeki yakıt damlacıklarının çap dağılımları, enjektörden değişik uzaklıklarda mikroskop ve oküler mikrometre yardımı ile ölçülmüştür. Çap dağılımını bulmada literatürdeki çarpma ve fotoğraf yöntemlerinin karışımı bir metot uygulanmıştır. Hesaplamalarda daha önceki çalışmalarda kullanılan ortalama damlacık çapı hesap yöntemleri kullanılmış ve düşük viskoziteli yakıt da ortalama damlacık çapının % 14 - 45 küçüldüğü

tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen damlacık çap boyutları, literatürde benzin püskürtülerek elde edilen çap boyutları ile uyum içindedir.

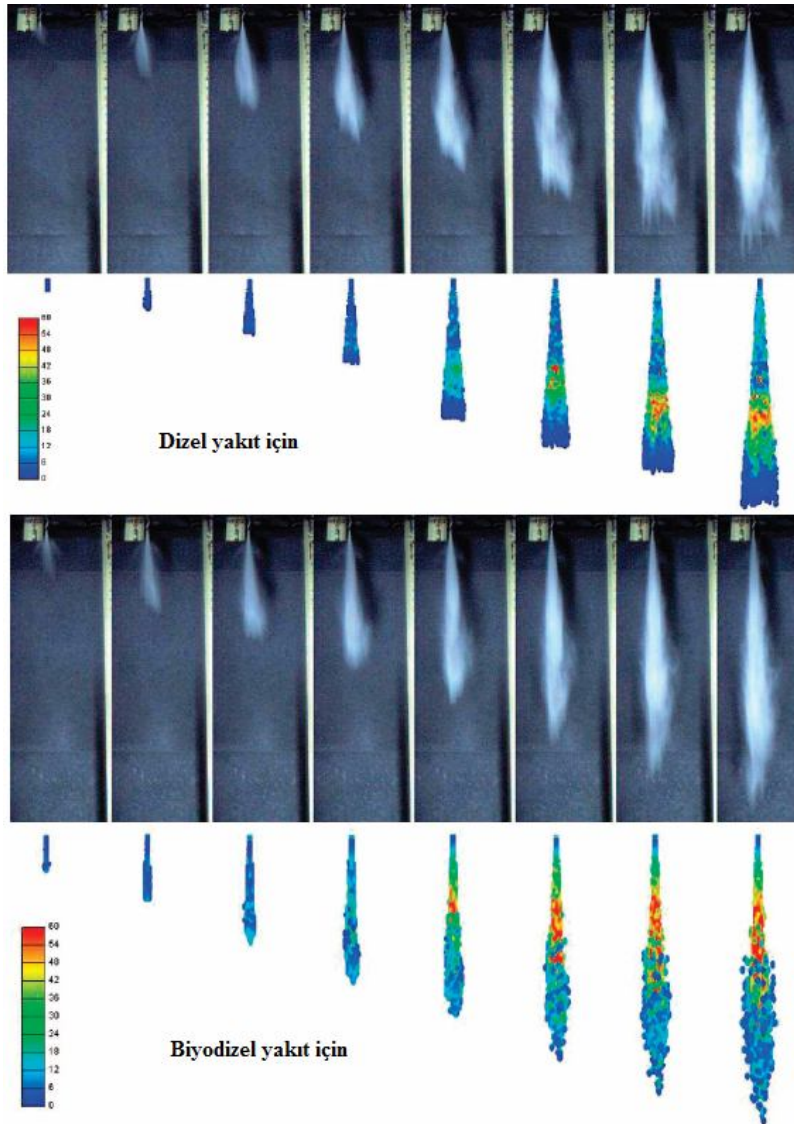
Yapılan çalışmalarda enjektör tipinin püskürtme şekli üzerinde etkisinin çok önemli olduğu saptanmıştır. Şekil 2.4'de farklı tip enjektörlerde püskürtme şeklinin oldukça değiştiği görülmektedir ((<http://www.mkn.itu.edu.tr/~sorusbay/KO/diesel1-2.pdf>)).



Şekil 2.4. Diesel yakıt demetleri (Çok delikli ve kısılmalı tip enjektörler)

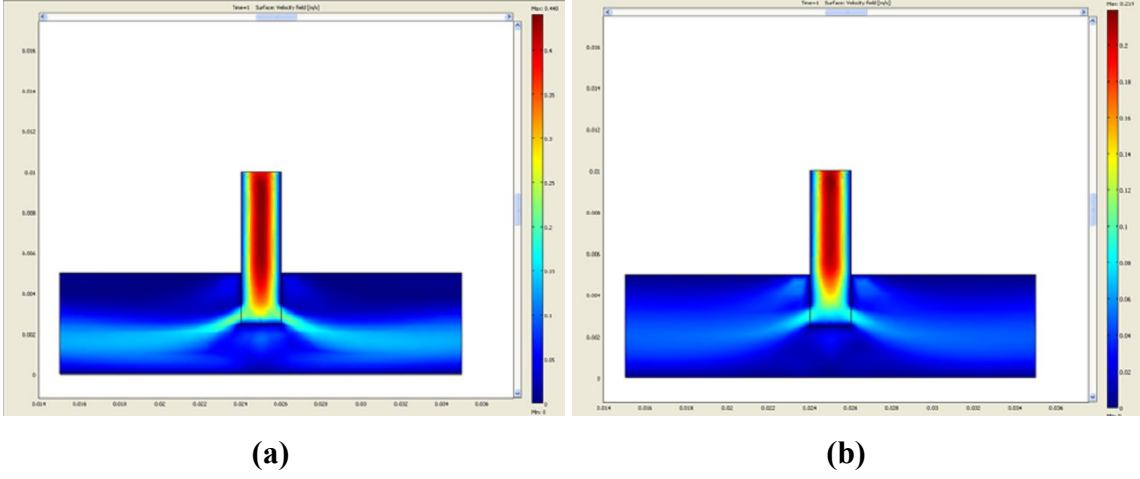
Pogorevcv ve ark. (2008) dizel, biyodizel ve %50 biyodizel-dizel karışımı yakıtların püskürtülme simülasyonlarına ilişkin yaptıkları çalışmalarında öncelikle kullandıkları yakıtların fiziksel özelliklerini (özellikler, viskozite ve yüzey gerilimi) ve püskürtme işlem karakteristiklerini (püskürtme basıncı, püskürtme oranı) saptamışlardır. Püskürtme cam bir

hücreye oda sıcaklığında ve atmosferik basınç koşullarında yapılmıştır. Püskürtme görüntülemesi ise yüksek Phantom v4.1 marka hızlı dijital kamera kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçülmüş olan verilerin ve simülasyon programının (AVL 3D program Fire v8.4) kullanılmasıyla dizel ve biyodizel yakıtta farklı püskürtme şekillerinin oluştuğu (Şekil 2.5) saptanmıştır. Bu şekilde biyodizelin püskürtme şeklinin motorine kıyasla daha düzgün bir şekle sahip olduğu görülmektedir. Elde edilen simülasyon model katsayıları incelendiğinde yakıtın özgül ağırlık ve viskozite özelliklerinin püskürtme şeklini etkileyen en önemli parametrelerden olduğu, püskürtme süresinin istatistiksel olarak çok önemli olmadığını, püskürtülen yakıt miktarı ve püskürme basıncının ilk püskürtme hızı ve damla büyüklüğüne etkisinin önemli olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.5. Dizel ve biyodizel yakıt için modellenmiş püskürtme şekilleri

McGuire 2009 yoğunluğu 0.835 gcm^{-3} ve viskozite değeri 3.933 cSt olan dizel yakıt ve yoğunluğu 0.886 gcm^{-3} ve viskozite değeri $7.105 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$ olan biyodizel örneğinin püskürtme boyutunu karşılaştırdığı çalışmasında biyodizelin püskürtülmesi durumunda oluşan yakıt püskürtme daire çapının dizel örneklerinkine kıyasla daha küçük ve yakıtın silindire penetresyonunda daha düşük olduğunu saptamıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Dizel (a) ve biyodizel (b) yakıt için püskürtme dairesi genişliğinin değişimi

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1 Biyodizel Numuneleri

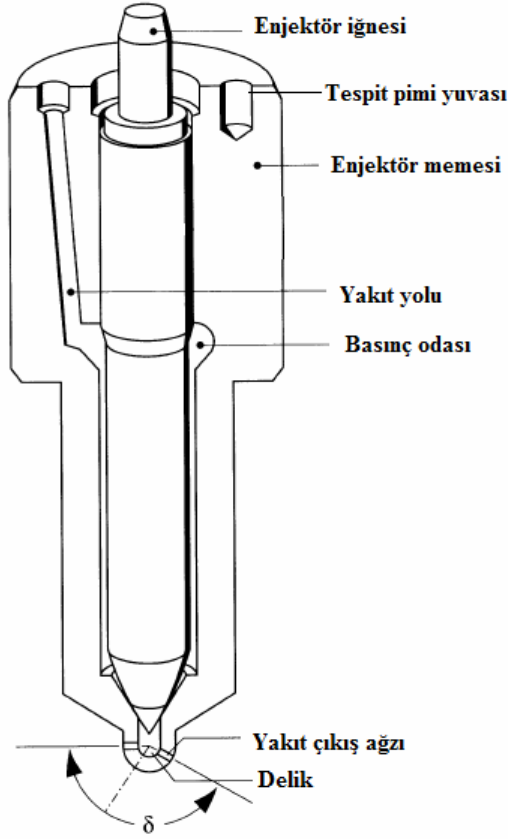
Çalışma kapsamında farklı firmalar tarafından üretilmiş olan ve piyasada kullanılmakta olan 8 Adet biyodizel numunesi toplanmıştır. Kontrol numunesi olarak motorin kullanılmıştır. Biyodizel numuneleri pamuk, soya, palm, kanola, ayçiçeği vb. gibi farklı bitkilerden elde edilmiş numunelerdir. Makale boyunca motorin 1 numaralı örnek olarak, biyodizel örnekleri ise 2'den 9'a kadar numaralandırılmış örnekler olarak tanımlanmıştır. Bu biyodizel örneklerinden sadece 2, 5, 6 ve 7 numaralı örnekler Sanayi Ticaret İl Müdürlüklerine kayıtlı olan üreticilerden alınan örneklerdir. 3, 4, 8 ve 9 numaralı örnekler ise herhangi bir yere kayıtlı olmayan merdivenaltı üretimi gerçekleştirilen fakat piyasada kullanılmakta olan örneklerdir.

3.1.2. Ölçüm Sistemleri ve Araçları

Bu çalışmada biyodizel ve motorin örneklerine ek olarak viskozimetre, enjektör test ekipmanı, piknometre, 3 farklı marka enjektör, hassas terazi, otomatik laboratuvar pipeti ve laboratuvar cam malzemeleri ve enjektör püskürtme şeklinin saptanması amacıyla dijital kamera materyal olarak kullanılmıştır.

Dizel motorları yakıt donanımında bulunan enjektörler temel olarak bir gövde ve içerisinde hareket eden bir iğneden oluşmaktadır. Püskürtme pompası tarafından pompalanan yakıt, enjektör iğnesinin altındaki odacıkta yakıt basıncının artmasına neden olarak iğnenin yukarı doğru hareketini sağlamak ve açılan enjektör deliğinden yakıt silindir içerisine püskürtülmektedir. Bu çalışmada kullanılan 3 enjektör delikli tip enjektörlerdir. Bunlar genellikle direkt püskürtmeli dizel motorlarında kullanılmakta ve tek delikli olabileceği gibi çok delikli enjektör tipleri de bulunmaktadır (Şekil 3.1) (<http://www.mkn.itu.edu.tr/~sorusbay/KO/diesel1-2.pdf>). Çok delikli enjektörde genelde enjektör ekseni boyunca delikler simetrik olarak yerleştirilmekte, delik sayısı yanma odası özelliklerine göre seçilmekte olup, 12 adede kadar çıkabilmektedir. Delik çapları ise genelde 0.2 mm ile 1.0 mm arasında değişmektedir. Bu çalışmada kullanılan enjektörlerden birisinin delik sayısı 3, iki tanesinin ise 4'tür.

Bu çalışmada yakıt püskürtülmesinde kullanılmış olan farklı çalışma basınçlarında çalışan ve flanşlı bağlantı şekline sahip olan enjektörlerin teknik özellikleri Çizelge 3.1’ de görülmektedir.



Şekil 3.1. Enjektör iğne ve memesinin şematik şekli

Çizelge 3.1. Denemelerde kullanılan 3 farklı tip enjektöre ait teknik özellikler

Enjektör adı ve kullanıldığı traktör modeli ve motoru	Püskürtme basıncı (bar)	Meme delik sayısı	Meme çapı (mm)
1- LRB6703303 DOT-303 (FİAT 60-56, 3 SİLİNDİRLİ)	260	3	9-17
2- C26451302-0593106(nc) (MASSEY FERGUSON, PERKİNS-29639 -4 SİLİNDİRLİ)	180	4	9-17
3-LRB6703304dpt-304 (FİAT 70-56, LUCAS MARKA -4 SİLİNDİRLİ)	260	4	9-17

3.2.YÖNTEM

3.2.1. Kinematik Viskozite Değerlerinin Saptanması

Kinematik viskozite; bir akışkanın yer çekimi etkisi altında, akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Belirli bir hidrostatik kolon basıncı altında yerçekimiyle akış, Sıvının kolon basınç yoğunluğu (ρ) ile orantılıdır. Herhangi bir viskozite için, belirli bir hacimdeki sıvının akış süresi, sıvının kinematik viskozitesi (ν) ile doğrudan orantılıdır. Dinamik viskoziteye (η) bağlı olarak kinematik viskozite eşitliği aşağıdaki gibidir (Koç, 2006).

$$\nu = \rho / \eta$$

Bu çalışmada motorin ve biyodizel örneklerinin viskozite ölçümlerini gerçekleştirmek amacıyla AND MARKA SV-10 model titreşim metodu ile çalışan, 30 Hz titreşim frekanslı, seçilebilir geniş ölçüm aralığına (0,3-10000 mPas) sahip, sıvı sıcaklığını da eş zamanlı olarak ölçen, 0-100 °C aralığında sıcaklık ölçümü yapabilen bir viskozimetre kullanılmıştır. Bu cihazdan alınan ölçüm sonuçları bir yazılım (WinCT-Viscosity) ve RS-232C kablosu ile bilgisayara aktarılmakta ve sonuçlar tablo ve grafik şeklinde elde edilmektedir. Biyodizel ve motorin örneklerinin viskozitelerinin ölçümü için 50'şer mg örnek içeren kaplara 30 Hz titreşim frekansına sahip 2 adet sensor plakası ve sıcaklık ölçüm sensörü daldırılmakta ve sonuçlar ayarlanan zaman aralığında elde edilmektedir (Şekil 3.2). Ölçümler standartlara uygun şekilde örnekler 40 °C sıcaklığa getirilerek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Denemelerde Kullanılan vibro-viskometre ve ölçüm sonuçlarının alınması

3.2.2 Özgül ağırlık Değerlerinin Saptanması

Özgül ağırlık, biyodizel için önemli parametrelerden birisidir. Yoğunluğun yüksek çıkması, prosten gliserinin yeterince uzaklaştırılmadığının göstergesidir. Standartlarda yoğunluğun 15 °C `deki sınır değeri gösterilmektedir. Bununla birlikte, EN ISO 3675 Standardında; piknometre ile 20 - 60 °C arası, 6 farklı sıcaklıkta elde edilen düzeltme katsayısı 0.723 olarak belirlenmiştir. Ortalama metil ester örneğinin 15 °C `deki yoğunluğu 886.5 kg/m³dür. 20-60 °C arası sıcaklıklara ölçülecek metil ester.yoğunluğu aşağıdaki formül ile hesaplanabilmektedir (<http://www.egebiyoteknoloji.com/tr/icerik.php?id=39#yogunluk>).

$$\text{Özgül ağırlık (15 °C`de)} = \text{Özgül ağırlık (T °C`de)} + 0.723 \cdot \text{Özgül ağırlık (T-15)}$$

Denemelerde motorin ve biyodizel örneklerinin özgül ağırlık değerlerinin saptanması amacıyla bir piknometre kabı kullanılmıştır. Öncelikle piknometrenin boş ağırlığı tartılmış, daha sonra ağızına kadar örnek ile doldurup kapağı kapatılmış ve tekrar tartılmıştır. Ağırlık tartımları Sartorius marka A 200 S tipinde 0,0001 duyarlılıkla ölçüm yapabilen hassas Terazi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki eşitlik kullanılarak örneklerin özgül ağırlıkları hesaplanmıştır.

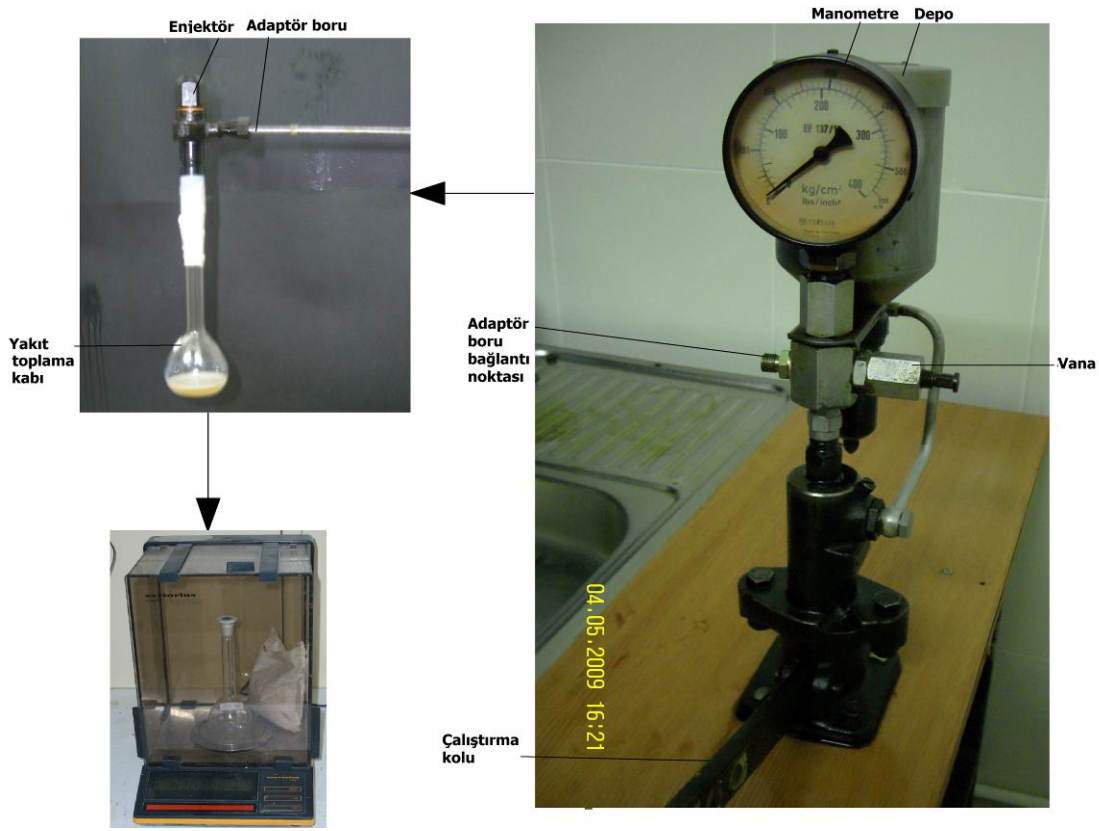
$$d=m/V$$

Bu eşitlikte d özgül ağırlık (kg m⁻³), m örneğin ağırlığı (kg) ve V (m³) örneğin hacmidir.

3.2.3. Enjektör Yakıt Püskürtme Miktarlarının Saptanması

Biyodizel örneklerinin viskozite ve özgül ağırlık değerlerine bağlı olarak püskürtülen yakıt miktarlarının değişimini saptamak amacıyla Şekil 3.3`de resmi ve parçaları görülmekte olan enjektör test ekipmanı kullanılmıştır. Bu test ekipmanı da mekanik tipte bir test ekipmanıdır. Bu düzenekte püskürtme basıncı 400 bar basıncına kadar ayarlanabilmektedir. Ölçümler gerçekleştirilirken test edilecek biyodizel depoya koyularak, kullanılan enjektörün katalog bilgilerine göre (Çizelge 3.1) püskürtme basınçları ayarlanmıştır. Çalıştırma kolu ile 20 püskürtme oluşturulmuş ve enjektörden püskürtülen yakıt miktarı 100 ml hacme sahip cam malzemedeki yapılmış deney tüplerinde biriktirilmiştir. Daha sonra deney tüplerinin ağızı buharlaşmayı önlemek amacıyla tartıma kadar sıkıca kapatılmıştır. Yakıt miktarları Sartorius

marka A 200 S tipinde 0,0001 duyarlılıkla ölçüm yapabilen hassas terazi kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 3.3. Püskürtülen yakıt miktarlarının saptanmasında kullanılan enjektör test düzeneği ve parçaları

3.2.4. Enjektör Yakıt Püskürtme Dağılımlarının Saptanması

Farklı biyodizellerin viskozite ve özgül ağırlık özelliklerine bağlı olarak yanma odası içerisindeki püskürtme dağılımlarını incelemek amacıyla, polietilen malzemeden yapılan, diesel motorlarındaki yanma odası ile aynı ölçülere sahip yanma odası modeli imal edilmiştir. Yanma odası modeli içerisine püskürtülen yakıt miktarlarının bölgelere göre dağılımını ve miktarlarını tespit etmek amacıyla enjektör test ekipmanı ile yanma odası modeli birbirine irtibatlandırılmıştır. Yanma odası modeli tasarlanırken dizel motorlarda genelde kullanılan direkt enjeksiyonlu sistemlerde basınçlı yakıtın doğrudan silindir içerisine püskürtüldüğü dikkate alınmıştır. Buna bağlı olarak yanma odası piston tepesi üzerinde ve merkezde olacak şekilde yanma odası imalatı yapılmıştır.

Mekanik Tipte çalışan enjektör test ekipmanı ile püskürtme basıncı 260 Bar'a ayarlanarak çalıştırma kolu ile 10 püskürtme oluşturulmuş ve yanma odasının üst kısmına akuple edilmiş

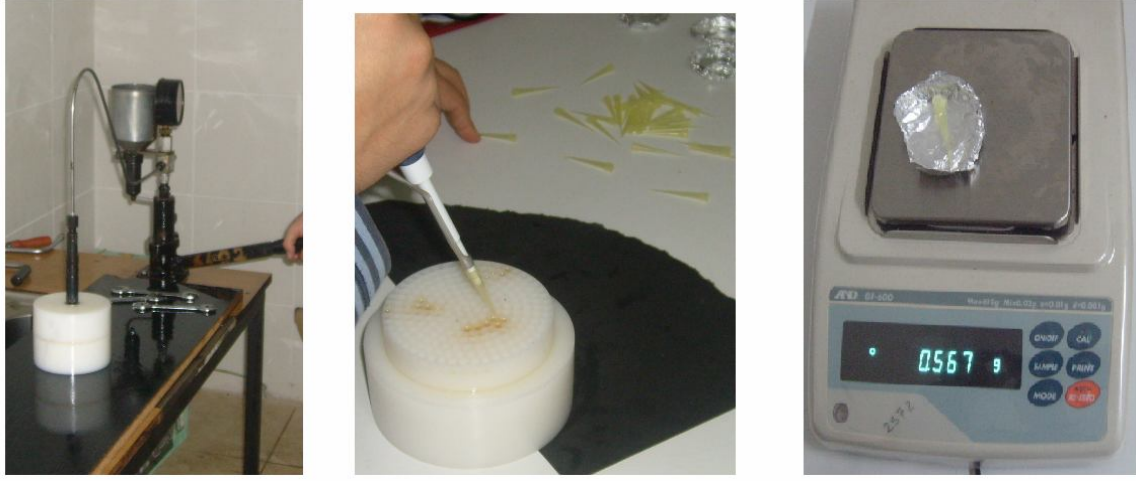
olan enjektörden püskürtülen yakıt miktarı ve yanma odasının yatay düzleminde oluşturulmuş olan 4 mm çaplı yakıt hücrelerinde toplanan yakıt miktarları otomatik pipet yardımıyla alınarak tek tek tartılmıştır. Polietilen malzemeden yapılan yanma odası modelinin üzerinde oluşturulmuş olan yakıt hücreleri iç taraftan dış tarafa doğru numaralandırılmış olan 9 bölgeden oluşmuştur. Modelin merkezinde bulunan 1. bölgede 1 yakıt hücresi bulunmakta, en dışta kalan bölge olan 9 numaralı bölgede ise 48 yakıt hücresi bulunmaktadır. Yani yanma odasında oluşturulmuş bölgeler üzerinde toplam 217 adet yakıt hücresi bulunmaktadır (Şekil 3.4). Şekil 3.5’ de yakıtların yanma odası modeline püskürtülmesi, yakıt hücrelerinden toplanması ve her bir hücredeki yakıt miktarının tartılması işlemi görülmektedir. Her bir hücredeki yakıt miktarlarını bulmak amacıyla öncelikle her hücre için alüminyum folyodan kaplar hazırlanarak bu kapların ve toplama pipet uçlarının boş ağırlıkları saptanmıştır. Yakıt pipet uçlarına alındıktan sonra tekrar kap ve dolu uçlar tartılmıştır. Aradaki fark pipet uçlarındaki yakıt miktarı olarak hesaplanmıştır.

Yanma odasının çeperine yapışan yakıt miktarını saptamak amacıyla öncelikle yanma odası modelinin boş ağırlığı ölçülmüş, daha sonra yakıt püskürtülüp, yakıt hücrelerindeki yakıtlar pipetle çekildikten sonra model tekrar tartılmıştır. Bulunan bu ağırlıkla yanma odasının önceden tartılmış olan boş ağırlığı arasındaki fark yanma odası çeperine yapışan yakıt miktarı olarak kabul edilmiştir.

Yakıt örneklerinin viskozite ve özgül ağırlıklarının yanma odası içerisindeki püskürtme dağılımına etkisini saptamak amacıyla sadece 1 enjektör kullanılmıştır. Bu enjektör LRB6703303 DOT-303 gövde numaralı Fiat 60-56 traktörde kullanılan, 3 silindirli meme çapı 9-17 mm ölçülerinde ve 260 bar püskürtme basıncına ayarlanabilen enjektördür.



Şekil 3.4. Polietilen Malzemeden imal edilmiş olan model yanma odası



Şekil 3.5. Yakıt hücrelerine yakıtın püskürtülmesi ve hücrelerde toplanan yakıt miktarlarının saptanması

3.2.5. İstatistik Analizlerin Gerçekleştirilmesi

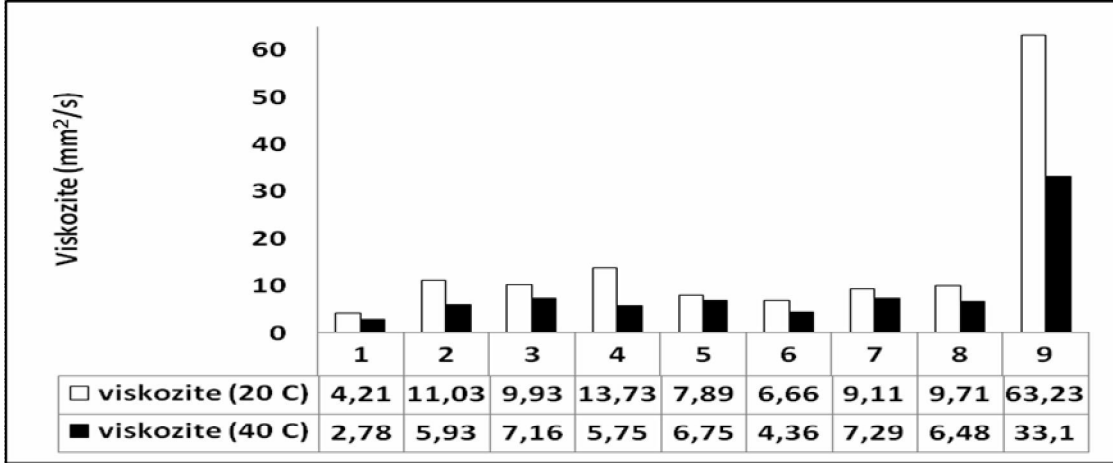
Çalışma sonucu elde edilen verilerin arasındaki farklılıkların ve farklılık düzeylerinin belirlenmesi için varyans analizi gerçekleştirilmiş, bu analizler için PASW Statistics 18 paket programı kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Biyodizel Örneklerinin Viskozite ve Özgül ağırlıklarına İlişkin Sonuçlar

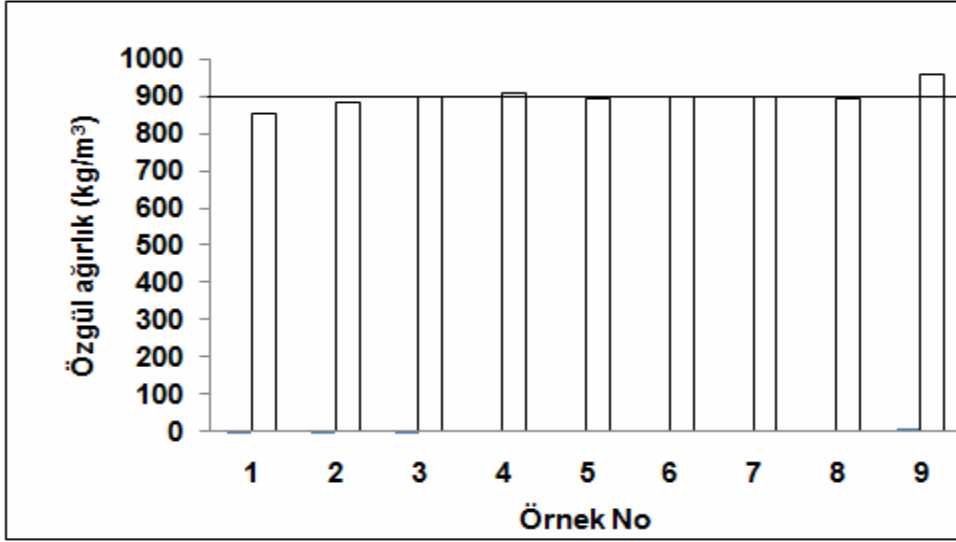
Şekil 4.1'de 20 ve 40 °C'ki Biyodizel numunelerinin Viskozite değerleri verilmiştir. Örneklerin sıcaklık değerlerinin artmasıyla viskozite değerlerinin de oldukça düştüğü görülmektedir. Sıcaklığın viskozite üzerine etkisi oldukça önemli bulunmuştur ($P < 0.001$). Şekil 4.1'den de görüldüğü gibi biyodizel standartlarına göre 40 °C sıcaklıkta yapılmış olan ölçümler sonucunda, 6 numaralı biyodizel örneğinin viskozite değeri ($4,36 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$) hariç diğer 7 örnekte de viskozite değerleri üst sınır değerinin üzerinde bulunmuştur. Tüm biyodizel örneklerinin viskozite değerleri motorine göre oldukça yüksek bulunmuştur ($2,78 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$). Ögüt ve ark. 2007'de bazı aspir çeşitlerinden üretilen biyodizelin yakıt özelliklerini karşılaştırdıkları çalışmalarında benzer sonuçları bulmuşlardır. Özellikle 9 numaralı kanoladan elde edilmiş örneğin viskozitesindeki yükseklik oldukça dikkat çekicidir. Bu değer kanola yağının viskozitesi ile hemen hemen aynıdır (<http://hypertextbook.com/physics/matter/viscosity/>). Bu sonuçlar biyodizel üretim aşamalarında gerçekleştirilen proseslerin yanlış uygulandığını düşündürmektedir.

Biyodizelin yüksek viskoziteye sahip olması özellikle esterleşme reaksiyonunun tamamlanmadığını göstermektedir. 6 numaralı örnek hariç 2, 5 ve 7 numaralı örneklerde dahilki bunlar kayıtlı olan üreticilerden alınan örneklerdir, viskozite değerlerinin üst sınırdan daha da yüksek olduğu saptanmıştır. Yüksek viskoziteye sahip biyodizel enjektörde tıkanmaya, yetersiz püskürtme ve silindir içinde kurumlaşmaya neden olmaktadır. 9 numaralı biyodizelin viskozitesi ile diğer biyodizellerin viskoziteleri arasındaki fark 0.01 seviyesinde önemli bulunurken, diğer örneklerin birbirleri arasındaki (motorinde dahil) fark 0.05 seviyesinde önemli bulunmuştur.



Şekil 4.1. Sıcaklığa bağlı olarak 9 örnekte (1 nolu örnek motorindir) viskozite değerlerinin değişimi

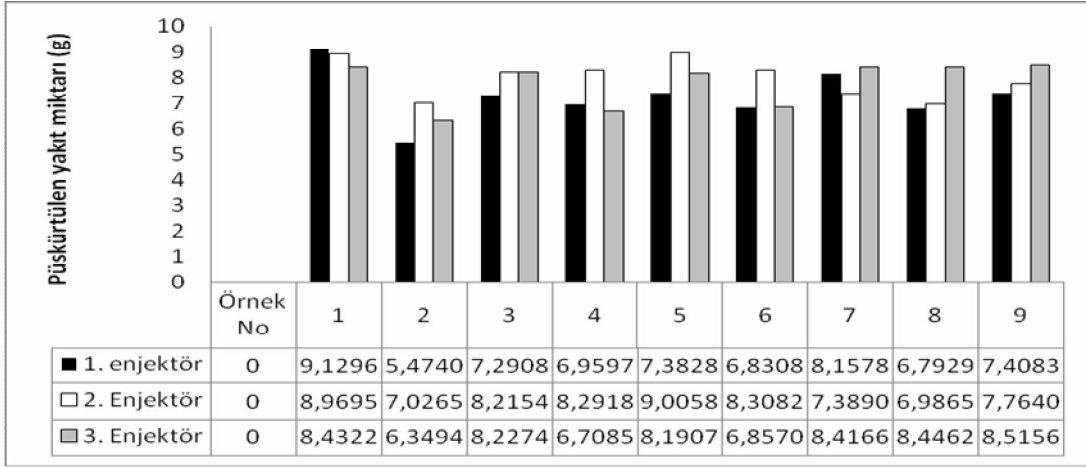
Şekil 4.2’de standartlara uygun olarak 15 °C’ de ölçülmüş olan özgül ağırlık değerleri görülmektedir. Şekil 4.2 incelendiğinde viskozite değerlerine ile paralel olarak özgül ağırlık değerlerinin de değiştiği görülmektedir. Biyodizel örneklerinin hepsinde özgül ağırlık değerinin motorininkine kıyasla daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ögüt ve ark. 2007’in çalışmalarında da üretilen biyodizellerin özgül ağırlıkları ($897,89 \text{ kgm}^{-3}$) motorininkine ($838,8 \text{ kgm}^{-3}$) göre oldukça yüksek saptanmıştır. Maksimum özgül ağırlık değeri 9 numaralı örnekte yani en yüksek viskozite değeri saptanan örnekte bulunmuştur. Sanayi Ticaret İl Müdürlüklerine kayıtlı olmayan üreticilerden alınan 3 ve 4 numaralı örneklerde, özgül ağırlık değerleri standardın üzerinde bulunurken diğer örneklerde de bu değer üst sınır değerine oldukça yakın bulunmuştur. Diğer örneklerin özgül ağırlık değerleri ise standartlarda belirtilen sınırlar arasında kalmıştır. 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 numaralı biyodizellerin özgül ağırlık değerleri arasındaki fark önemsiz bulunurken ($P>0.05$) motorin örneği ile 9 numaralı örneklerin özgül ağırlık değerleri ile diğer biyodizellerin özgül ağırlık değerleri arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0.05$).



Şekil 4.2. Örneklerde özgül ağırlık değerlerinin değişimi

Şekil 4.3’de 3 farklı tip enjektörün kullanıldığı denemelerde motorin ve farklı biyodizel örneklerinin püskürtülme miktarları görülmektedir. Öztürk ve Bilen (2009) kanola yağı metil esteri kullandıkları çalışmalarında ölçüm yapılan bütün devir sayılarında biyodizelin ve karışımın saatlik yakıt sarfiyatını (g/h) dizel yakıtından da yüksek bulmuşlardır. Bu çalışmada ise 20 püskürtme sonucunda toplanan biyodizel örneklerinin kütlesi; en düşük viskozite ve özgül ağırlık değerine sahip olan motorinin kütlesine kıyasla (1 no’lu örnek) 3 tip enjektörün kullanılması durumunda da daha düşük bulunmuştur. Bu ise tüm biyodizel örneklerinin motorine kıyasla yüksek viskozite ve özgül ağırlık değerlerine sahip olması olarak açıklanabilir. Özgül ağırlığın ve viskozitenin yüksek olmasının enjektörden püskürtülen yakıtın akmaya olan direncinin büyük olmasına neden olduğu ve kütleli olarak daha düşük miktarda biyodizelin numune kabında toplandığı tahmin edilmektedir.

Püskürtülen yakıt miktarlarının tespiti için yapılan denemeler sırasında viskozitenin yüksekliğine bağlı olarak püskürtülen biyodizel örneklerinde yüksek oranlarda köpüklenmeye de rastlanmıştır. Köpüklenmenin görülmesi ise yakıtta buharlaşmanın fazla olduğunu göstermektedir. Toplama kaplarında toplanan biyodizel yakıt miktarlarının motorine göre kütleli olarak daha düşük değerlerde olmasının diğer bir sebebinin de bu köpüklenmeden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



Şekil 4.3. Farklı enjektörler kullanılarak yapılan denemelerde yakıt püskürtme miktarlarına ilişkin sonuçlar

4.2. Biyodizel Örneklerinin Yanma Odası İçinde Püskürme Dağılımlarına İlişkin Sonuçlar

Yanma odası modeli içerisine püskürtülen yakıt miktarının dağılımını saptamak amacıyla kullanılan 3 delikli enjektörün motorin püskürtülmesi sonucu oluşan püskürtme biçimine ilişkin görüntüler Şekil 4.4’de görülmektedir. Yaptığımız çalışmada traktör motorundaki yanma odası ile aynı ölçülere sahip yanma odası modeli oluşturulmuştur. Yanma odası modeli içerisine püskürtülen yakıt miktarlarının bölgelere göre dağılımını ve miktarlarını tespit etmek amacıyla enjektör test ekipmanı ile Yanma Odası modeli birbirine irtibatlandırılmıştır. Denemelerde yanma odası modeli içerisine yakıt püskürtme amacıyla kullanılmış olan 3 delikli enjektörün genel püskürtme şeklinin Şekil 4.4’de görüldüğü gibi oluştuğu saptanmıştır.



Şekil 4.4. Deneylerde kullanılan enjektörden direk püskürtme şekli

Yanma odası modeli içerisine püskürtülen yakıt miktarını ölçmek için ve yakıt dağılımını bulmak amacıyla 9 farklı biyodizel numunesine ait 1953 adet yakıt hücresinde ölüm yapılmıştır. Ölüm sonunda 147 adet hücrenin biyodizel yakıtı ile tamamen dolduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.1’de yanma odası modeli üzerinde oluşturulmuş olan bölgelere göre biyodizel yakıt dağılım miktarları incelendiğinde viskozite ve özgül ağırlık değeri en yüksek bulunan 9 numaralı örnekteki yakıt miktarı toplamı en yüksek bulunmuştur. Viskozite ve özgül ağırlıkları motorin test numunesine göre düşük olan diğer biyodizel numunelerinin yakıt miktarları ise daha küçük değerde bulunmuştur.

4, 5 ve 6 numaralı bölgelerin biyodizel yakıt püskürtme dağılımları incelendiğinde her biyodizele ait bölgelerde dolu hücrelere rastlanmıştır.

şekil 4.5’ de motorin rneği, şekil 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13’de ise yakıt viskozitesinin ve yoğunluğunun püskürtülen yakıtın yanma odası içerisindeki dağılımına nasıl etki ettiği görülmektedir.

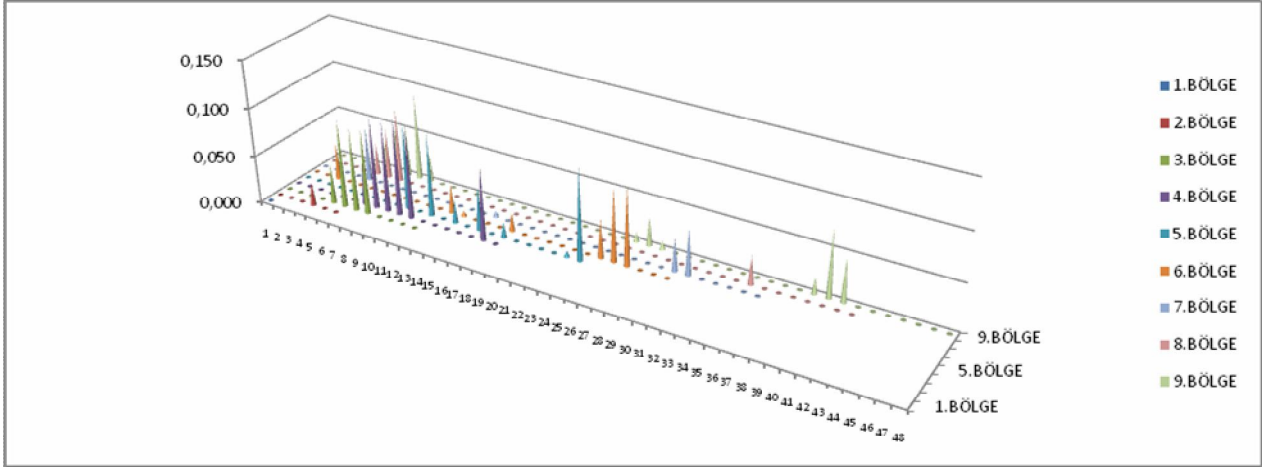
Çizelge 4.1. Yanma odası modeli içine püskürtülmüş olan yakıt örneklerinde püskürme dağılımının değişimi

Örnek No	Yakıt hücrelerinde toplanan yakıt miktarı (g) (1)	Yanma odası çeperine yapışan yakıt miktarı (g) (2)	Yanma odasındaki Toplam Yakıt miktarı (1+2)	1. Bölge	Dolu Hücre	2. Bölge	Dolu Hücre	3. Bölge	Dolu Hücre	4. Bölge	Dolu Hücre	5. Bölge	Dolu Hücre	6. Bölge	Dolu Hücre	7. Bölge	Dolu Hücre	8. Bölge	Dolu Hücre	9. Bölge	Dolu Hücre	Topl. Dolu hücre
1	2,311	0,112	2,423	-		0,025		0,316	3	0,517	4	0,370	4	0,297	2	0,148	2	0,196	2	0,442	5	22
2	1,624	0,798	2,422	-		0,107	1	0,261	3	0,517	7	0,350	3	0,197	1	0,155	1	0,037		-		16
3	1,892	1,017	2,909	-		0,044		0,346	3	0,502	4	0,407	6	0,209	1	0,153	1	0,070	1	0,161	1	17
4	1,701	0,762	2,463	-		0,113		0,245	2	0,622	9	0,341	2	0,214	2	0,091		0,030		0,045		15
5	2,413	1,007	3,420	0,020		0,056	2	0,260	5	0,593	4	0,661	4	0,471	3	0,251	1	0,101		-		19
6	1,682	0,618	2,300	0,091	1	0,341	3	0,142	1	0,274	2	0,177	2	0,232	2	0,186	2	0,093		0,146		13
7	1,695	1,030	2,725	0,107	1	0,110		0,111		0,437	5	0,252	2	0,238	3	0,153	1	0,098		0,188		12
8	1,824	1,006	2,830	0,072	1	0,101		0,223	2	0,410	4	0,297	3	0,231	3	0,220	1	0,103		0,167		14
9	2,688	1,079	3,767	0,115	1	0,494	5	0,402	3	0,467	4	0,325	3	0,275	1	0,222	1	0,095		0,273		18

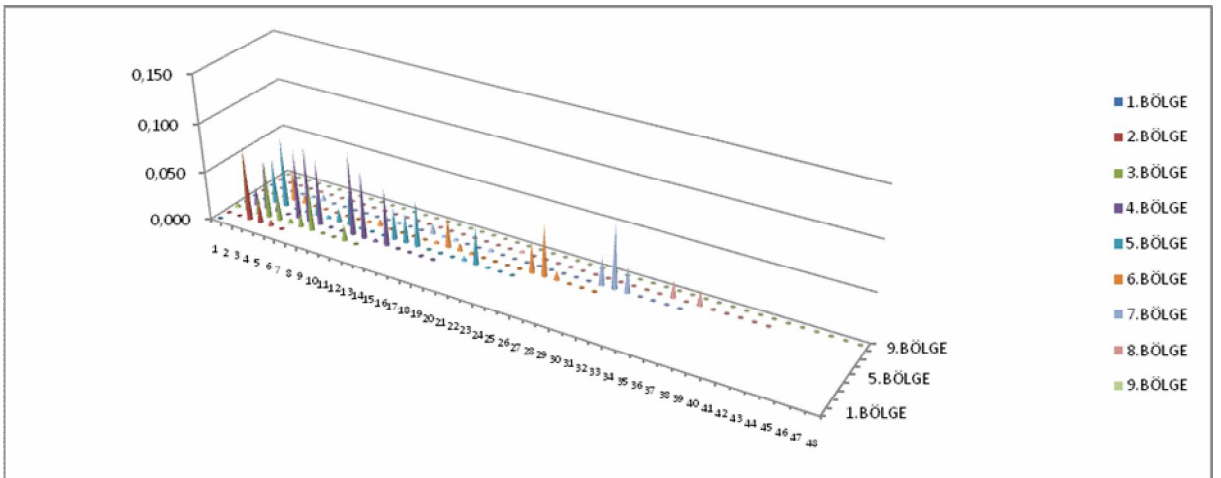
Çizelge 4.1 'deki değerler incelendiğinde en yüksek viskozite değerine sahip olan 9 numaralı biyodizel örneğinin yanma odası modeli içerisine püskürtülmüş olan toplam yakıt kütlesi (yakıt hücrelerinden toplanarak elde edilmiş olan miktar ile yanma odası çeperlerine yapışmış olan yakıt miktarının toplamı) motorin ve diğer biyodizel örneklerinin kütlesine göre oldukça yüksek saptanmıştır (3.767 g). En düşük yakıt kütlesi ise motorinden sonra viskozitesi en düşük olarak saptanmış bulunan 6 numaralı biyodizelde 2.30 g olarak bulunmuştur (motorin miktarı 2.413 g' dir). Yanma odası modeli içerisine 10 püskürtme sonrası toplanan yakıt miktarlarının yakıt örneklerine göre değişimi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$).

Şekil 4.5ve 4.13' de yanma odası yakıt hücrelerinin püskürtmeye bağlı olarak doluluk oranları ve ulaşabildiği bölgeler incelendiğinde dağılımının McGuire 2009 ile benzer şekilde olduğu yani motorinin püskürtme dairesi çapının biyodizel püskürtülmesi durumunda oluşan püskürtme dairesi çapından daha büyük olduğu görülmektedir. Çizelge 4.1' de ve Şekil 4.5' de motorin püskürtülmesi sonucunda oluşan damlacıklar biyodizel püskürtülmesi durumunun aksine son yani 9. bölgeye kadar ulaşmışlardır. Hatta 9. bölgede tam dolu olan hücre sayısı diğer örneklerinkine göre oldukça yüksek (5) bulunmuştur. 5 numaralı biyodizel 9 numaralı en yüksek viskoziteye sahip olan biyodizel ile hemen hemen aynı dağılımı göstererek özellikle orta bölgelerde yüksek doluluk oranı göstermiştir. Diğer örneklerin yakıt dağılımı ve püskürtülen yakıt toplamalarının birbirine yakın olduğu saptanmıştır.

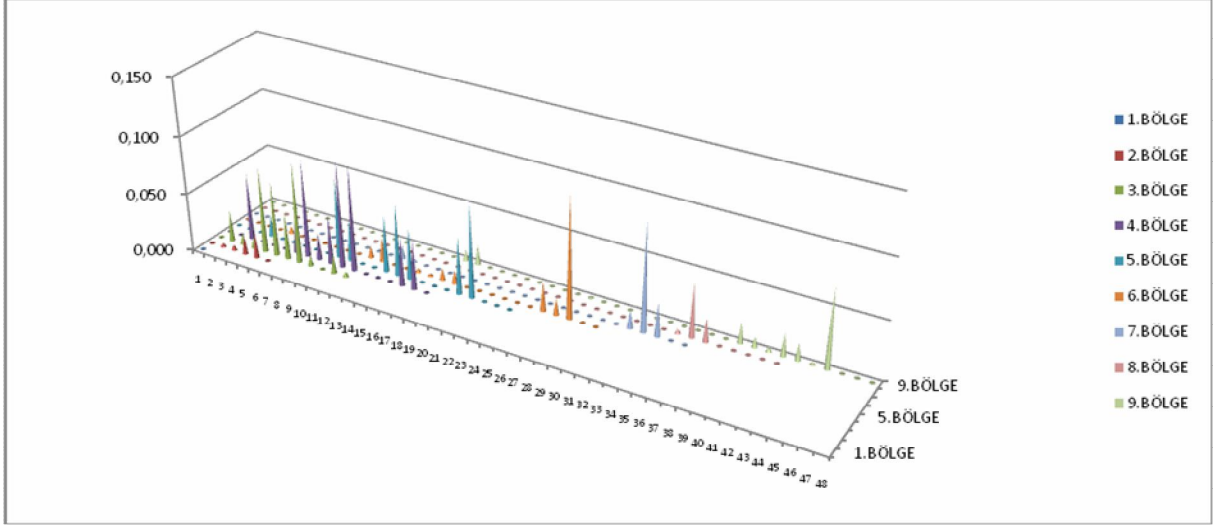
20 °C sıcaklıktaki viskozitesi (ki bu denemelerin yapıldığı oda sıcaklığına yakın bir değerdir) 9 numaralı örnekten sonra en yüksek olan 4 numaralı örnek ($13.73 \text{ mm}^2/\text{s}$) içinde yanma odasındaki dağılım 9 numaralı örneğinkine benzer şekilde özellikle 3., 4. ve 5. bölgelerde bulunan yakıt hücrelerinin çoğunun oldukça dolu olduğu saptanmıştır. Çizelge 4.1' den de bu açıkça görülmektedir. Bu yakıtın püskürtülmesi durumunda da yanma odası üzerindeki dış bölgelerde oldukça düşük miktarda yakıt toplandığı saptanmıştır.



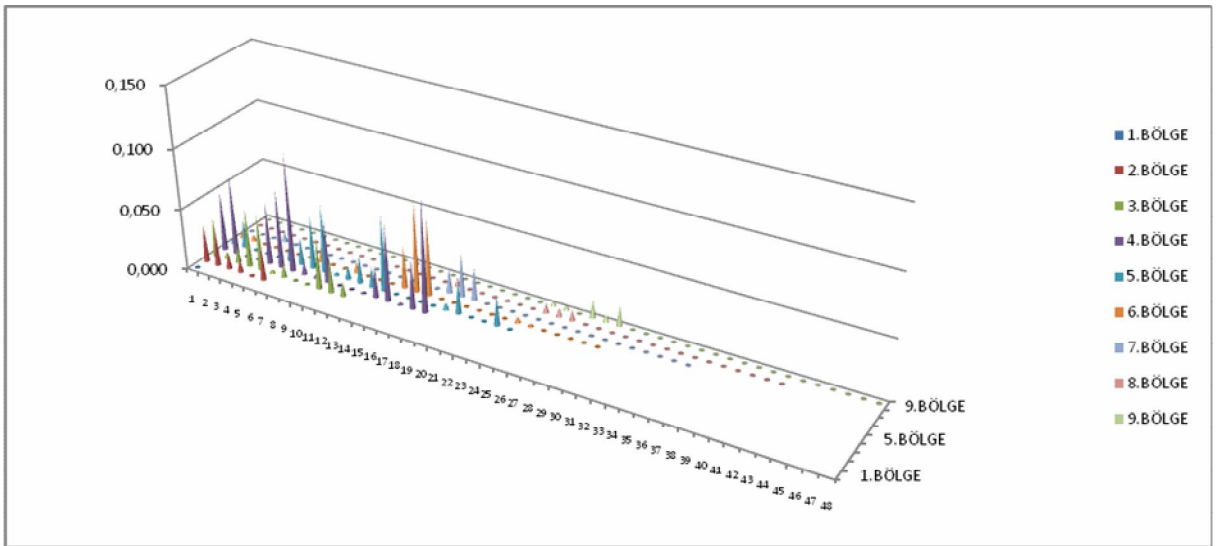
Şekil 4.5. Motorin örneğinin yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi



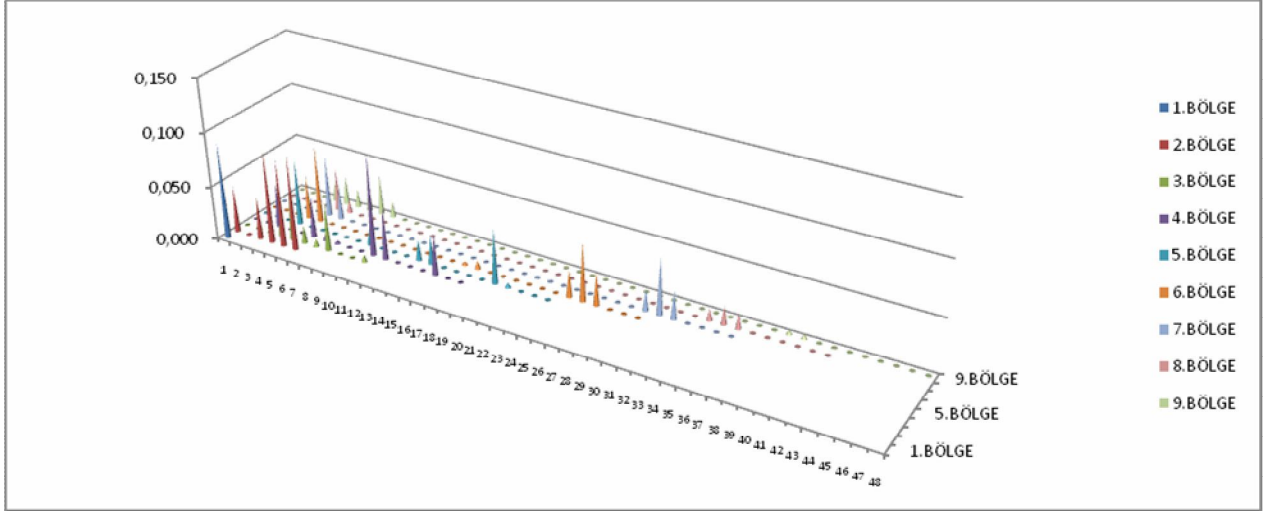
Şekil 4.6. Örnek 2'nin yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi



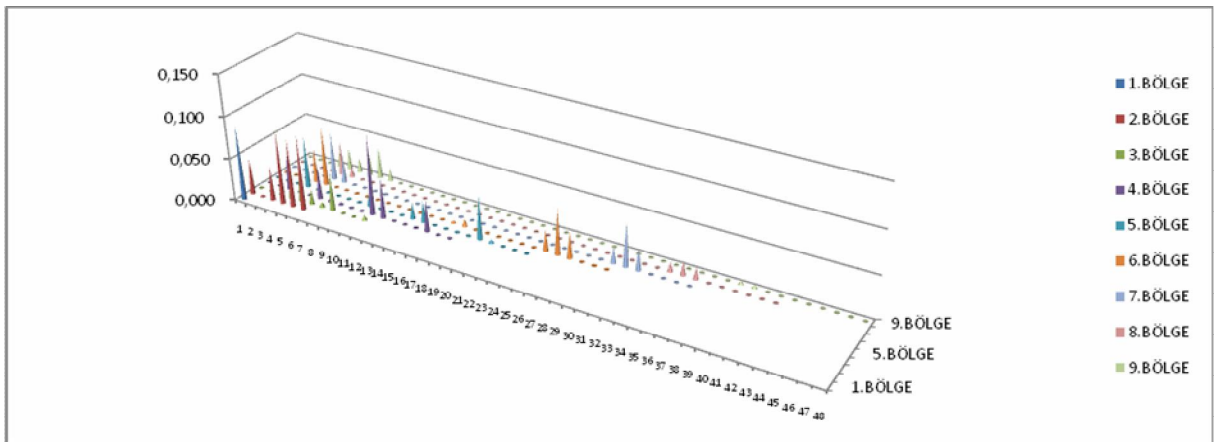
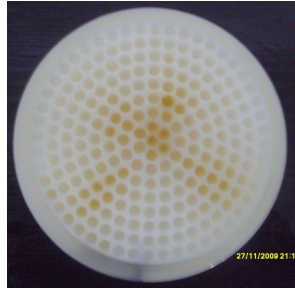
Şekil 4.7. Örnek 3'ün yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi



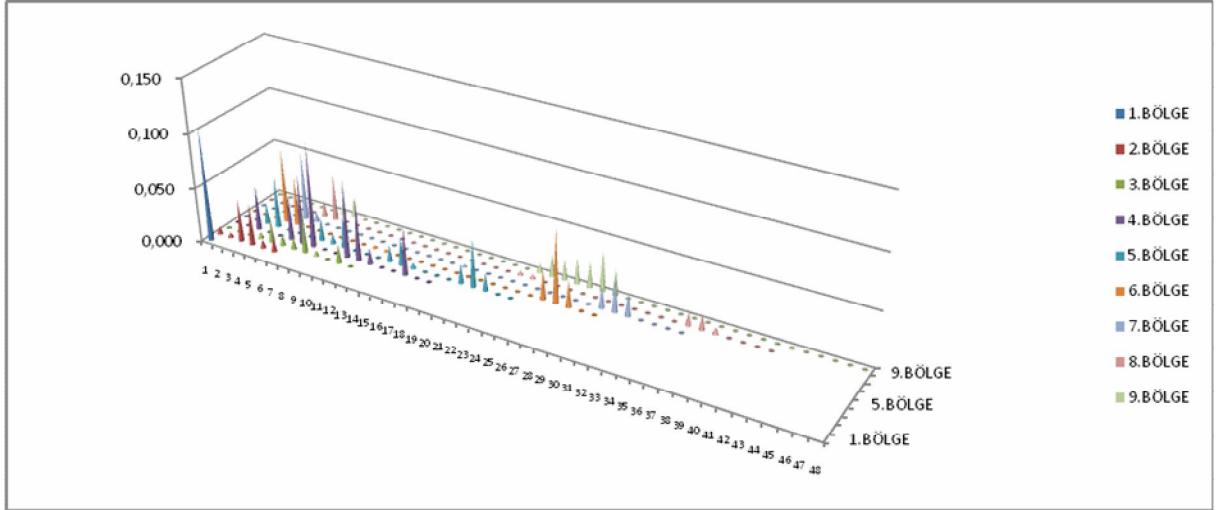
Şekil 4.8. Örnek 4'ün yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi



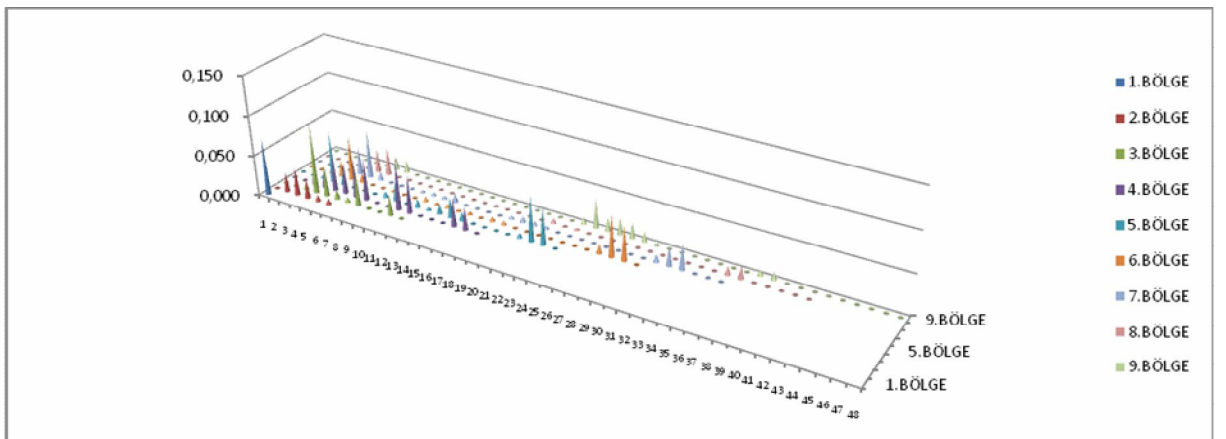
Şekil 4.9. Örnek 5'in yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi



Şekil 4.10. Örnek 6'nın yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi

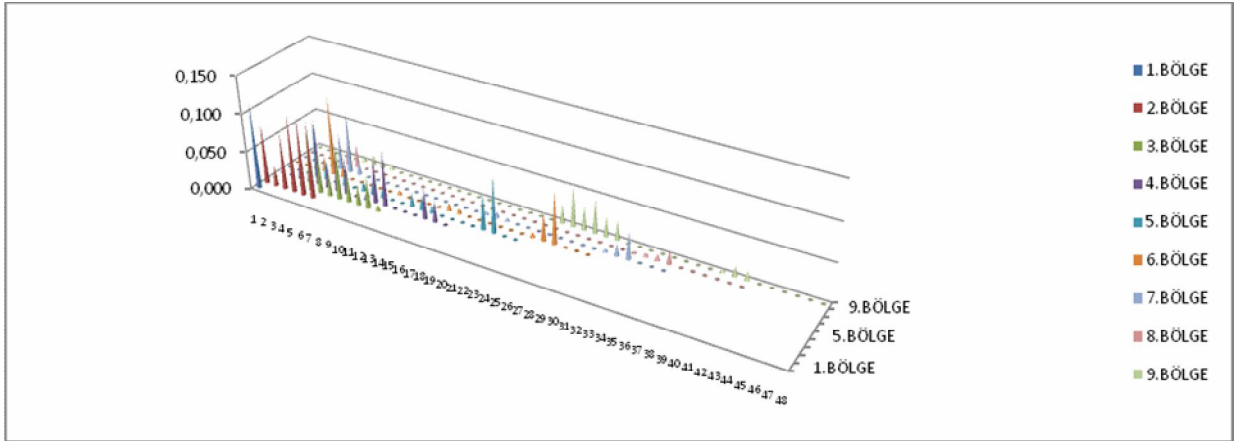


Şekil 4.11. Örnek 7'nin yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi



Şekil 4.12. Örnek 8'in yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi

Şekil 4.13 incelendiğinde viskozitesi en yüksek olan (Şekil 4.1) biyodizel örneğinin püskürtülmesi sonucu merkez bölge olan 1. bölge ile merkeze yakın olan bölgelerdeki (2, 3, 4 ve 5) yakıt hücrelerinin yoğun bir şekilde doldukları daha dıştaki bölgelerdeki yakıt hücrelerinin ise daha az dolulukta olduğu görülmektedir. Bu da yüksek özgül ağırlık ve viskoziteden dolayı yakıtın molekülleri arasında yüksek tutunmadan kaynaklanan büyük yakıt damlacıklarının yanma odası çeperlerine kadar ulaşamadığını göstermektedir.



Şekil 4.13. Örnek 9'un yanma odasında püskürtme dağılımının bölgelere göre değişimi

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Genel olarak sonuçlar incelendiğinde ülkemiz koşullarında üretilen biyodizel örneklerinin büyük kısmının standart dışında (üst sınırın oldukça üzerinde) veya sınırdaki viskozite ve özgül ağırlık değerlerine sahip oldukları saptanmıştır. Biyodizellerin TS EN 14214 standardına uygun olması için yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Yapılan araştırmalar bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilmesini göstermiştir. Ancak, motorin ile çalışmaya göre tasarlanmış mevcut dizel motorlarda bitkisel yağların doğrudan yakıt olarak kullanımı sırasında bitkisel yağların bazı yakıt özelliklerinden dolayı problemler ortaya çıkmaktadır. Belirtilen standartları karşılayacak şekilde biyodizel üretimi ise motorlarda herhangi bir modifikasyona gerek duymaksızın güvenli ve dayanıklı olarak kullanılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Püskürtme dağılım sonuçları yüksek viskozite ve yüksek yoğunluğun, biyodizel yakıtının enjektörden püskürtülmesini güçleştirdiğini ve iyi derecede atomizasyon sağlanmasını önleyerek daha büyük zerrecikler halinde püskürtülmesine yol açtığını ve yanma odası çeperlerine doğru ulaşabilen yakıt miktarının azalttığını göstermiştir. Bu durum dizel motorlarda yanmayı etkileyen en önemli parametre olan tutuşma gecikmesine sebep olacaktır. Bu durum ise kötü bir yanmaya neden olacaktır. Bu ise en uygun prosesi kullanarak viskozite özelliğinin standartlara uygun hale getirilmesinin ekonomik açıdan ne kadar önemli olduğunu açıkça göstermektedir.

Bilindiği gibi biyodizel üretim metotları oldukça kolaydır fakat buna rağmen standartlara uygun olmayan ürünler, ki bu çalışmadan elde ettiğimiz sonuçlarda ülkemizde üretilen ve kullanılan biyodizelin çok büyük bir miktarının standart viskozite ve özgül ağırlık değerine sahip olmadığını doğrulamaktadır. Bu biyodizelin ülkemizde tüketiminin yaygınlaşmasını engelleyecek ve oldukça önemli düzeyde ekonomik kayıplara neden olacaktır. Bu sebeple üretim yapacak olan firmaların üretim kalitesini arttırması ve proses sonrasında elde ettikleri ürünlerin analizlerini gerçekleştirerek bunların standartlara uygunluğunu takip etmeleri gerekmektedir. Firmaların bu analizleri yapmak amacıyla gerekli donanımlara sahip laboratuvarlarını kurmaları veya bu mümkün değilse ürettikleri ürünleri yeterli donanıma sahip laboratuvarlarda analiz ettirmeleri ve bu analizlerin sonuçlarına göre ürettikleri ürünü piyasaya kullanıma sunmaları, ülkemiz ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır.

6.KAYNAKLAR

- Afacan T (2009). Türkiye’de ve Dünyada Biyodizel Politikaları. 1. Ulusal Enerji Verimliliği Forumu . 15-16 Ocak 2009, İstanbul.
- Aktaş, A. ve Sekmen, Y., Biyodizel ile Çalışan bir Dizel Motorda Yakıt Püskürtme Avansının Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 23(1), 199-206, 2008.
- Akınerdem F (2007). Enerji Tarımı; Enerji Bitkileri Potansiyelimiz. Enerji Güvenliği, Enerji Tarımı, Küresel Isınma Açısından Biyoyakıtlar Uluslararası Sempozyumu. Erişim Tarihi: 18.11.2007. http://www.albiyobir.org.tr/files/img_etk/fikret_akinerdem.pdf
- Alibaş K, Ulusoy Y (2002). Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımın Teknik ve Ekonomik Olarak İncelenmesi. Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Dergisi. (16): 37-50.
- Alpgiray B, Gürhan R (2007). Kanola Yağının Diesel Motorunun Performansına ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin Belirlenmesi.
- Alptekin E, Çanakçı M (2007). Biyodizel-Dizel yakıt Karışımlarının Özgül ağırlık ve Viskozitelerinin Belirlenmesi. I. Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu, 28-31 Mayıs, Samsun, 251-255.
- Altın R, Çetinkaya S, Yücesu H S (2001). The Potential of Using Vegetable oil Fuels as Fuel for Diesel Engines. Energy Conversion and Management.(42): 529-538.
- Altınsoy AS (2007). Biyodizel Üretimi Motorlarda Kullanımı ve Türkiye’deki Kaynakların İncelenmesi. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Altun Ş, Gür MA (2005). Bitkisel Yağların Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarında Kullanılması. J.Agric.Fac.HR.U., 2005, 9 (3):35-42.
- Al-Widyan MI, Tashtoush G, Abu-Qudais M (2002). Utilization of Ethyl Ester of Waste Vegetable Oils as Fuel in Diesel Engines. Fuel Processing Technology, 76: 91-103.
- ASTM standard D6751. Standard specification for biodiesel fuel (B100) blend stock for distillate fuels. ASTM, West Conshohocken, PA.
- Aydın K, Keskin A (2000). Dizel Motorlarda Motorin, Bitkisel Yağlar ve Alkol Karışımlarının Performans ve Emisyona Etkilerinin Araştırılması. Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü 5. Ulusal Sempozyumu. S: 149-158, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 19-21 Haziran 2000.
- Aytaç Ş (1997). Küçük Güçlü Bir Dizel Motorunda Motorin ve Bitkisel Yağların Oransal Karışımlarının Yakıt Olarak Kullanılmasında Bazı Performans Değerlerinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.

- Bayrakçeken H , Yavuz H, Aksoy F, Ayhan ŞB (2009). Soya Yağı Metil Esterinin Motor Performans Ve Emisyonlarına Etkisi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
- Connemann, J ve Fischer, J. "Biodiesel World 2000", International Congress and Expo Lipids, Fats, and Oils, sayfa 4, Würzburg, Almanya, 8-10 Ekim 2000.
- Çelik M, Taşyürek M, Ünalı (2006). Biyodizel Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Araştırma (Sunu metni), Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu, İzmir. Cilt 1, 113-124
- Demir C (2006). Biyodizel Standartları ve Analiz Yöntemleri, Yaşanılan Problemler. Uluslararası Yakıt Sempozyumu. Ankara. <http://www.albiyobir.org.tr/e06-1008.htm>
- Demirbaş A (2002). Biodiesel fuels from vegetable oil via catalytic and non – catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods : a survey. Energy Conversion and Management 44 (13): 2093 – 2109.
- Demirbaş A (2006). Biodiesel Production via Non-Catalytic SCF Method and Biodiesel Fuel Characteristics. Energy Conversion and Management, 47, 2271-2282.
- EN14214. Automotive Fuels–Fatty Acid Methyl Esters (FAME) for Diesel Engines— Requirements and Test Methods. Berlin, Germany: Beuth-Verlag.
- Encinar, J, M. J. F. Gonzalez, J. J. Rodrigez and A. Tejedor (2002). Biodiesel fuels from vegetable oils, transesterification of *Cyrtia cardunculus* L. oils with ethanol. Energy Fuels, 16: 443-50.
- Encinar, JM, Gonzalez J F, Rodriguez-Reinares A (2005). Biodiesel from Used Frying Oil. Variables Affecting the Yields and Characteristics of the Biodiesel. Ind. Eng. Chem. Res., 44 (15), 5491-5499
- Erşan K (1998). Sıvı Yakıt Viskozitesinin Damlacık Çapına ve Dağılımına Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bil. Ens.Der. 11(2).
- Graboski MS, McCormick RL (1998). Com-Bustion Of Fat And Vegetable Oil Derived Fuels In Diesel Engine. Progress Energy Combustion Science 24: 125-164.
- Gürleyük, S. S. 2003. <http://www.arsiv.emo.org.tr/kartus01/sempozyumlar/yeksem>. Erişim Tarihi: 16.11.2005.
- Haşimoğlu C. İcingür Y. Dizel Motorlarında Azot Oksit (NOx) Kontrol Yöntemleri. Selçuk-Teknik Online Dergisi.
- Haşimoğlu C, İcingür Y ve Özsert İ (2007). Soya Yağı Metil Esterinin Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi . 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük,

- Huzayyin A.S, Bawady A.H, Rady M.A, Dawood A, (2004). Experimental Evaluation of Diesel Engine Performance and Emission using Blends of Jojoba Oil and Diesel Fuel. Energy Conversion and Management. 45, 13-14, 2093-2112.
- Karahan Ş (2005). Biyodizel Kalitesi ve Biyodizel Kalitesinin Dizel Motorlara Etkileri. Biyodizel Çalıştay, Ankara, 2 Aralık 2005.
- Karabektaş M, Ergen G (2007). Soya Yağı Metil Esterinin Motor Performans Karakteristikleri ve NOx Emisyonları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi, 11(1): 21-26.
- Karaosmanoğlu F(2002). “Türkiye İçin Çevre Dostu-Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı: Biyomotorin”,Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi, ICC1 2002 Özel Sayısı, s. 50-56.
- Koç T (2006). Kaliteli Biyodizel Ne Demektir. <http://www.turklider.org/TR/EditModule.aspx?tabid=1&mid=6663&ItemID=2437&itemindex=0>
- McGuire T (2009). Alternative Fuel Spray Length Characterization: Comparing Diesel and Biodiesel Fuels. http://www.ems.psu.edu/~elsworth/courses/EGEE520/2009Deliverables/reports/Thomas_McGuire_EGEE_520_Project.pdf
- Nişancı S (2007). Biyodizel Yakıt Karışımlarının Performans ve Emisyon Üzerine Etkilerinin Deneysel Araştırılması. Y.T.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.
- Oğuz H, Öğüt H (2001). Tarım Traktörlerinde Bitkisel Kökenli Yağ Kullanımı. Selçuk-Teknik Online Dergisi, ISSN 1302-6178, Vol : 2, No : 2.
- Öğüt H, Eryılmaz T, Oğuz H, (2007). Bazı Aspir (*Carthamus tinctorius L.*) Çeşitlerinden Üretilen Biyodizelin yakıt Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. 1. Ulusal Yağlı Tohumlar ve Biyodizel Sempozyumu, 28-31 Mayıs, Samsun, 11-16.
- Ölçüm T (2006). Biyodizel Teknolojisi. Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Özsezen NA, Çanakçı M (2009). Atık Palmiye ve Kanola Yağı Metil Esterlerinin Kullanıldığı Direkt Püskürtmeli Bir Dizel Motorda Performans ve Yanma. Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi. 24(2): 275-284.
- Öztürk G. M, Bilen K (2009). Kanola Yağı Metil Esteri ve Karışımlarının Dizel Motoru Egzoz Emisyonuna ve Yakıt Tüketimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi. Int. J.Eng. Research&Development, Vol.1, No.1, 50-55.
- Schwab, A.W., M.O. Bagby and B. Freedman. 1987. Preparation and Properties of Diesel Fuels from Vegetable Oils. Fuel 66: 1372- 1378.

- Pogorevc P, Kegl B, Skerget L (2008). Diesel and Biodiesel Fuel Spray Simulations. *Energy Fuels*. 22 (2): 1266–1274.
- Tillem İ (2005). Dizel Motorlar İçin Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Üretimi ve Kullanımı. Pamukkale Üniversitesi fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Türkoğlu N (2005). Yenilenebilir Enerji "Biyodizel". <http://www.turklider.org/TR/EditModule.aspx?TabId=391&mid=2598&ItemId=1386>.
Erişim tarihi: 9 ocak 2010.
- Utlu Z (2006). Biyodizel Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Atık Kızartma Yağlarının Değerlendirilmesi. www.emo.org.tr/ekler/04f2c31e6703464_ek.pdf
- Utlu Z, Hepbaslı A (2006). Assessment of The Energy and Exergy Utilization Efficiencies in The Turkish Agricultural Sector. *International Journal of Energy Research*. (30):659-670.
- Usta, N, Can Ö, Öztürk E, "Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel ve Etanolün Karşılaştırılması" *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 11(3): 325-334, (2005).
- Varde K.S(1982). Some Correlation of Diesel Engine Performance with Injection Characteristics using Vegetable Oil as Fuel, *Vegetable Oil Fuels*. Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, ASAE Publication, Fargo, ND, 303-311.
- Yaşar B (2008). Türkiye’de Biyodizel Üretim Maliyeti ve Yaşanan Sorunlar. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES’2008 17-19 Aralık 2008, İstanbul.
- Yücel HL (2008). Pamuk Yağının Alternatif Dizel Yakıtı Olarak Kullanılması. *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi* 20 (1): 185-192.
- Yıldız M (2008). Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı. Tekirdağ.

7. ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Edirne’de doğdu. İlk ve Orta öğrenimin Hasköy’de tamamladı. 1997 yılında Edirne Endüstri Meslek ve Teknik lisesi Elektrik Bölümünden mezun oldu. 2000 Yılında Trakya üniversitesi Elektrik Bölümü Programını bitirdi. 2005 yılında Marmara Üniversitesi Elektrik Öğretmenliği Bölümünden Mezun oldu. 2006 yılında Tarım Makinaları Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2007 Yılında Namık Kemal Üniversitesinde Memur olarak işe başladı. Halen Namık Kemal Üniversitesinde Memur olarak çalışmaya devam etmektedir.

8. TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, başlangıcından sonuna kadar, gerekli bütün yardım, tavsiye ve yönlendirmeleri yapan, karşılaştığım problemlerin çözümünde deneyimlerinden yararlandığım sayın danışman hocam Doç. Dr. Türkan AKTAŞ'a, Yrd. Doç.Dr. Erdal KILIÇ'a, Yrd. Doç. Dr. İ Savaş Dalmış'a ve Tarım Makinaları Bölümündeki tüm Öğretim üyeleri ve Öğretim Elemanlarına, desteklerinden dolayı aileme ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.