T.C.

BATMAN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK TRAFO YAĞLARININ DİZEL MOTORLU BİR JENERATÖR SETİNDE ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI

Abdulkerim YILDIZ

YÜKSEK LİSANS

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2017
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdulkerim YILDIZ tarafından hazırlanan "Kullanılmış trafo yağlarının dizel motorlu bir jeneratör setinde alternatif yakıt olarak kullanılması" adlı tez çalışması …/…/… Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Unvanı Adı SOYADI	……..
Danışman Unvanı Adı SOYADI	……..
Üye Unvanı Adı SOYADI	……..

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

. ……. ……..
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İmza

Abdulkerim YILDIZ

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIK TRAFO YAĞLARININ DİZEL MOTORLU BİR JENERATÖR SETİNDE ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI

Abdulkerim YILDIZ

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Şehmus ALTUN

2017, 65 Sayfa

Jüri
Doç.Dr. Şehmus ALTUN
Prof.Dr. Hüsamettin BULUT
Doç.Dr. Eşref BAYSAL

Bu çalışmada kullanılmış trafo yağları bir dizel motorlu jeneratör setinde alternatif yakıt olarak kullanılmıştır. Kullanılmış trafo yağlarının konvansiyonel dizel yakıtlara göre çok yüksek olan viskozitesinden dolayı direk olarak kullanımı yerine dizel yakıtı ile karıştırılarak test edilmiştir. Konvansiyonel dizel yakıtına hacimsel olarak %10 oranında artışlar ile eklenen kullanılmış trafo yağının %60 oranına kadar viskozitesinin belirtilen standartlar içerisinde kaldığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla kullanılmış trafo yağının konvansiyonel dizel yakıtı ile %20, %40, %60 ve %80 oranlarındaki karışımları 4-zamanlı ve 4-silindirli bir direk püskürtmeli dizel motorlu jeneratör setinde sabit hız-değişik yük koşullarında test edilmiştir. Testlerde her bir yakıt için performans ve egzoz emisyonu ile silindir gaz basıncı ölçümleri yapılmıştır. Ölçülen ve hesaplanan değerler aynı şartlarda konvansiyonel dizel yakıtı kullanımına göre karşılaştırılmıştır. Deneylerde ayrıca yüksek oranda (%80 v/v) kullanılmış trafo yağı içeren bir karışım yakıt daha test edilmiştir. Deneysel sonuçlar karışım yakıtların kullanımı ile özgül yakıt tüketiminin yaklaşık %38 oranında düştüğünü bununla beraber efektif verimin ise yaklaşık %39 oranında arttığını göstermiştir. Karışım yakıtların kullanımı ile ortalama NO_x ve HC emisyonları konvansiyonel dizel kullanımına göre azalmıştır. Maksimum silindir gaz basıncı değerleri kullanılmış trafo yağı karışımlarında dizele göre daha yüksek ölçülmüştür. Bununla beraber karışım yakıtların kullanımı ile yanma dizele göre daha geç başlarken ortalama gaz sıcaklığı daha yüksek olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Atık Trafo Yağları, Alternatif Yakıtlar, Dizel Jeneratör, Emisyon

ABSTRACT

MS THESIS

THE USE OF WASTE TRANSFORMER OILS AS ALTERNATIVE FUEL IN A DIESEL ENGINE-POWERED GENERATOR SET

Abdulkerim YILDIZ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF BATMAN UNIVERSITY

THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN AUTOMOTIVE ENGINEERING

Advisor:

2017, 65 Pages

Jury
Doç.Dr. Şehmus ALTUN
Prof.Dr. Hüsamettin BULUT
Doç.Dr. Eşref BAYSAL

In this study, waste transformator oils were used in a diesel engine powered generator set as alternative fuel. Waste transformator oil was tested in blends with conventional diesel rather than direct use owing to its very high viscosity compared with conventional diesel fuels. Up to 60% of waste transformator oil added to conventional diesel with an increase of 10% by volume was found to have a viscosity which are within specified standards. Therefore, the blends of waste transformator oil with diesel at the rates of 20%, 40% and 60% were tested in a 4-stroke and 4-cylinder direct injection diesel engine powered generator set under constant speed-variable load conditions. In tests, for each fuels, performance, exhaust emissions and cylinder gas pressure measurements were performed. Measured and calculated results were compared with the results of convantional diesel that was tested at same conditions. In the experiments, therefore, a blended fuel contained waste transformator oil at a high ratio was also tested.. Experimental results showed that specific fuel consumption was reduced by about 38% while efficiency was improved by about 39% when using blended fuels. Mean NO_x and unburned HC emissions were reduced with using blended fuels compared with conventional diesel. Cylinder gas pressure was higher for blended fuels than that of conventional diesel while the start of combustion was later in case of blended fuels.

Keywords: Waste transformator oil; Alternative fuels; Diesel generator; Emissions.

ÖNSÖZ

Bütün çalışmalarım süresince beni yönlendiren, danışmanlığımı üstlenen, tezimin gerçekleşmesi için çalışma ortamının hazırlanmasında büyük emekleri olan ve tezimin her aşamasında en küçük ayrıntısına kadar titizlikle ilgilenen destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Şehmus ALTUN'a; Tez çalışmalarımda deney aşamalarındaki kısmıyla ilgili çalışmamda bana yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Selman AYDIN'a; Numune analizleri Laboratuvar ortamında her türlü imkânı bana sağlayan Batman Üniversitesi Petro Kimya Bölümünden Öğretim Görevlisi Dr. Fevzi YAŞAR hocamıza, ayrıca çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür eder, bu çalışmanın bilim adına faydalı olmasını dilerim.

Abdulkerim YILDIZ

BATMAN-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu 3
1.2. Enerji Tüketiminin Kirlilik Üzerine Etkileri 6

1.3. Alternatif Dizel Motor Yakıtları **7**

1.3.1. Biyodizel 7
1.3.2. Etanol 8

1.4. Trafo Yağları **9**

1.4.1. Madeni Yağlar 9
1.4.1.1. Madeni Atık Yağlar 10
1.4.1.2. Madeni Atık Yağ Kategori Grupları 10
1.4.1.3. Atık Madeni Yağların Oluşumu 11
1.4.1.4. Atık Madeni Yağların Çevreye Etkileri 12
1.4.1.5. Atık Madeni Yağların Geri Kazanımı ve Bertaraf Edilmesi 13
1.4.1.6. Atık Yağların Kullanıldığı Çeşitli Alanlar 13
1.4.2. Sentetik Yağlar 14
1.4.3. Trafo Yağında Olması Gereken Özellikler: 15
1.4.4. Trafo Yağlarının Kimyasal Yapıları 16
1.4.5. Atık Trafo Yağları 18

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **20**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **26**

3.1 Atık Trafo Yağı ve Özellikleri 26
3.2 Motor Deney Seti 29

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **33**

4.1. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT) 33
4.2. Efektif Verim 34
4.3. Silindir Gaz Basıncı 35
4.4. Isı Salınımı 38
4.5. Ortalama Gaz Sıcaklığı 42

4.6. Egzoz Emisyonlarının İncelenmesi 45
4.6.1. NO_x Emisyonlarının İncelenmesi 46
4.6.2 HC Emisyonlarının İncelenmesi 47
5.1 Sonuçlar 49
5.2 Öneriler 50

KAYNAKLAR 51

ÖZGEÇMİŞ 58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Pb	:Kurşun
Cu	:Bakır
S	:Kükürt
ZnO	:Çinko Oksit
Fe_2O_3	:Demir Oksit
CuO	:Bakır Oksit
CO	:Karbonmonoksit
NO_X	:Azot Oksit
SO_2	:Kükürt Dioksit
SO_X	:Kükürt Oksitler

Kısaltmalar

Btep	:Bin ton eşdeğer petrol
PAH	:Polisislik Aromatik Hidrokarbon
PCB	:Poliklorür Bifenil
Megep	:Mesleki Eğitimi Geliştirme Projesi
TWh	:Terewatt saat
TMMOB	:Makina Mühendisleri Odası, Ankara
DBPC	:Ditert- butil-para-kresoi
DBP	:Ditert-butil-fenol
EPA	:Çevre Koruma Ajansı
APY	:Atık Plastik Yağ
LPY	:Lastik Piroliz Yağı
ASY	:Atık Sıvı Yağı
LTY	:Lastik Türevi Yakıt
Rpm	:Dakikadaki Devir Sayısı
KTY	:Kullanılmış Trafo Yağı
CI	:Sıkıştırma ile Ateşlemeli
PAO	:Polialfaolefin
DY	:Dizel Yakıt
BDÜ	:Bosch Duman Ünitesi
AYY	:Atık Yağlama Yağlarının
AMY	:Atık Motor Yağları
SG	:Spesifik Gravite
LY	:Lastik Yakıtı
DKLY	:Düşük Kükürtlü Lastik Yakıtı
TPM	:Toplam polar madde
ATY	:Atık Trafo Yağı
ÖYT	:Özgül Yakıt Tüketimi (gr/kWh)
KMA	: Krank Mili Açısı (derece)

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyacının giderek artması sonucu yaygın olarak kullanılan fosil kökenli kaynaklar yerine artan enerji talebinin karşılanabilmesi için alternatif enerjiler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Enerji tüketimi içerisinde büyük bir paya sahip olan petrolün sınırlı bir rezerve sahip ve tükeniyor olması ile petrol türevi yakıtların aşırı kullanımları neticesinde artan çevre ve hava kirliliği gibi konular araştırmacıları alternatif yakıt arayışına yönlendirmiştir. Petrol kökenli yakıtlara alternatif yakıtların teknik ve ekonomik yönden uygun olması ile çevresel yönden avantajlı olması gerekmektedir (Altun, 2009; Alptekin ve diğ.,2010; Topal ve diğ.,2008; Çukurçayır. M A ve diğ.,.2008). Bu bağlamda günümüzde petrol kökenli yakıtların kullanıldığı sektörlerde özellikle içten yanmalı motorlarda biyodizel ve biyoalkoller alternatif yakıt olarak dikkate alınmaktadır. Bu alternatif yakıtlar petrol kökenli yakıtların yoğun bir şekilde kullanıldığı içten yanmalı motorlarda başarılı bir şekilde kullanılabilmektedirler (Agarwal ve Kumar, 2007). Alkol yakıtları arasında en fazla dikkate alınan biyoetanol yakıtı hem sıkıştırma ile ateşlemeli hem de buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılırken; biyodizel sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak dikkate alınmaktadır (Lapuerta ve ark., 2009). Yapılan çalışmalarda yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyodizel ve biyoetanol yakıtlarının içten yanmalı motorlarda kullanılmasıyla petrol kökenli yakıtlara bağımlılığın ve kirletici egzoz emisyonlarının azaltılabileceği belirlenmiştir. Ancak bu yakıtların üretimi için kullanılan hammaddelerin gıda amaçlı kullanılıyor olması ve dolayısıyla tarım alanlarının da kullanılması gıda güvenliğini tehdit eder hale gelmesi gibi endişelerden dolayı son zamanlarda çevre dostu yeni hammadde arayışlarına hız verilmiştir. Bir başka endişe de sera gazı emisyonlarının artmasıdır. Bu bağlamda alternatif yakıt üretimi için atık yağların kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır (Murugan ve diğ., 2008; Mani ve diğ., 2009; Sugözü ve diğ., 2009; Arpa ve diğ., 2010; Behçet ve diğ., 2012).

Atık kızartma/pişirme yağları, atık motor yağları, atık plastik ve kullanılmış lastikler vb. gibi birçok atık kaynaklar yakıt olarak değerlendirilmek üzere çalışılmaktadır. Atık kızartma/pişirme yağlarından transesterifikasyon reaksiyonu ile üretilen biyodizel yakıtların dizel motorlarında kullanılmaya uygun hale gelmekte ve başarılı bir şekilde motor ve yakıt siteminde değişiklik yapmadan kullanılabilmektedir (Anonim, 2011). Diğer taraftan endüstriyel atıklar piroliz gibi farklı yöntemler ile yakıt

olarak kullanılmaya uygun hale getirilebilmektedirler. Bu bağlamda yukarıda bahsedildiği gibi atık motor yağları ile atık plastik ve araç lastiklerinden de bu yöntemler kullanılarak yakıt elde etmek mümkün olmaktadır.

Öte yandan kullanılmış atık yağların besin zincirinden zamanında çekilmemesi ve kontrolsüz biçimde çevreye atılması ile yeraltı sularına karışarak içme sularını da kirletmekte, bu durum çevre ve insan sağlığını tehdit eder hale gelmektedir (Anonim, 2011). Atık yağ kaynaklarının büyük bir kısmını oluşturan yağlama yağları sanayide geniş bir oranda kullanılmakta ve bu yağların büyük bir çoğunluğunu petrol kaynaklı yağlar oluşturmaktadır (Bhaskar ve diğ., 2004). Bir L atık motor yağının 800 bin L suyu kullanılamaz beş milyon ton temiz suyu ise içilemez hale getirdiği göz önüne alındığında atık yağlar için geri dönüşümünün ne kadar çok önemli olduğu daha iyi anlaşılmaktadır (Arpa ve diğ., 2008). Sanayinin gelişmesi ile birlikte ihtiyaçları karşılamak için daha kaliteli yağlar çok çeşitli teknolojiler kullanılarak üretilmeye başlanmıştır. Yağlama yağları madeni yağlar olarak bilinmektedir. Madeni yağlar kullanımları sonrasında geri dönüştürülebilme özelliği açısından önemlidir. Atık durumdaki madeni yağlar toplanarak yeniden ve istenilen özelliklerde madeni yağlar yapılabilmektedir. Bu proses ile madeni yağ üretmek için ham petrolden harcanan enerji, atık durumdaki madeni yağların işlenmesi ile elde edilen enerjiden çok daha azdır. Buda 13 litre atık yağ işlendiğinde 10 litre rejenere yağ elde edilebilmektedir. Fakat aynı miktar madeni yağın elde edilebilmesi için 670 litre ham petrol işlenilmesi gerekmektedir (Özbozkurt, 2006).

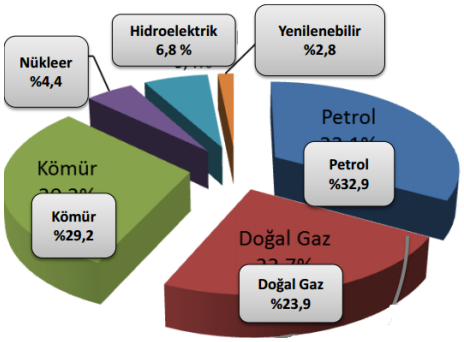
Atık yağlama yağlarının konvansiyonel dizel yakıtlara alternatif olarak araştırıldığı çalışmalarda bu atık yağların piroliz gibi işlemler uygulanması ile kolaylıkla yakıt olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (Sugözü ve diğ., 2009). Piroliz katı ya da sıvı formunda mevcut olabilir, farklı alternatif yakıtlar türetmek için bir yöntemdir. Bu tür piroliz yağı, piro gaz ve kömür ya da karbon siyahı gibi katma değerli ürünler, organik maddenin termal bozunmasının bir yöntemdir. Dizel yakıt ve yakıt karışımlarının analizi sonucunda kullanılan yakıtların sınır değerleri aşmamakla beraber, dizel yakıt ile piroliz yöntemi ile elde edilen yakıt karışımlarının kullanımındaki güç miktarında düşüş, özgül yakıt tüketimi ise artış göstermiştir. Piroliz yöntemi ile elde edilen dizel yakıtı ve karışım yakıtlarının dizel motorlarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Aydın, 2011).

Son zamanlarda atık yağlar ile ilgili olarak atık trafo yağlarının da yakıt olarak yeniden değerlendirilmesi üzerinde bazı çalışmalar yapılmaktadır. Bu yağlar naftanik yapıda olup transformatör sistemlerinin soğutma ünitelerinde izolasyon amaçlı kullanılıp sonrada atılmaktadır. Bu yağın yüksek ısıl değere ve dizel yakıtına benzer özelliklere sahip olmasından dolayı bu yağların dizel motor yakıtı veya yakıt katkısı olarak değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Enerji kaynaklarının sınırlı olması ve özellikle enerjide dışa bağımlı olan ülkeler için atıkların geri kazanılması her zaman önemli bir araştırma konusu olmuştur. Dolaysıyla bu yağların yeniden değerlendirilmesi ve özellikle petrol kökenli dizel yakıtların yerine kullanılması büyük önem taşımaktadır.

Diğer taraftan dizel motorların önemli bir uygulama alanı olan jeneratör setlerinin kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Literatürde (Pritinika, 2013) atık trafo yağlarının dizel motor yakıtı olarak kullanılması ile ilgili çalışmaların bulunmasına rağmen bu yağların dizel motorlu jeneratör setlerinde yakıt olarak kullanılması ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Dolayısıyla, bu çalışmada atık trafo yağının dizel motorlu bir jeneratör setinde kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

1.1. Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu

Birincil enerji tüketiminde çok etkin olan petrol, gaz ve kömürün 2015'de %86 oranında olan fosil yakıtlara olan bağımlılık, izlenen politikalarda değişiklikler olmadığı sürece, kısa ve orta dönemde kayda değer bir azalma göstermeyecektir. Şekil 1.1.'de kullanılan birincil enerji kaynakları arasında petrolün %32.9 ile en yüksek orana sahip olduğu görülmektedir. Bunu yaklaşık %29,2 ile kömür ve %23,9 ile doğal gaz takip etmektedir (BP Statistical Review of World Energy, 2017).

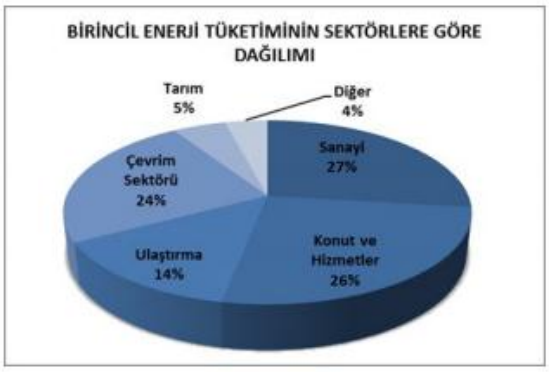


Şekil 1.1. Dünyada 2015yılı enerji kullanımı

2012'de ülkemiz birincil enerji talebinin dünya talebinin yaklaşık %1'ini oluşturmaktadır (Şekil 1.2) (BP Statistical Review of World Energy, 2017). Tahminlerine göre 2023'te birincil enerji talebi %90 oranında artarak 218 MTEP'e, bunların içinde kömürün talebinin %31'den %37'ye çıkması, doğalgazın ise %32'den %23'e gerilemesi öngörülmektedir. Petrol ve hidroelektrik payının sabit kalması beklenilirken, nükleer enerjinin birincil enerji talebinden %4 pay alması öngörülmektedir (enerji.gov.tr, 2017).



Şekil 1.2. Türkiye Birincil Enerji Talebi 2013



Şekil 1.3. Birincil Enerji Talebinin Sektörlere Göre Dağılımı

Şekil 1.4.'de ise 2008 yılında 41.8 bin MW olan yurtiçi kurulu kapasite, 2013 yılına gelindiğinde %53 oranında artışla 64 bin MW'a ulaşmıştır. Bununla birlikte 2013 yılı verilerine göre kurulu güç içinde en yüksek pay %32 ile doğal gaz ve likit doğal gaz (LNG) santrallerine ait olduğu Şekil 1.5.'te görülmektedir (Ayen Enerji, 2017).

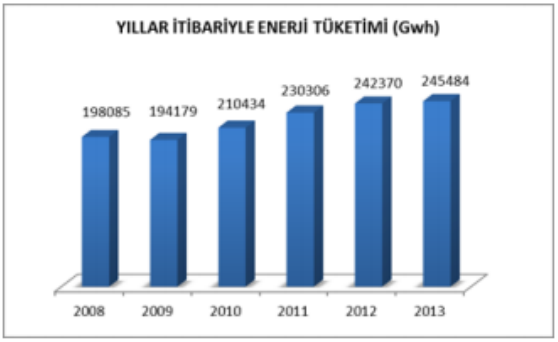


Şekil 1.4. Toplam Yurtiçi Kurulu Güç, 2013

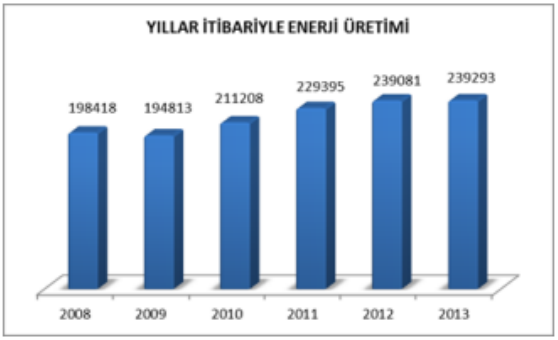


Şekil 1.5. Yurtiçi Kurulu Güç Dağılımı, 2013

Referans (Baz) talep senaryosuna göre 2013 yılında 245.5 Gwh olan yurtiçi tüketim miktarının 2017 yılında 318.7 Gwh'a ulaşması öngörülmektedir (Şekil1.6. ve 1.7.) (teias.gov.tr;euas.gov.tr, 2017).



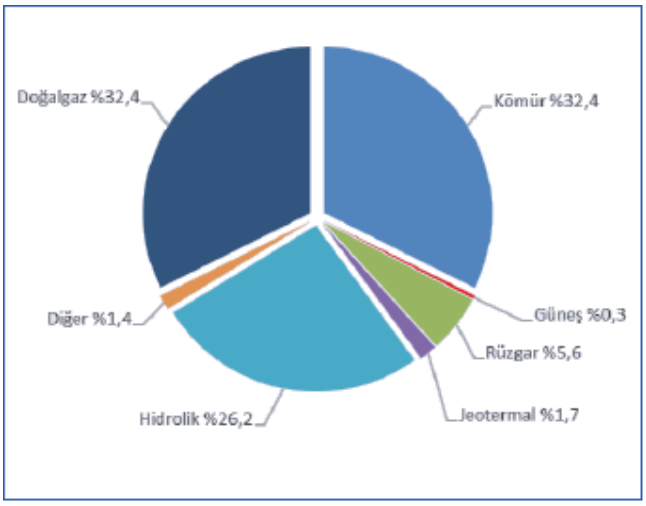
Şekil.1.6. Yurtiçi Enerji Tüketimi



Şekil.1.7. Yurtiçi Enerji Üretimi

Türkiye enerjide dışa bağımlılığı %70 civarında olup bu oranın ilerleyen yıllarda artabileceği varsayımı ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması kaçınılmaz bir hal almaktadır. Ayrıca, enerjinin verimli bir şekilde kullanılması da Türkiye gibi enerjiyi dışarıdan satın alan ülkeler açısından oldukça önemlidir. Enerji verimliliğinin artırılması kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılması, mal ve hizmetlerin daha tasarruflu ve az maliyetli bir şekilde üretilmesi ve çevreye verilen zararın azaltılmasına sebep olmaktadır. Bugün yenlebilir enerji kaynaklarının en iyi şekilde kullanmak için birçok düzenleme yapılmaktadır. Bu düzenlemelerin temel hedefi enerjide dışa bağımlılığı azaltmak ve yerli kaynaklara yöneltmektir. Bu hedef doğrultusunda özellikle elektrik üretiminde kullanılan petrol türevli yakıtların maliyetlerinin azaltılması hedeflenmektedir (Karagül ve Kavaz, 2017).

Ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde kömür ve doğalgaz kaynaklarının üstünlüğü bulunmaktadır. Bunların ardından ise barajlar ve hidroelektrik santraller gelmektedir. Diğer enerji kaynaklarından olan rüzgar, güneş, jeotermal elektrik enerjisi üretimindeki payları ise yüzde 10'u geçmemektedir (Şekil 1.8). Genel olarak toplam üretimin yaklaşık %35'lik kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, 2017).



Şekil 1.8.Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üretiminin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı 2016

Enerji sektörü günümüz yaşantısında vazgeçilmezliğinin yanısıra üretim ve tüketim aşamalarında giderek artan çevre sorunları yaratmakta ve kamuoyunun tepkisine neden olmaktadır. Atmosfere salınan kirleticilerin ve sera gazlarının büyük bir bölümü enerji sektöründe yani enerji üretimi ve tüketimi ya da çevriminden kaynaklanmaktadır. Kullanılan bu enerji kaynakları çevre kirliliği üzerine kalıcı zararlar vermektedir.

1.2. Enerji Tüketiminin Kirlilik Üzerine Etkileri

Enerji üretimi ve kullanımı aşamalarında meydana gelen küresel ve yerel çevresel problemlerin oluşmasında en önemli etkenler; Madeni yakıtlar ve madeni yakıtların enerjiye dönüşümü için kullanılan sistemlerdir (İpek, 1999). Atık madeni yağların içerdikleri ağır metaller ve bozunmuş kimyasal yapıları nedeniyle biyolojik arıtma tekniği ile faaliyet gösteren evsel atık su arıtma tesislerinde arıtılması güç olup doğaya kontrolsüz bir şekilde atıldıklarında çevre üzerinde kalıcı zararlar meydana getirir. Suyollarına dökülen atık yağlar, suyun üzerinde güneş ışığını geçmesini engelleyen bir tabaka oluşturarak fotosentezi azaltır ve oksijen döngüsünü bozar, yağı besin kaynağı olarak kullanan mikroorganizmaların üremesini ve büyümesini sağlayan oksijen geri beslemesini önler. Kullanılmış yağlar yüksek miktarlarda kurşun, arsenik, kadmiyum, krom gibi ağır metaller içerdiği için döküldükten sonra toprakta biriken bu ağır metalleri bitkiler absorbe ederek bitkilerin gelişimini tahrip eder ve toprak ürünlerinin azalmasına ve besin zincirinde birikerek insanların zehirlenmesine neden olur (www.tehlikeliatik.com, 2017).

Atık yağların kontrolsüz ortamlarda yakılması durumunda ise; insan sağlığı açısından ciddi zararlara neden olan kükürt, klorür ve ağır metallerin havaya karışarak kirlilik oluşmasına sebep olur.

1.3. Alternatif Dizel Motor Yakıtları

Günümüzde çoğunlukla biyodizel ve biyoetanol gibi biyoyakıtlar başta olmak üzere birçok alternatif yakıt dizel motorlar için dikkate alınmaktadır. Bu yakıtların petrol kökenli dizel yakıtlara bağımlılığı azaltması, kirletici emisyonları düşürmesi ve motor ile yakıt sisteminde değişiklik yapılmadan kullanılabilir olmaları nedeniyle bu yakıtlara olan ilgi gittikçe artmaktadır.

1.3.1. Biyodizel

Birçok yağ kaynağının biyodizel üretiminde kullanılıyor olmasına rağmen günümüzde çoğunlukla halen bitkisel yağlar tercih edilmektedir. Bu bitkisel yağlardan bir kısmına ait özellikler Tablo 1.1'de verilmiştir (Çanakçı ve Van Gerpen, 2001).

Tablo 1.1. Bazı bitkisel yağların kritik yakıt özellikler.

Yağ	Yoğunluk (kg/m^3) (15^oC'de)	Vizkozite (mm^2/sn) (40^oC'de)	Asit Değeri (mg KOH/gr)	Sabunlaşma Değeri	PM (%)	Isıl Değer (kJ/kg)
Ayçiçek	921.7	33.08	0.21	192.73	4.0	39873
Soya	923.3	32.63	0.12	195.06	8.0	39633
Kanola	919.9	35.78	0.19	191.04	2.0	39755
Mısır	921.9	34.33	0.26	189.72	6.0	39651
Pamuk	922.3	33.96	0.19	195.27	6.5	39568
Fındık	917.1	37.74	0.19	188.33	2.5	39710
Zeytin	917.5	38.93	2.32	183.42	5.5	39617
Prina	915.8	37.01	46.19	192.95	7.0	39582
Yosun	918	30.43	0.07	183.28	7.5	39357

Tablo 1.1.'de görüldüğü gibi, bitkisel yağların viskoziteleri 40°C'de 30.43 mm^2/sn ile 38.93 mm^2/sn arasında değişmektedir. Bu yüksek viskozite değerleri büyük moleküler kütlelerinden ve kimyasal yapılarından kaynaklanmaktadır (Çanakçı ve Van Gerpen, 2001). Yoğunluk değerleri ise 15 °C'de 915,8 kg/m^3 ile 923,3 kg/m^3 arasında

olup; birbirlerine oldukça yakın değerlerdedirler. Asit değerlerine bakıldığında ise; pirina yağının asit değerinin de (46,19 mgKOH/gr) çok yüksek olduğu görülmektedir. Zeytin yağının asit değeri de 2,32 mg KOH/gr ile baz katalizör ile biyodizel üretimi yapabilmek için tavsiye edilen 2 mgKOH/gr'ın (SYA karşılığı %1) sınırın üzerindedir (Çanakçı ve Van Gerpen, 2001). Isıl değerler birbirlerine çok yakın olup; petrol kökenli dizel yakıtınınkinden daha düşüktür (Çanakçı ve Şanlı, 2008).

1.3.2. Etanol

Etanol; oktan sayısının yüksek oluşu nedeniyle, benzinli motorlarda kullanılmaya en uygun alternatif yenilenebilir yakıtlardan biridir. Tablo 1.3'te etanolün özelliklerinin dizel yakıt karşılaştırılması görülmektedir (Usta ve ark. 2004).

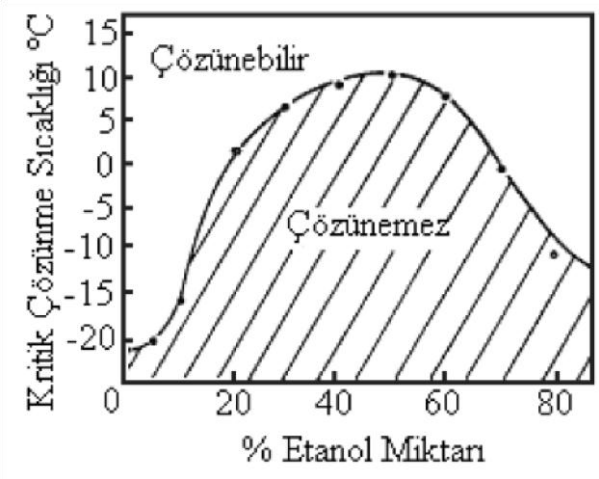
Tablo 1.3. Etanolün bazı önemli özelliklerinin dizel ile karşılaştırılması

Özellik	Dizel	Etanol
Yoğunluk (15ºC'de) kg/m^3	841.5	788
Vizkozite (40 ºC'de) cst	2.9	0.67
Kükürt miktarı (% kütlesel)	0.68	0
Isıl değer (kJ/kg)	44631	26749
Setan sayısı	45-50	5-15

Alkol yakıtların (özellikle metil ve etil alkol) kullanımı 1970'lerden beri çalışılmaktadır. Alkollerin dizel yakıta eklenmesi ile dizel yakıtın setan sayısı, viskozite ve alt ısıl değeri gibi özelliklerinde değişiklikler olmakta ve bu da alkol yakıtların motorlarda kullanımı sırasında problem oluşturmaktadır (Abu-Qudais ve diğ., 2000). Bu problemlerin giderilmesi için katkı maddesi kullanımı, püskürtmeden hemen önce karıştırma, emme kanalına püskürtme ve her bir yakıt için ayrı ayrı püskürtme sistemi kullanımı gibi yöntemler uygulanmaktadır (Reddy ve diğ., 1999). Bununla beraber hacimsel olarak %20'ye kadar etanol içeren karışımlar için motorda önemli değişikliklere ihtiyaç duyulmamaktadır (Usta ve diğ., 2004).

Endüstriyel amaçlı olarak kullanılan etanol, petrol ürünlerinden çoğunlukla etilenin sülfrik asitle katalitik hidrasyonundan elde edilmekte olup; aynı zamanda, eten ya da asetilen aracılığıyla, kalsiyum karbit, kömür, doğal gaz ve diğer

kaynaklardan da elde edilebilir (Ejder, 2007). Şekil 1.6'da Etanolün dizel yakıtının içerindeki çözünme sıcaklığı görülmektedir.



Şekil 1.6 Etanolün dizel yakıtı içerisinde sıcaklığa göre çözünme yeteneği (Ejder, 2007).

1.4. Trafo Yağları

Yüksek sıcaklıklarda kararlı ve çok iyi elektriksel yalıtım özelliğine sahip trafo yağları; yağ dolu trafolar, bazı yüksek gerilim kapasitörleri, floresan lamba, yüksek gerilim anahtarları ve devre kesicilerin bazılarında kullanılmaktadır. Bu yağlar izolasyon ve soğutma amacı ile kullanılmaktadır. Transformatör, reaktör, regülâtör, kapasitör, kablo ve şalter gibi elektrik donanımlarında; izolasyon, ısı transferi ve bilgi taşınması amacıyla madeni ve sentetik olmak üzere iki tür yalıtım sıvısı kullanılır (Sezer, 2009).

1.4.1. Madeni Yağlar

Madeni yalıtım yağları, elektrik sektöründe izolasyon sıvısı ve ısı transfer maddesi olarak oldukça yaygın şekilde kullanılır. Yalıtım yağını incelemeye başlamadan önce, petrolün oluşumuna ve madeni yağların üretimine kısaca değinmek yararlı olacaktır (Aşir, 2009).

Madeni yağlar; motor ve taşıt yağları, endüstriyel yağlar ve özel hazırlanmış (kalınlaştırıcı, koruyucu, temizleyici ve benzeri) yağ ürünleridir (Aşir, 2009). Mineral baz yağlar, kimyasal yapıları bakımından üç büyük gruba ayrılırlar:

1. Alifatikler (a-Parafinik, b-Naftanik)

2. Aromatikler

3. Alifatik ve Aromatik

Endüstri standartlarında temel yağ seçimi son derece önemlidir. Kimyasal açıdan farklı yapılara sahip olan bu baz yağlardan elde edilen madeni yağlar farklı özellikler göstermektedir. Bu nedenle madeni yağların seçiminde standart ve performansın gerektirdiği yerlere göre yağ seçimi uygulanmaktadır.

1.4.1.1. Madeni Atık Yağlar

Madeni yağlar belli bir süre kullanım sonucu kimyasal ve fiziksel safsızlıklarca kirletilmesi sonucu oluşan veya orijinal özelliğini kaybeden bir yağ olduğundan atık durumuna gelmektedir (Kirk-Othmer, 1997). Bu atıklar içerisinde çeşitli metaller ile yükseltgenme (oksidasyon) uğramış hidrokarbonlar ve asfalt bileşikleri bulunmaktadır (Kosal ve Bahairi 1989). Çoğunluğu içten yanmalı motorlarda ve endüstride kullanılan atık yağlar yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu durum çevre açısından olumsuz olan kirletici emisyonların artmasına neden olmaktadır. Bu kirleticiler arasında atmosfere metal oksitler halinde büyüklüğü 5-10 mikrondan küçük katı partiküller halinde yayılırlar. Bu metal içeren kirleticiler içinde kurşun en önemli kirletici olup; sağlık açısından çok tehlikelidir (Kosal ve Bahairi 1989).

Atık madeni yağların geri dönüşüm öncesi bazı yöntemler uygulanırsa çevre problemlerinin önlenmesi ile beraber ekonomik olarakta değerlendirilebilir (Kosal ve Bahairi 1989; Williams, 1974). Atık yağlar, yeni kullanılmamış madeni yağların kullanıldığı yere veya ekipmana göre çeşitli isimler verilmektedir; bunlar taşıt yağları (benzinli motor, dizel motor, şanzıman ve diferansiyel, transmisyon, iki zamanlı motor, hidrolik fren, antifiriz, gres ve diğer özel taşıt yağları); endüstriyel yağları, (hidrolik sistem, türbin ve kompresör, kızak, metal kesme ve işleme, tekstil, ısıl işlem, ısı transfer, izolasyon ve koruyucu, pas ve korozyon, trafo, kalıp, buhar silindir, pnömatik sistem koruyucu, gıda ve ilaç endüstrisi, kağıt makinesi, yatak ve diğer özel endüstriyel yağları ve endüstriyel gresleri) vb. yağ ürünlerini ifade eder.

1.4.1.2. Madeni Atık Yağ Kategori Grupları

I. kategori atık yağ grubu: Bu kategorinin içerisinde yer alan atık yağlardaki PCB ağır metal ve halojen gibi kirleticilerdir. Bu kategorideki yağlar öncelikli olarak

rejenerasyon ve rafinasyon yolu ile geri kazanımlarının sağlanması gerekmektedir. Bu kategorideki yağlar, enerji geri kazanımı amacıyla kullanılabilir.

II. kategori atık yağ grubu: Bu kategorideki atık yağlar Bakanlıktan lisans almış tesislerde enerji geri kazanımı amacıyla kullanıma uygun atık yağlardır, fakat klorür, toplam halojen ve PCB parametreleri aşılmayan endüstriyel atık yağların rejenerasyon ve rafinasyon yoluyla geri kazanımı mümkündür.

III. kategori atık yağ grubu: Bu kategoride yer alan atık yağlardaki ağır metallerden dolayı rejenerasyon ve rafinasyona uygun olmadığından yakıt olarak kullanılması insan ve çevre sağlığı açısından risk yaratan atık yağlardır. Bu atık yağları tehlikeli atık yakma tesislerinde yakılarak zararsız hâle getirilmesi gerekmektedir.

Tablo 1.4. Kirleticilerin yönetmeliklerle belirlenen üst sınır değerleri

Kirleticiler	**Müsaade Edilen Sınır Değerler**		
	(I.Kategori)	**(II. Kategori)**	**(III. Kategori)**
Arsenik	<5 ppm	max. 5 ppm	>5 ppm
Kadmiyum	<2 ppm	max. 2 ppm	>2 ppm
Krom	<10 ppm	max. 10 ppm	>10 ppm
Klorür	<200 ppm	max. 2000 ppm	>2000 ppm
Kurşun	<100 ppm	max. 100 ppm	>100 ppm
Toplam Halojenler	<200 ppm	max. 2000 ppm	>2000 ppm
Parlama Noktası	min. 38 ^{0}C	min. 38 ^{0}C	-
PoliklorürBifenil (PCB)	<10 ppm	max. 50 ppm	>50 ppm

1.4.1.3. Atık Madeni Yağların Oluşumu

Yağlama amacıyla bir madeni yağ veya sentetik yağ sanayide veya sanayi dışı alanlarda faydalı kullanım ömrünü tamamladıktan sonra kimyasal ve fiziksel özelliğini yitireceğinden orijinalliğini kaybeder. Yağın içerisindeki katkı maddelerinin kimyasal özelliklerini kaybetmesi ve kullanım esnasında kir, sürtünme, su veya kimyasallarla karışması sonucunda yağın orijinal kullanım amacının dışına çıkılmış olur. Uzun süre bir sistemde kullanılan yağda iyi performans gösteremediğinden, daha iyi iş verimini yapabilmesi için kullanılmış yağı yeni yağla değiştirilir (Aşir, 2009).

Türkiye'de yıllık olarak madeni yağ üretimi ve bu madeni yağlardan oluşan atık yağ miktarları (www.issankimya.com, 2014);

Toplam Madeni Yağ Üretimi: 500.000 Ton/Yıl

Motor Yağı Üretimi: 270.000 Ton/Yıl

Endüstriyel Yağ Üretimi: 230.000 Ton/Yıl

Tahmini Atık Yağ Üretimi: 250.000 Ton/Yıl

Toplanan Atık Yağ Miktarı: 10-15. 000 Ton/Yıl

Kayıp/Yasa Dışı İmha : > 230.000 Ton/Yıl

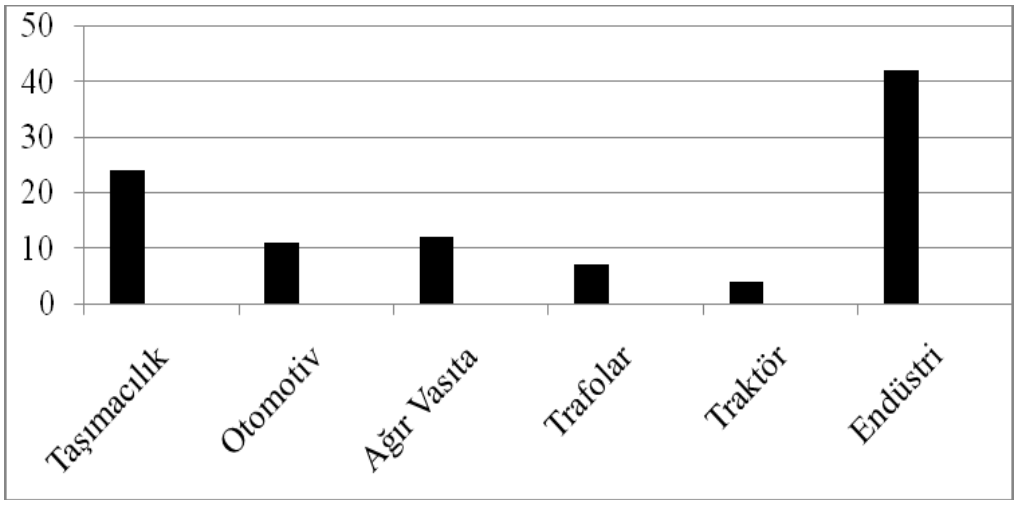
1.4.1.4. Atık Madeni Yağların Çevreye Etkileri

Birçok çalışmada belirtildiği gibi atık madeni yağlarının doğrudan kullanılması insan ve çevreye kalıcı zararlara neden olacağı vurgulanmıştır. Yağların yapısal özelliklerinden dolayı çeşitli işlemlere tabi tutulmadan enerji kaynağı olarak kullanılmasının uygun olamayacağı, fakat çimento sanayisinde kullanılabileceği belirtilmişlerdir (Bhaskar ve diğ., 2004). Petrol türevli atık madeni yağlar çeşitli işlemlerden geçirilerek hem yakıt olarak kullanılabilmekte hem de çeşitli kimyasallara dönüştürülerek bu atıkların zararlı etkilerini minimize edilmektedir. Petrol türevli atık yağlar oksijensiz ortamda ısıtılarak kimyasal olarak yeniden yapılandırılma yöntemini ile çevreyi kirletmemesidir. Buna karşılık olarak pirolize olan yağ çok miktarda doymamış hidrokarbon içerdiğinden dolayı tekrar polimeriz olabilmektedir (Poutsma ve Marvin L, 2000).

Atık yağların içeriğindeki kurşun, çinko, baryum, kadmiyum, cıva, krom, arsenik ve vanadyum gibi ağır metaller insan sağlığı ve çevre kirliliği (hava, su ve toprağın kirlenmesi) için ne kadar zararlı olduğu bilinmektedir. Kullanılmış atık madeni yağların suda çözünmesi çok düşük ve yavaştır. Yani bir litre atık yağın, 1 milyon litre suyu kullanılamaz hale getirebildiği, 5 milyon litre suyu ise içilemez duruma getirdiğini, bunun yanında bir litre kullanılmış motor yağı ise 800 bin litre içme suyunu kullanılamaz hale getirdiğinden kesinlikle toprağa ve suya atılmamalıdır (www.cevreonline.com, 2007).

1.4.1.5. Atık Madeni Yağların Geri Kazanımı ve Bertaraf Edilmesi

Madeni yağlarının nitelikleri, içeriğindeki hidrokarbonların ve katkı maddelerinin zamanla parçalanması sonucu değişime uğrar. Bununla birlikte, kullanım alanına da bağlı olarak, toz, kir, tam yanmamış yakıt, nem veya korozyon yan ürünleri gibi bileşime sonradan dâhil olabilen diğer kirleticilerin de etkisiyle bu yağlar işlevselliğini yitirir ve artık kullanılmış olan bu yağlar, atık yağ olarak nitelendirilir. Atık madeni yağlar genel olarak 4 temel proses ile geri kazanılabilir. Atık yağlardaki su ön işlemi ile ayrıştırıldıktan sonra aşağıdaki fiziksel veya kimyasal saflaştırma yöntemlerinden biri olan Ön İşlem, Asit-kil yöntemi, Damıtma,(Destilasyon Yöntemi), Fraksiyonlu Destilasyon Yöntemi, Solvent Ekstraksiyonu Yöntemi ile geri kazanılabilir(www.solver.kimya.com,2007). Madeni yağların kullanımı sonucu gerek katkı maddelerinden dolayı ve gerekse yağın yüksek ısıda işlem görmesi sonucu oluşan safsızlıklardan dolayı geri kazanım işlemlerinde bu safsızlıkların giderilmesi gerekmektedir. Genel olarak bu yağlar otomotiv, endüstri, makina sanayi, tekstil endüstrisi ve enerji dağıtım ağından elde edilmektedir. Gelişmiş ülkelerde atık yağ kaynakları Şekil 1.5'te gösterilmiştir (Aşir 2009).



Şekil 1.5 Atık yağların kaynaklara göre dağılımı

1.4.1.6. Atık Yağların Kullanıldığı Çeşitli Alanlar

Yüksek yanma sıcaklığında çalışan yağların geri kazanımı sonucunda arta kalan ve standartlara uygun olmayan ürünler çimento fabrikaları, alçı fabrikaları, kireç fabrikaları, kil kurutma fırınları, demir-çelik fırınları, enerji santralleri ile atık yakma

tesislerinde mevcut yakıta ilave olarak kullanılabilir. Bu nedenle de, Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre Çevre ve Orman Bakanlığından lisans alınması gerekir.

1.4.2. Sentetik Yağlar

Mineral bazlı yağların özellikleri ham petrol bazlı yağların özellikleri ile sınırlıdır. Dünyadaki ham petrol üretiminin azalması ile beraber petrol fiyatlarındaki hızlı artışlar ve günümüzün gelişen teknolojileri sonucunda çalışabilecek yağlara ihtiyaç duyulması nedeniyle sentetik yağlayıcılar önem kazanmıştır. Bu yağlar petrol esasına dayalı olmayan ve kimyasal sentez yöntemleriyle elde edilir. Bir sentetik yağ, konvansiyonel mineral yağlarda kullanılanlardan daha çok arıtılmış baz yağ içeriği sayesinde düşük sıcaklık, düşük sürtünme, çok az aşınma, yakıt tasarrufu gibi birçok üstünlüklere sahiptir. İyi bir çalışma viskozitesine sahip olduğundan düşük sıcaklıklarda kolay akar ve çok yüksek sıcaklıklarda incelmeyerek üstün koruma ve performans sağlar. Sentetiklerin başka bir avantajı, konvansiyonel mineral yağlara göre daha temiz ve çevre dostu olmasıdır; motor emisyonlarının azaltılmasına yardım eder. Geleneksel mineral yağlar aynı zamanda sülfür, reaktif ve stabil olmayan hidrokarbonlar ve ham yağın geleneksel arıtma yöntemleriyle tamamen giderilemeyen diğer istenmeyen kirleticiler gibi safsızlıkları daha yüksek oranda içerir. Tüm bu açılardan, sentetik yağlar mineral yağlardan üstün olup konvansiyonel yağlara göre de önemli avantajlar sağlarlar. Sentetik baz yağlar ileri teknoloji ile yoğun işlemlerden geçerek üretildiği için maliyeti yüksektir. Bundan dolayı sentetik yağlar mineral yağlara göre daha pahalıdır (Aşir, 2009).

Elektrik tesisat sistemlerinin en önemli parçalarından olan trafoların hareketli kısmı olmadığı için yapıları da basittir. Çekirdeğinde çok fazla miktarda saç plakalar, bobinlerinde bakır tel veya alüminyum tel içerir. Metal olan bu malzemelerin ısınması verimin düşmesine ve trafo yapılarının bozulmasına neden olmaktadır. Trafolardaki soğutma sistemlerinden yağ ile soğutma çok yaygın bir soğutma çeşididir. Petrol türevli madeni yalıtım yağları; trafo, kapasitör reaktör, elektrik kabloları, şalter ve diğer elektrikli donanımlarında izolasyon ve ısı transferini sağlamak amacıyla kullanılan sıvılardır.

Yalıtım yağlarını genel görevleri:

- Elektriksel yalıtımı sağlamak
- Soğutmayı sağlamak

- Bilgi taşıma işlemi yapmak
- Arkları sönümlemek
- Malzemeyi ısınma ve korozyonlara karşı korumak

Yalıtım yağların temel görevleri; Isı transferi yoluyla ısınan parçaları soğutmak ve elektriksel yalıtımı sağlama ile birlikte elektrik parçalarında meydana gelen arkları söndürür ve temas ettiği yüzeyleri korur. Transformatörlerde meydana gelen kısmi deşarjlar, arklar ve çok fazla sıcak bölgelerin ısınmasından dolayı arıza gazları oluşarak yağ içinde çözünür. Bu gazların çözünmesinden dolayı açığa çıkan arızanın türü ve boyutu hakkında önemli bilgiler elde edilir. Yalıtım yağları bu şekilde bilgi taşıyarak önemli bir görev daha yapmış olurlar. (Sezer, 2009).

1.4.3. Trafo Yağında Olması Gereken Özellikler:

Bugün piyasalarda farklı kalitede ve markalarda, çok sayıda madeni yağ ve sentetik yalıtım sıvıları satılmaktadır. Bunların arasından hangisinin daha uygun olduğuna karar verilirken, bazı özelliklerin göz önüne alınmasında yarar vardır. Tablo1.6.'da bazı yalıtım sıvılarının ölçüm değerleri verilmiştir (Sezer, 2009).

Tablo1.6. Bazı yalıtım sıvılarının özellikleri

ÖZELLİKLER	**Birim**	**Madeni Yalıtım Yağı**	**PCB**	**Silikonlar**	**Doğal Esterler**	**Sentetik Esterler**
Yoğunluk	gr/cm^3	0.88	1.5	0.96	0.89	0.97
Akma Noktası	^oC	-50	-40	-60	-30	-60
Parlama Noktası	^oC	>140	Yok	> 300	> 300	> 275
Yanma Noktası	^oC	>170	> 400	> 350	> 330	> 320
Asit Sayısı	mgKOH/gr	<0.01	<0.02	<0.01	<0.01	<0.03
Delinme Gerilimi	kV 2.5mm	>70	35	50	56 (2mm)	>60
Dielektrik Kayıp Faktörü 90^oC	-	<0.002	<0.5	-	<0.1	<0.03
Dielektrik Kayıp Faktörü 25^oC	-	<0.0001 % PF:0.001	<0.1	<0.01	<0.001	<0.001
Kinematik Vizkozite	mm^2/sn	20^oC 'de 22 100^oC'de 2,6	38^oC'de 14	40 ^oC 'de 38	40 ^oC'de 34 100^oC'de 8	-20 ^oC 'de 1400 40 ^oC 'de 28
İç Yüzey Gerilim	dyn/cm	45	-	Yok	38	-
Anilin Noktası	^oC	70	-	-	-	-

Korozyon	-	Değil	Değil	Değil	Değil	Değil
Renk	-	<0.5	<0.5	-	<0.5	-

İdeal bir yalıtım sıvısı İşlevsel, Çevresel ve Ekonomik gerekleri karşılayacak özellikte olmalıdır.

- Dielektrik direnci çok iyi, delinme gerilimi yüksek ve üretim kalitesi üst düzeyde olmalıdır (Nem emme, çamurlaşma, asit oluşumu ve oksidasyon yavaş olacak).
- Trafodaki diğer yapı malzemesiyle uyum sağlamalıdır.
- Termik iletkenliği ve ısı transfer kabiliyeti iyi olmalıdır.
- İşletme sıcaklığında viskozitesi düşük olmalıdır.
- Yoğunluğu, su ve buzdan daha küçük olmalıdır (Serbest su ve buz parçalan yağ yüzeyinde yüzmemelidir).
- Termik genleşme kat sayısı düşük olmalıdır.
- Buhar basıncı düşük olmalıdır (150 °C'nin altındaki sıcaklıklarda buhar kaybı olmamalıdır).
- Isı yayma oranı düşük olmalıdır.
- Yanması ve doğada bozulması sırasında, zararlı ikincil ürünler meydana gelmemelidir.
- Fiyatı ucuz olmalıdır.
- Kolay ve çabuk üretilmelidir.

Yukarıda belirtilen bütün özellikleri taşıyan ve aynı zamanda ucuz olan ideal bir yalıtım sıvısı üretmek elbette mümkün değildir. Çünkü kalitesi çok üst düzeyde olan ürünler, hem ileri teknoloji ve hem de çok yüksek maliyet gerektirir. Bu nedenle yalıtım sıvısını seçerken, öncelikli olarak aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır (Sezer, 2009).

1.4.4. Trafo Yağlarının Kimyasal Yapıları

Bütün madeni yağların temel girdisinin petrol olduğu ve petroldende damıtma yoluyla elde edilen ham yağ, bir dizi fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilerek hazır yağ haline dönüştürülür. Yalıtım yağı, motor yağı, yağlama yağı ve hidrolik yağı gibi çeşitli madeni yağlar bu baz yağından üretilirler. İşlemlerin sonunda, yağlara farklı özellikler kazandırmak amacıyla katkı maddeleri eklenir. Yalıtım yağına oksidasyon önleyici olarak; DBPC (2,6 ditert- butil-para-kresoi) veya DBP (2,6 ditert-butil-fenol)

ilave edilebilir. Ayrıca korozyona karşı pasivatör görevi yapan katıklar eklenebilir. Petrol ve onun türevi olan yağlarda olduğu gibi, yalıtım yağları da hidrokarbon moleküllerinin bir karışımıdır. Yalıtım yağının içinde farklı tür ve yapıda yüzlerce hidrokarbon molekülleri bulunmaktadır. Bunlar genel olarak üç temel yapı grubuna ayrılır (Anonim, 2011).

1.4.4.1. Parafinik yapı

Bu moleküller düz veya dallanmış yapıda olabilir. Eğer parafinik yağlar soğuk iklimlerde kullanılacaksa, mum oranının düşürülmesi gerekir. Parafinik yağların çözücülüğü düşük olduğundan; su ve asit gibi oksidasyon ürünlerini kolayca çözemediği için, çamur oluşumu daha fazla miktarda meydana gelir.

1.4.4.2. Naftanik yapı

Bu gruptaki bileşiklere siklo-alkanlar denir. Hidrokarbon zincirleri uç noktalarından birleşerek 5, 6 veya 7 karbon atomu içeren halkalı bir yapı oluşturur. Karbon atomları arasındaki bu bağlar, aromatik yapıya hiç benzemez. Zaten fiziksel ve kimyasal özellikleri de birbirinden oldukça farklıdır. Akma noktası düşük ve çözücülüğü daha iyidir.

1.4.4.3. Aromatik yapı

Yalıtım yağlarının karışımında, aromatik moleküller mutlaka bulunur. Aromatik bileşikler en az bir halkalı yapıya sahiptir ve bir halkada altı tane karbon atomu vardır. Karbon atomları arasındaki tek ve çift bağlar sıralı biçimde dizilmiştir. Bir halkalı olanlara monoaromatikler, iki halkalılara diaromatikler ve ikiden fazla olanlara poliaromatikler denir. Aromatiklerin hem fiziksel hem de kimyasal özellikleri, parafinik ve naftaniklerden tamamen farklıdır. Bu yapıyı oluşturan moleküller çok fazla tartışma konusu olmaktadır.

1.4.5. Atık Trafo Yağları

Son zamanlarda atık trafo yağlarının da yakıt olarak yeniden değerlendirilmesi üzerinde bazı çalışmalar yapılmaktadır. Bu yağlar daha çok naftanik yapıda olup soğutma ünitelerinde izolasyon, yalıtım, soğutma, bilgi taşımak, ark söndürme ve malzemeyi korumak amacıyla kullanılıp sonrada atılmaktadır. Türkiye'de bu miktarın yaklaşık olarak 20000-30000 Yıl/ton civarında olduğu tahmin edilmektedir (Anonim 2012). Kullanılan bu trafo yağlarının yanında günümüzde özel izinlerle kullanımına izin verilen ve ağırlıklı olarak yüksek güvenlikli sistemlerin olduğu yerlerde kullanımına izin verilen PCB'ler (Poliklorlu Bifeniller) tip yağlarda yaklaşık olarak 56000 ton civarında olduğu tahmin edilmektedir. PCB'ler transformatör ve kondansatörlerde yüksek ısılara karşı çok dayanıklı olduğundan uzun yıllar yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak PCB'lerin biyolojik açıdan olumsuz etkileri günümüzde tamamıyla gün ışığına çıktığından PCB ve PCT Atıkların Kontrolü Yönetmeliği kapsamında yetkili firmalar tarafından bertaraf edilmektedir. (Anonim 2009).

Yağın yüksek ısıl değere ve dizel yakıtına benzer özelliklere sahip olmasından dolayı bu atık yağların çeşitli iyileştirmeler yaparak dizel motor yakıtı veya yakıt katkısı olarak değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

1.4.5.1. Atık Trafo Yağlarında İyileştirme Yöntemleri

Yağda çözünen veya çözünemeyen polar kirlerin, fiziksel ve kimyasal yollarla çıkarılması veya azaltılması işlemidir. Bu teknik özel donanım, uzmanlık ve deneyim gerektirir. İşlemden geçen yağların birçok özelliği yeni değerlerine tekrar ulaşmasına rağmen, oksidasyon direnci yeni yağdan daha düşük olmaktadır. Bu yöntem oldukça aktif olmasına karşın pahalıdır. Kirli yağdan bir miktar örnek alınıp laboratuvarda deneme yapıldıktan sonra, rejenerasyon işlemi uygulanılmasına karar verilmesi daha uygun olur. Rejenerasyon işlemi sırasında, doğal ve sentetik katıkların miktarlarında azalma olacağı için, işlemler bittikten sonra tekrar katkı maddesi ilave etmek gerekebilir. Yağları iyileştirme veya geri kazanma işleminde süzme, temas ve yeniden arıtma olmak üzere üç farklı yöntem kullanılmaktadır (Sezer, 2009). *Süzme yönteminde*; elektrik donanımının alt vanasından alınan yağ önce ısıtılır, sonra filtreden geçirilip partikül ve katı maddeler süzülür. Yağ tekrar üst kısımdan kazana verilir. Bu şekilde birkaç kez yağ çevrilir (sirkülasyon), çevrim işlemi tamamlandıktan sonra fuller kili

veya benzeri maddelerden geçirilerek, yağın içinde çözünmüş olarak bulunan polar kirler temizlenir. Son olarak tasfiye cihazından geçirilerek yağda çözünmüş halde bulunan su ve gazlar atılır. *Temas yönteminde ise*; iyileştirmenin derecesi kil miktarına bağlı olup; yağın kirlenme düzeyine göre belirlenir. Bu yöntemle çok miktarda kirli yağı temizlemek mümkündür. Yeniden arıtma (Rafinasyon) yönteminde, yağların ilk üretimi sırasında yapılan rafinasyon işlemleri tekrar uygulanır. Bu işlemler ancak yağ üretim rafinerisinde yapılabilir ve oldukça pahalıdır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde dizel motorlarda başta biyodizel ve biyoetanol gibi biyoyakıtlar olmak üzere birçok alternatif yakıtın kullanılması ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar çoğunlukla tek veya çok silindirli motorlarda laboratuvar şartlarında yapılan deney sonuçlarını içermektedir. Dizel motorlu jeneratör setlerinde alternatif yakıtların kullanılması ile ilgili çalışmalar çok nadir olmakla birlikte bu çalışmada alternatif yakıt olarak önerilen atık trafo yağının kullanılması ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Dolayısıyla bu bölümde dizel motorlarında ve dizel motorlu jeneratör setlerinde özellikle biyodizel ve alkol yakıtların kullanılmasıyla ilgili çalışma sonuçları verildikten sonra bazı atık trafo yağlarının kullanımı ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

Çanakçı (2007) soya yağı biyodizeli ve petrol dizelinin egzoz emisyonlarını karşılaştırdığı çalışmasında; biyodizel kullanımında No.2 dizel yakıtına göre eksik yanma emisyonlarında önemli düşüşlerin olduğunu ancak NO_x emisyonu ile özgül yakıt tüketiminin ise arttığını bildirmiştir.

Agarwal ve ark., (2009) ise bitkisel yağlardan elde edilen yakıtla çalışan dizel motorun çıkış gücünün biraz arttığını ancak; özgül yakıt tüketiminin daha fazla olduğu bildirmiştir. Karbondioksit (CO_2) emisyonlarının pek değişmediği bununla beraber NO_x emisyonunda düşüşler olduğu gözlemlenmiştir.

Yücesu ve Altın (2001) kanola yağının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı üzerinde bir araştırma yapmışlardır. Tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda konola yağı ile yapılan performans ve emisyon testleri sonucunda; motor hızına bağlı olarak dizel yakıtının kanola yağından daha yüksek moment ve güç verdiğini, özgül yakıt tüketiminin ise dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu, NO_x oluşumunun ise dizel yakıt kullanımında daha yüksek çıktığı belirtilmişlerdir.

Altun (2004) çalışmasında dizel yakıtına alternatif olarak susam yağının motor performansı, egzoz emisyonları ve motor elemanları üzerindeki etkilerini araştırdığı çalışmasında; susam yağı ve dizel karışımlarının deneylerde kullanılan oranları için motor yapısında değişiklik yapmadan yakıt olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Sekmen (2007) yapılan çalışmada, keten tohumu ve karpuz çekirdeklerinden elde ettikleri biyodizel yakıtını dizel yakıtı ile hacimsel olarak %2 oranında karıştırarak direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda kullanmışlardır. Biyodizel karışımlarının kullanımı ile dizel yakıtına göre motor momenti ve gücünde azalma, özgül yakıt tüketiminde ve NO_x emisyonlarında artış olduğunu bununla beraber CO, HC ve duman emisyonlarında ise azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Usta ve ark., (2005) alkol yakıtların düşük viskozite ve yoğunluklarının onların dizel motorlarında kullanımını zorlaştırdığını ayrıca motor performansı ve egzoz emisyonlarını da etkilediğini belirtmişlerdir. Bununla beraber alkol yakıtların motorin yakıtına göre yüksek polariteye sahip olmaları nedeniyle motorin içerisinde tam karışmasına engel olduğu ve yüksek oranlarda alkol ilavesi neticesinde motorin-alkol karışımlarında faz ayrışması görülebildiğini belirtmişleridir.

Güven ve ark., (2010) ülkemizde üretilen biyodizellerden çeşitli örnekler alınarak bunların enjektörlerdeki yakıt püskürtme özelliklerine bakılmış bu biyodizellerin TS EN 14214 standartlarına uygunluğu kontrol edilmiştir. Sonuç olarak ülkemizde üretilen biyodizellerin çoğunun standartlara uygun olmadığı tespit edilmiş ve bu yakıtların motorun yanma odasındaki dağılım karakteristiklerinin birbirinden farklı olduğu görülmüştür.

Koç ve ark., (2011) dünyada her yıl %3,1 hızla artan enerji ihtiyacı ve 2030 yılına gelindiğinde bu enerjinin %30'nun yenilenebilir enerjiden elde edilecek olması, ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyodizele yatırım yapması gerekliliğini ortaya koymuşlardır. Ülkemiz için en uygun yağ bitkisi ve biyodizel üretim yöntemi için araştırmalarda bulunmuş olup bu araştırmalar sonucunda atık yağ metil esterinin ve transesterifikasyon yönteminin ülkemiz için uygunluğu gösterilmiştir.

Behçet ve ark., (2012) hamsi cinsi balığın yağından ve atık kızartma yağından elde etmiş oldukları biyodizelin, yakıt özelliklerini ve emisyon değerlerini tek silindirli dizel bir motorda incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda balık yağından ve atık kızartma yağından elde edilen biyodizelin emisyon değerlerinin motorin yakıtına göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Şahin (2013) keten tohumu yağından ürettiği biyodizelin petrol dizeli ile karışımlarını dizel bir motorda yakmış ve motor üzerinde yarattığı etkiler ve emisyon

değerleri üzerine yansımalarını incelemiştir. Sonuç olarak keten tohumunun iyot sayısının yüksek olmasına karşın kısa süreli motor test çalışmalarında motora zarar vermeden kullanılabildiği gösterilmiş, ayrıca egzoz emisyonlarında da düşüş tespit edilmiştir.

Aktaş ve Özer (2014) ülkemizde ham prina yağının biyodizel yapımında kullanılması ve potansiyeli hakkında çalışma yapmışlar, bu çalışma sonucunda pirina yağına dönüştürülemeyen yağların biyodizel üretilmesi suretiyle, yıllık petrolün %5'ini karşılanabilecek düzeyde olduğunu saptamışlardır. Bu nedenle ham pirina yağından biyodizel elde edilmesinde daha verimli ve ekonomik yöntemler bulunulması üzerine çalışmaların yoğunlaştırılması gerektiğini ortaya koymuşlardır.

Öğüt ve ark., (2014) bir yağ bitkisi olan pelemirden elde edilen yağdan biyodizel üretmişler ve biyodizelin yakıt özelliklerini inceleyerek bu bitkiden üretilen biyodizelin yakıt özelliklerinin TS EN 14214 normuna uygun olduğu göstermişlerdir.

İlkılıç (2009) dizel motorlarında alkol kullanımının egzoz emisyonlarına olumlu yönde etki ettiği, yapmış olduğu çalışmaların sonucunda dizel yakıtına alkol ilavesi ile CO, HC, NO_x ve is emisyonları azaldığı, CO_2 emisyonu artış olduğu tespit edilmiştir.

Hışır (2009) alkollerin içeriğinde bulunan oksijen yanma sırasında silindir içerisine salınarak silindir içerisinde kısmi bölgelerde yanmayı iyileştirebildiği buda HC ve CO emisyonlarının azalmasına sebep olduklarını bildirmişlerdir.

Türkcan ve ark., (2009) alkollerin alt ısıl değerleri, setan sayıları, yoğunluğu ve viskozitesi dizel yakıtlarındaki orana göre düşük olması yanmayı kötüleştirdiği ve yanma sonu sıcaklığını azaltması sonucunda NO_x emisyonlarının düştüğünü bildirmişlerdir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde; biyodizel ve alkol yakıtların dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılmasıyla motor performansında biraz düşüş ile özgül yakıt tüketiminde bir miktar artışın olduğu görülmektedir. Bununla beraber CO, yanmamış HC emisyonları ile is emisyonlarının önemli derecede azaldığı ancak NO_x emisyonlarında bir miktar artışın olduğu ortak görüşler arasındadır.

Alternatif yakıt kullanımında alternatif yakıtın teknik olarak uygunluğunun yanında bir diğer önemli parametre ise ekonomik olarak uygun olması ile hammadde temini gibi konulardır. Bu bağlamda atık trafo yağlarının yakıt olarak değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Literatürde atık trafo yağlarının dizel motor yakıtı olarak değerlendirildiği çalışmalar mevcuttur. Bunlardan bazıları;

Mahir Hussain Salmani ve ark., (2015) kullanılmış trafo yağı (KTY) ve dizel yakıtı-KTY karışımlarını yakıt olarak kullandıkları çalışmalarında; termik verimin karışım yakıt kullanımı durumunda dizel yakıtına göre yaklaşık %15 oranında daha yüksek olduğu bildirmişleridir.

Saidulu ve diğ., (2015) fren termal verimlilikleri maksimum yükte dizelin, ATY-DY karışım oranlarına göre yüzdelik (%) olarak daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Özgül yakıt tüketimi maksimum yüklerde, atık trafo yağı (ATY-DY) karışımları ile karşılaştırıldığında, dizel yakıtının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Eksoz emisyonları dizele göre karşılaştırıldığında güç çıkışının artmasıyla NOx ve CO emisyonu kademeli olarak tüm test yakıtları için arttığı, eksoz gaz sıcaklıklarında yük durumlarına paralel olarak artış olduğu gözlemlenmiştir.

Hacimsel olarak karışım yakıtının (%5-%15) arıtma ve piroliz işleminin uygulandığı bir geri dönüşüm sistemindeki çalışmada atık madeni yağdan elde edilen numunenin dizel motorlarda kullanıldığında motor performansın düştüğü saptanmıştır. Atık madeni yağ kullanıldığında tork ve efektif güç değerlerinin dizel yakıtının değerlerinden daha düşük, özgül yakıt tüketiminin ise daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Elde edilen yakıtının NO_x ve CO emisyon değerleri, dizel yakıtının emisyon değerlerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Maksimum efektif güç ve motor momenti değerlerinde, Dizel yakıtına göre bir miktar düşüş olsa da özellikle %90 Dizel yakıt + %10 Alternatif motor yakıt karışım oranında, Dizel yakıtına en yakın değerler elde edildiği saptanmıştır (Sugözü ve diğ., 2009).

Behera (2013) araştırmada kullanılan motordaki testlerin tümü 1500 rpm sabit hızda yapılmış, direkt enjeksiyonlu hava soğutmalı tek silindirli dört zamanlı bir motorda kullanılan trafo yağı ve dizel karışımlarla ilgili yanma parametreleri, özgül yakıt tüketimleri, performans, eksoz gaz sıcaklığı ve çıkış emisyonları ile alınan

sonuçlarda; Dizel ve Kullanılmış Trafo Yağını (KTY) aynı çıkış güçleri ile karşılaştırıldığında kullanılmış trafo yağının dizel yakıta göre biraz daha yüksek olduğu, eksoz gaz sıcaklıklarında Kullanılmış Trafo Yağının dizel ve dizel karışımlarına oranla daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Çıkış emisyonlardaki Dizel ve KTY'nın NOx, HC değerleri maksimum fren gücündeki karışımlarda bu oran biraz daha yüksek olduğu, CO emisyonu aynı şartlarda motorin ile karşılaştırıldığında KTY-Dizel karışımları için çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Dumanın yoğunluğu içerisinde bulunan karbon ve hidrojenin yoğunluğuna bağlı olduğundan KTY'andaki bu oran dizelinkinden yaklaşık olarak %49 daha az olduğu belirtilmiştir.

Behera ve Murugan (2013) dizel yakıt ile ATY-DY karışımı sabit devir (1500) rpm'de tek silindirli dört zamanlı hava soğutmalı direk enjeksiyonlu bir dizel motorunda; yanma performansı, emisyon özellikleri analiz edilmiştir. Dizel ile karşılaştırıldığında ATY40 test edilen karışımlar arasında en iyi karışım olduğu, ATY ve karışımlarının ateşleme gecikmesi, tüm çalışma aralıklarında dizel yakıta kıyasla yaklaşık 1-3^{o} kam açısı daha kısadır. Karışımlardaki NO_x, HC ve CO emisyonları tam yükte dizel uygulamalarına göre yüksek olduğu, duman değerlerinde ise düşük olduğu tespit edilmiştir.

Yadav ve ark., (2015) deneysel incelemede gecikmeli enjeksiyon zamanlaması ile çalışan işlenmiş atık trafo yağını standart enjeksiyon zamanlamasına kıyasla fren termal veriminde düşük bir iyileşme gösterdiği, sabit hızda çalışan bir dizel motor için duman değeri yüksek, termik verimlilikte ise artış sağlandığı gözlemlenmiştir. Egzoz emisyonları maksimum yük koşullarında CO, NO_x ve HC emisyonunu sırasıyla %17.24, %11.57 ve %10 azaldığı tespit edilmiştir.

Murugan ve diğ., (2008) dizel yakıt-lastik piroliz yağı karışımları farklı oranlarda hazırlanmış yakıtlarla, hava soğutmalı direkt enjeksiyonlu dört zamanlı bir dizel motorunda performans ve emisyon özelliklerini değerlendirmek için testler yapmışlardır. Lastik piroliz yağı, piroliz ünitesinde elektrikli piroliz yoluyla atık otomobil lastiklerinden 1 kg yağ elde edilmiştir. Lastik piroliz yağı-dizel karışımlarının kullanımı sonucunda; motorun ısıl verimi tam yükte karışım konsantrasyonunda dizel yakıta göre daha yüksek artış olduğunu göstermiştir. HC, CO ve duman emisyonu; orijinal enjeksiyon zamanlamasının ertelenmesi, uzun ateşleme gecikmesi ve yüksek

aromatik içeriğinden dolayı yüksek yüklerde bu emisyonların daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Arpa ve ark., (2010) dört zamanlı hava soğutmalı doğal emişli tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda 2000 rpm ve 10 kW maksimum güçte bir alternatif yakıt olarak atık sıvı yağı incelemiştir. Araştırmanın sonuçlarında verimlilikte marjinal bir artış ve atık sıvı yağı için elde edilen efektif basınç ve egzoz gazı sıcaklığının dizel yakıtına göre ortalama bir değer olduğunu belirtmişlerdir. Özgül yakıt tüketimi dizel yakıt ile karşılaştırıldığında ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir. CO, NO_x ve SO_2 emisyonları yaklaşık olarak %14.7, %12.7, %22.5 artar iken, oksijen oranında yaklaşık %11,4 azalma olduğu görülmüştür.

Mani ve ark., (2009) Atık Plastik Yağı (APY) analizinden sonra herhangi bir motor modifikasyonu olmadan direk enjeksiyonlu tek silindirli dört zamanlı hava emişli hava soğutmalı dizel yakıtlı bir motorda performans, emisyon ve yanma özelliklerini incelemek için deneysel bir araştırma yapmışlardır. Çalışmadaki deney sonuçlarında, fren ısıl verimde dizel ve APY'ın uygulama durumlarının kararlı olduğu gözlemlenmiştir. APY yakıtlı bir motorda yanmamış HC emisyonları motor tam yükte iken dizel yakıtla göre yaklaşık %15 oranında, CO emisyonu ise %5 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Doğan ve ark., (2012) bir dizel motorunda motor performansı ve egzoz emisyonlarına lastik türevi yakıtın (LTY) etkisini tek silindirli dört zamanlı motor yapısında herhangi bir değişiklik yapılmadan LTY yakıtı test edilmişlerdir. Tam yükte, altı test yakıtını kullanarak farklı devirlerde (1400, 2000, 2600 ve 3200 rpm) yüksek hızlı bir dizel motoru kullanılmıştır. Deney sonuçları LTY yakıt LTY90 kadar hacimsel olarak bir dizel motoru çalıştıralabilirliğini göstermiştir. NO_x emisyonları yakıt karışımlarında LTY içeriği ile artarken dumanda donukluk, HC ve CO emisyonlarında azalma tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Atık Trafo Yağı ve Özellikleri

Atık trafo yağı Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) Batman Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. Yapılan ilk gözlemler sonucu yağın su ve tortu içerdiği anlaşılmıştır. Batman Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Rafineri ve Petro-Kimya Laboratuvarında yağ filtrelenip; yaklaşık 100-110 ºC'de bir süre ısıtıldıktan sonra bazı yakıt özellikleri belirlenmiştir (Şekil 3.1)



Şekil 3.1. Kullanılmış Trafo Yağı için önişlemler

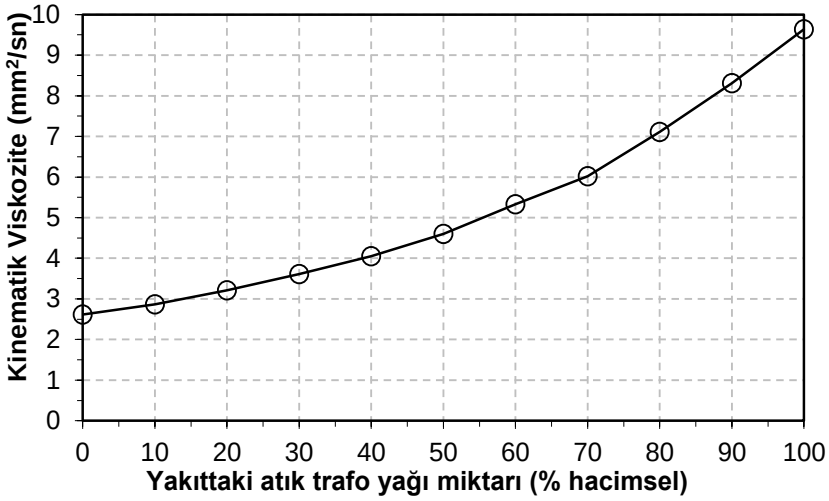
TÜPRAŞ (Türkiye Petrol Rafineleri A.Ş) yakıt analiz laboratuvarda kullanılmış trafo yağının Tablo 3.1'de verilen özellikleri belirlenmiştir.

Tablo 3.1. Atık trafo yağı ve EN590 dizel yakıt standardına ait özelliklerin karşılaştırılması

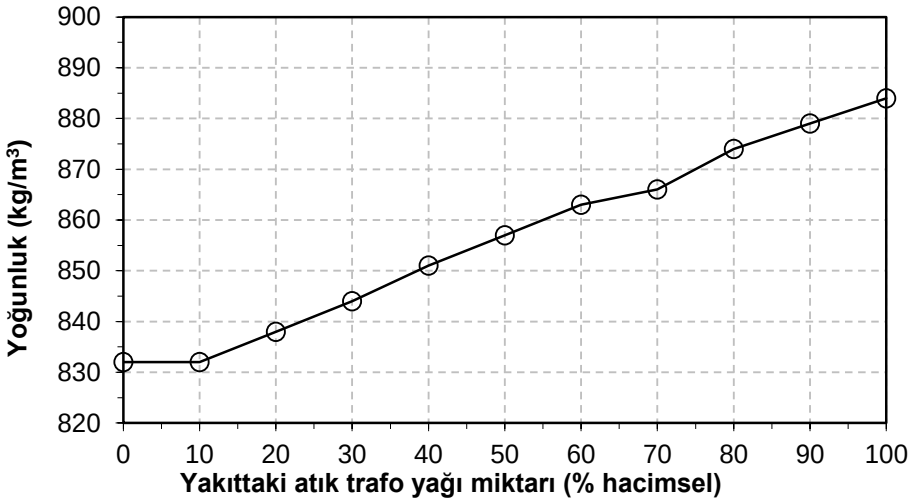
ÖZELLİK	Atık Trafo Yağı	EN 590
Yoğunluk 15 ºC'de (kg/m^3)	885,6	820-845
API Gravite	28.2	-
Kinematik viskozite 40 ºC'de (mm^2/sn)	9.637	2,0-4,5
Parlama Noktası (ºC)	120$^+$	Min. 55
Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN, ºC)	-17	-15 + 5
Kükürt (ppm)	24.4	Max10
Su (ppm)	26	Max200
Setan İndeksi	48.67	46
Isıl Değer (kJ/kg)	45507	-

Tablo 3.1'de EN 590 dizel yakıt standartları ile birlikte verilen atık trafo yağının özellikleri incelendiğinde; yoğunluk ve viskozite dizel yakıtları standart değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle viskozitesinin yüksek oluşu saf halde yakıt olarak kullanımını zorlaştırmaktadır. Bununla beraber parlama noktasının da yüksek oluşu onu taşıma ve depolama sırasında daha güvenli bir yakıt yapmaktadır. EN 590 standartları ile karşılaştırıldığında iyi SFTN'ye sahip olduğu ve düşük su içeriğine (ön işlem yapıldıktan sonra) sahip olduğu görülmektedir. Ancak yüksek kükürt içeriği emisyonlar açısından olumsuz bir durum oluştururken; dizel yakıtlara nazaran daha iyi yağlayıcılık özelliğine sahip olması beklenmektedir. Setan indeksinin standart değerin üstünde olması motorda yanma açısından olumlu bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır.

Atık trafo yağının özellikle yüksek viskozite değerinden dolayı direk olarak kullanımının güç olmasından dolayı karışım halinde kullanılması daha uygun görülmüştür. Dolayısıyla atık trafo yağına belirli oranlarda dizel yakıtı eklenerek seyreltilmiş ve bu yakıt karışımlarının distilasyon, viskozite ve yoğunluk değerleri belirlenerek hangilerinin motor test yakıtı olarak kullanılacağına karar verilmiştir. Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4'te Batman Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Rafineri ve Petro-Kimya Yakıt Analiz Laboratuvarında dizel yakıtına hacimsel olarak sırası ile %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80, %90 ve %100 oranında atık trafo yağı eklenerek ölçülen kinematik viskozite (40^oC'de) ve yoğunluk (15^oC'de) değerleri ile dizel yakıtı ve atık trafo yağına ait distilasyon sıcaklığı değerleri verilmiştir.



Şekil 3.2 Atık trafo yağı miktarının kinematik viskozitesinin hacimsel olarak (%) değişimi

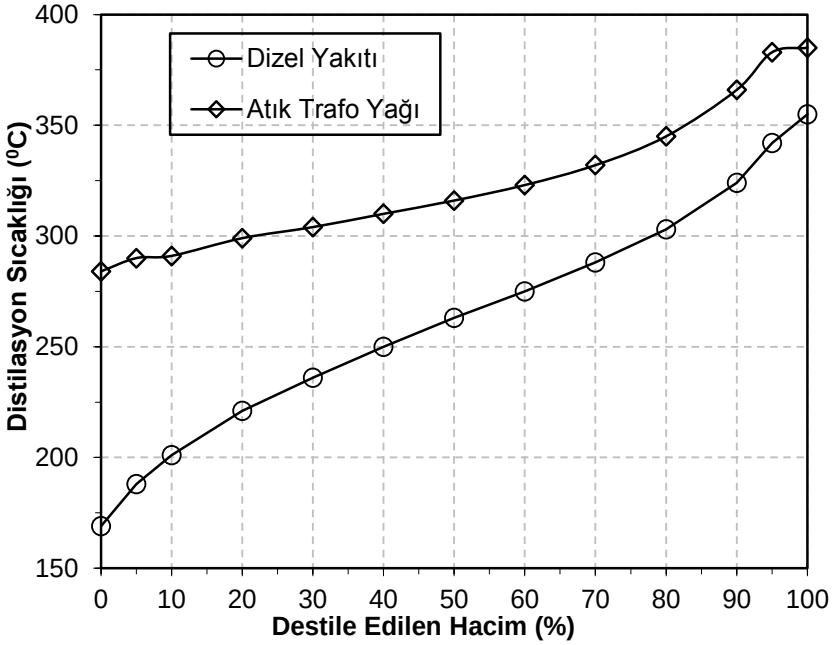


Şekil 3.3 Atık trafo yağı miktarının yoğunluğa bağlı olarak (%) değişimi

Şekil 3.2 ve 3.3'te görüldüğü gibi dizel yakıtına atık trafo yağı eklenmesi ile viskozite ve yoğunluk değerlerinde artış olmuştur. %50 oranındaki karışım durumuna kadar viskozite değerleri EN590 standart değerleri (4.5 mm^2/sn) içerisinde kalmış ancak bu orandan sonra standart değerin dışına çıkmaya başlamıştır. Benzer bir durum yoğunluk değerleri içinde gözlenmiş ancak %30 oranındaki karışım ile standart değerlere ulaşılmıştır. Bununla beraber %60 oranına kadar atık trafo yağı eklenmesi durumunda elde edilen viskozite ve yoğunluk değerleri dizel motorlarında alternatif yakıt (özellikle biyodizel için EN14214'te belirtilen 860-900 kg/m^3 yoğunluk ve 3.5-5.0 mm^2/sn kinematik viskozite) kullanımı ile ilgili standart değerlerinin içerisinde kalmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada atık trafo yağının hacimsel olarak %60'a kadar dizel yakıtına eklenerek elde edilen karışım yakıtlar alternatif yakıt olarak test edilmiştir.

Şekil 3.4'te atık trafo yağı ile dizel yakıtının distilasyon sıcaklıkları görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi atık trafo yağının ilk kaynama noktası dizel yakıtınınkinden çok yüksektir. Dizel yakıtı 169 ^0C'de kaynamaya başlarken atık trafo yağında bu sıcaklık 284 ^0C olmuştur. %10, %50 ve %90'ının buharlaştığı sıcaklıklar ise atık trafo yağı için 291 ^0C, 316 ^0C ve 366 ^0C, bununla beraber dizel yakıtı için 201 ^0C, 263 ^0C ve 324 ^0C olmuştur. Son kaynama noktası ise atık trafo yağı için 385 ^0C dizel yakıtı için 355 ^0C olmuştur. Görüldüğü gibi son kaynama noktası atık trafo yağında dizel yakıtına göre çok yüksektir. Atık trafo yağının ilk kaynama noktasının yüksek olması karışım yakıtları ile motorun ilk harekete geçişinin konvansiyonel dizel yakıtına

göre daha zor olacağını göstermektedir. Bununla beraber atık trafo yağının distilasyon eğrisinin daha homojen olması daha düşük yanmamış HC oluşumuna neden olacaktır. Dolaysıyla karışım yakıtların kullanımında konvansiyonel dizel yakıtı kullanımına göre daha az yanmamış HC oluşu beklenmektedir.



Şekil 3.4 Atık trafo yağı ve dizel yakıtının distilasyon sıcaklığının değişimi

3.2 Motor Deney Seti

Petrol kökenli dizel yakıtına hacimsel olarak %20 (ATY20), %40 (ATY40), %60 (ATY60) ve %80 (ATY80) oranında atık trafo yağı eklenerek hazırlanan karışım yakıtları ve konvansiyonel dizel yakıtı Batman Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Motor Test Laboratuvarı'nda bulunan dizel motorlu jeneratör setinde test edilmiştir. Konvansiyonel dizel yakıtı Batman'da bulunan bir akaryakıt istasyonundan temin edilmiştir.

Dizel motorlu jeneratör setinde 230/400 V fırçasız senkron tipi 1500 dev/dak'da (50 Hz) 22 kVA (stand-by) ve 20 kVA (prime) güç üretebilen bir alternatör, dört silindirli ve dört zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli ve su soğutmalı dizel motor, yakıt tüketimi, su, yağ ve egzoz sıcaklıkları ölçümü için gerekli cihazlar, egzoz gaz ölçüm cihazı ile silindir içi basınç ölçüm sitemi bulunmaktadır. Ayrıca jeneratörün ürettiği elektrik enerjisinin ölçülmesi için dahili bir ampermetre ve voltmetre bulunmaktadır. Testlerde motorun yüklemesi için alternatör tarafından üretilen elektrik

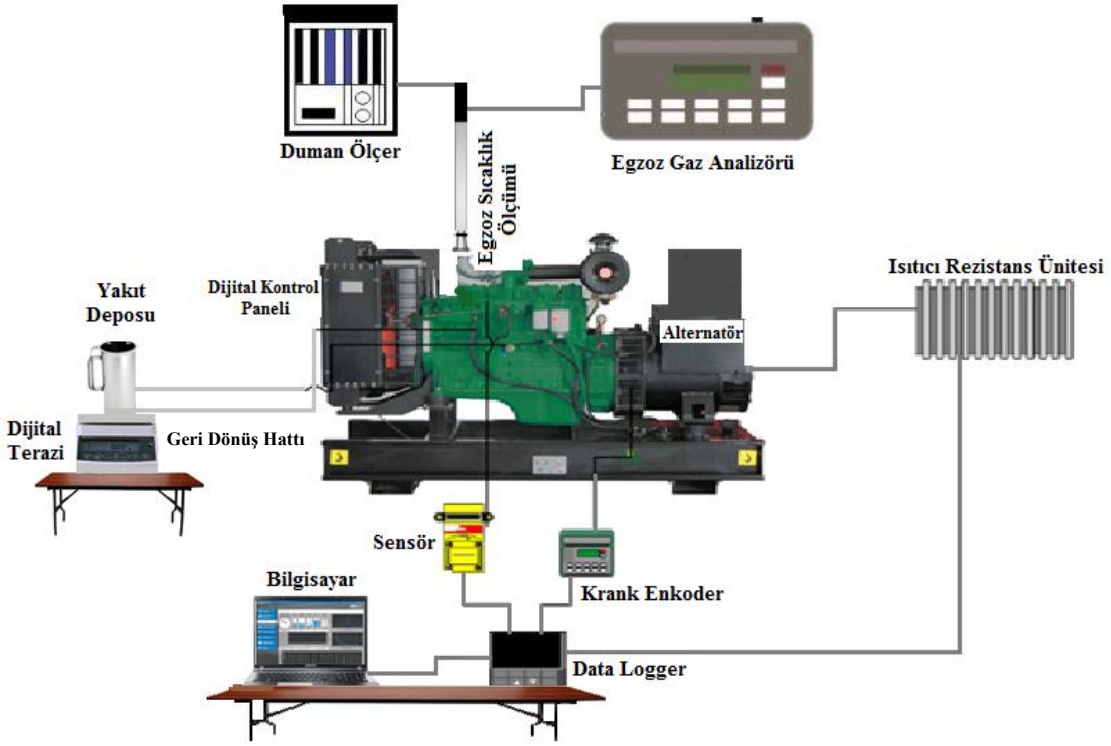
enerjisini tüketen elektrikli rezistanslar kullanılmıştır. Farklı güçlerde rezistanslar kullanılarak motor yükü kontrol edilmiştir. Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 3.4'te gösterilmiştir. Şekil 3.5 ve 3.6'da deney setinin fotoğrafı ve şematik gösterimi verilmiştir. Motor bakımı yapıldıktan sonra, veri toplama işlemine başlamadan önce her bir testten önce motor kararlı hale gelmesi için ilgili testte kullanılan yakıt ile bir süre çalıştırılmıştır. Motor kararlı hale geldikten sonra her bir test yakıtı kullanılarak 1500 dev/dak sabit hızda ve üç farklı motor yük şartlarında testler yapılmıştır.

Tablo 3.4 Deney motorunun teknik özellikleri

Marka ve model	Kraft- 4DW81-23D
Çıkış Gücü	1500 dev/dk'da 18 kW
Emme sistemi	Doğal
Çap x strok (mm)	85x100
Silindir sayısı	4
Püskürtme sistemi	Direkt
Sıkıştırma oranı	17:1
Enjektör memesi sayısı	4



Şekil 3.5 Deney düzeneğinin genel görünümü



Şekil 3.6 Deney düzeneğinin şematik görünümü

Egzoz gaz emisyonlarının analizi için CAPELEC CAP 3200 marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın ölçme aralığı ve hassasiyeti Tablo 3.5'de görülmektedir.

Tablo 3.5 Gaz analiz cihazının teknik özellikleri

Parametre	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
HC	0-20 ppm	1 ppm
CO_2	%0-20	%0.1
CO	%0-15	%0.001
O_2	%0-21.7	%0.01
NOx	0-5000 ppm	1 ppm
Duman koyuluğu	% 0-99.9	% 0.01

Silindir içi gaz basıncının ölçümü için Optrand marka D33294-Q model fiber-optik basınç sensörü (1.35mV/psi hassasiyetli) kullanılmıştır. Krank mili açısı ise manyetik devir sensörü ile belirlenmiştir. Manyetik devir sensörü, krank kasnağında üst ölü nokta (ÜÖN) için belirlenen yer kullanılarak ÜÖN'de sinyal üretecek şekilde monte edilmiştir. Basınç sensörlerinden gelen sinyaller, sinyal şartlandırıcı ve veri toplama kartı ile bilgisayara aktarılmıştır. Bu verilerin işlenmesi Febris yanma analizi yazılımı

ile gerçekleştirilmiştir. Isı dağılımı, termodinamiğin birinci kanunu ve ideal gaz denkleminden yararlanılarak hacmi bilinen bir silindirden alınan basınç verileriyle analiz edilmektedir. Yakıt tüketimi 1 gr hassasiyetli bir elektronik terazi ve dijital kronometre ile kütlesel olarak ölçülmüştür. Belirli bir zaman içerisinde dijital terazide görülen yakıt kütlesindeki değişiklik kaydedilmiş ve birim zamandaki yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Motor performansının değerlendirilebilmesi için ölçülen çıkış gücü ve yakıt tüketimi ile yakıtların ısıl değerleri kullanılarak özgül yakıt tüketimi ve efektif verim değerleri hesaplanmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı kullanılmış trafo yağlarının alternatif yakıt olarak dizel yakıtı ile değişik oranlarda karıştırılarak bir dizel motorunda kullanılabilme imkânlarını araştırmaktır. Bunun için kullanılmış trafo yağını, dizel yakıt ile %20, %40, %60 ve %80 oranlarında karıştırılarak yukarda özellikleri verilen bir dizel motorlu jeneratör setinde denenmiş olup elde edilen motor performans ve emisyon değerleri dizel yakıtından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir**.**

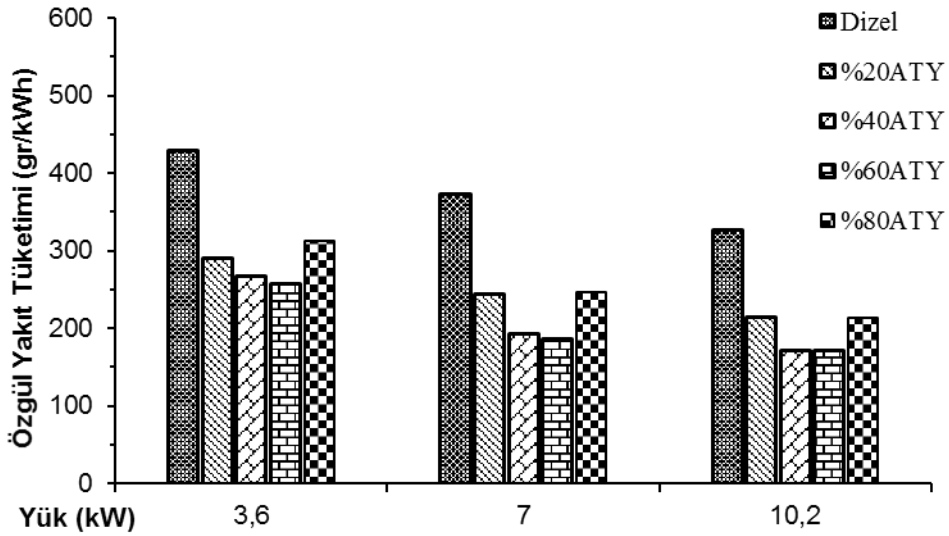
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde petrol kökenli dizel yakıtı ile atık trafo yağı karışımlarının sabit motor devir sayısında (1500 dev/dk) ve farklı yük koşullarında (3,6 kW, 7 kW ve 10,2 kW) bir dizel motorlu jeneratörde alternatif yakıt olarak kullanılması ile elde edilen performans, yanma ve egzoz emisyonu değerlerinin saf dizel yakıtı kullanımına göre karşılaştırılması sunulmuştur.

4.1. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)

Şekil 4.1'de dizel yakıtı ve dizel-atık trafo yağı karışımlarının motor yüküne bağlı olarak özgül yakıt tüketimlerinin (ÖYT) değişimi verilmiştir. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT) tüm test yakıtları için motor yükünün artmasıyla düşmüştür. Motor yükündeki artış ile çıkış gücünün artması ÖYT'de düşüşe neden olmaktadır. Bununla beraber, Şekil 4.1 incelendiğinde üç farklı yükteki ÖYT değerlerinin dizel yakıtı kullanımında en yüksek olduğu görülmektedir. Hacimsel olarak %60 ATY içeren karışım yakıtında ise en düşük özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir. Ayrıca dizel yakıtına ATY eklenmesi ÖYT'de düşüşe neden olmuş bununla beraber en yüksek ATY içeren (%80 ATY) karışım yakıtında ÖYT bir miktar artmıştır. 3.6 kW yükte ÖYT dizel yakıtı kullanımına göre ATY20 için %32, ATY40 için %37, ATY60 için %40 ve ATY80 için %27 oranında düşük çıkmıştır. Motor yükü sırasıyla 7 kW ve 10,2 kW'a çıkarıldığında ise ÖYT'deki düşüş ATY20, ATY40, ATY60 ve ATY80 için dizel yakıtı kullanımına göre sırasıyla %34,6-%34,3, % %48,3-%47,8, %50,2-%47,2, %33,8-%34,6, oranlarında olmuştur. Ortalama olarak ise %33,7, %44,5, %45,7, %31,6 oranlarında bir düşüş gözlenmiştir. Benzer sonuçlar literatürdeki çalışmalarda da bildirilmiştir (Behera ve Murugan, 2013). ÖYT'deki bu düşüşün nedeni atık trafo yağının sahip olduğu yüksek ısıl değer olabilir. Tablo 3.1'de verildiği gibi atık trafo yağı 45 MJ/kg'dan fazla ısıl değere sahip iken konvansiyonel dizel yakıtlarında bu değer 42 MJ/kg civarındadır. Nitekim ÖYT'deki düşüş yakıttaki (%80 oranında atık trafo yağının eklenmesi durumu hariç) atık trafo yağı miktarı ile hemen hemen orantılı olmuştur. ATY80 durumunda ise ÖYT'deki düşüş diğer karışım yakıtlarına göre biraz azalmıştır. %80 gibi yüksek oranda ATY içeren karışım yakıtın kullanılması durumunda yüksek viskozite gibi ATY'nin bazı olumsuz özellikleri daha etkin olduğu söylenebilir.

Karışım yakıtları kendi aralarında karşılaştırıldığında en fazla özgül yakıt tüketiminin ATY80; en düşük ise ATY60 kullanımında elde edildiği görülmektedir. 3.6 kW yük şartlarında ATY80 karışım yakıtı kullanımı ile ATY20, ATY40 ve ATY60 karışım yakıtlarının kullanımına göre ÖYT karşılaştırıldığında sırasıyla %17,6, %24,7 ve %19,2 oranlarında daha yüksek çıkmıştır. Benzer sonuçlar 7 kW ve 10,2 kW' taki yük şartlarında da gözlenmiştir.

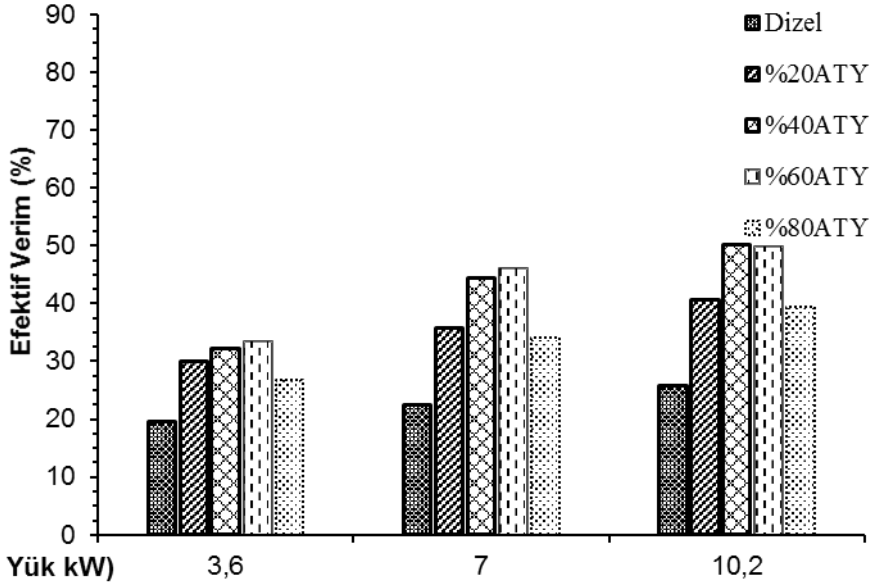


Şekil 4.1. Özgül yakıt tüketimin değişimi

4.2. Efektif Verim

Efektif verimin farklı motor yüklerinde dizel yakıtı ve dizel-atık trafo yağı karışım yakıtları için değişimleri Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekilde motor yükünün artmasıyla tüm test yakıtları için efektif verimin arttığı görülmektedir. Motor yükündeki artış ile silindire gönderilen yakıt miktarının artması ile yanmanın iyileşmesi sonucu sıcaklığın yükselmesi gibi nedenlerden dolayı verim de artmaktadır. Bununla beraber efektif verim değerleri Bölüm 3'te anlatıldığı gibi özgül yakıt tüketimi değerlerine bağlı hesaplandığından yüksek yüklerde özgül yakıt tüketiminin düşmesiyle verimde bir miktar artış olmaktadır. Diğer taraftan Şekil 4.2'de karışım yakıtları kullanıldığında dizel yakıtı kullanımına göre efektif verimin arttığı görülmektedir. Tüm yük kademelerinde dizel yakıtı ile elde edilen efektif verim değerleri karışım yakıtların kullanılması ile elde edilen verim değerlerine göre daha düşük olmuştur. Örneğin, 3.6 kW'da dizel yakıtı kullanımına göre ATY20, ATY40, ATY60 ve ATY80 karışım yakıtlarının kullanımı ile efektif verim %33.8, %39.2, %41.4 ve %27.2 oranlarında

artmıştır. Çıkış gücü sırasıyla 7 kW ve 10.2 kW'a çıkarıldığında ise efektif verim sırasıyla %36,7-%36,6, % %49,3-%48,8, %51,1-%47,6, %33,8-%34,7, oranlarında daha yüksek olmuştur. Ortalama olarak ise efektif verim %36,5, % %46,4, %47,4, %32,3 oranlarında artmıştır. Bütün yük kademelerinde en düşük efektif verim dizel yakıtı kullanımında elde edilirken; en yüksek verim değerleri ise düşük ve orta yük kademelerinde ATY60, yüksek yükte ise ATY40 karışım yakıtları kullanımında elde edilmiştir. Bütün yük kademelerinde atık trafo yağ-dizel yakıt karışımlarının içerisinde en düşük efektif verim ATY80 yakıtı kullanıldığında elde edilmiştir ve bu düşüş her yük kademesinde ve ortalama efektif verimde de gözlemlenmiştir. Petrol kökenli dizel yakıtına atık trafo yağı eklenmesi ile verimin artması, özgül yakıt tüketimlerinin düşük olmasına bağlanabilir.

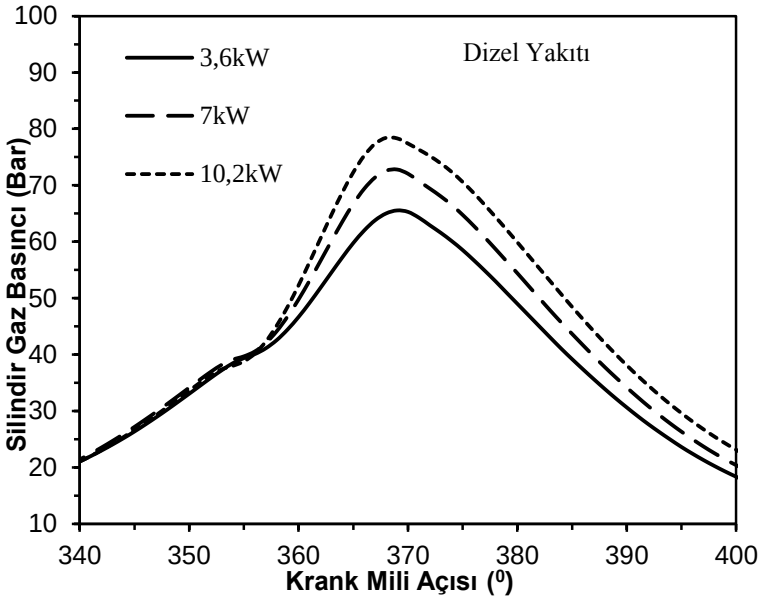


Şekil 4.2. Efektif verimin değişimi

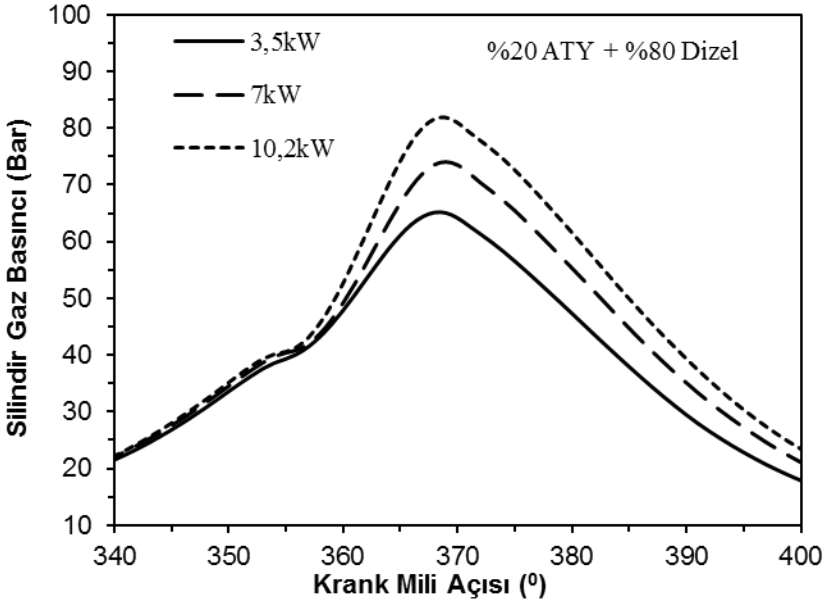
4.3. Silindir Gaz Basıncı

Test yakıtları için sabit devir sayısında ve farklı yüklerde ölçülen silindir gaz basıncı değerlerinin krank mili açısına göre değişimleri Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7'de gösterilmiştir. Şekillerde tüm test yakıtları için silindir gaz basıncının çıkış gücünün artması ile yükseldiği görülmektedir. 3,6 kW gibi düşük yük şartlarında dizel ile 65,54 bar, ATY20 ile 65,07 bar, ATY40 ile 62,22 bar, ATY60 ile 62,02 ve ATY80 ile 62,08 bar olarak ölçülen silindir gaz basıncı; gücün 7 kW ve 10,2 kW'a çıkarılması ile dizel için 72,80-78,32 bar'a, ATY20 için 74,01-81,8 bar'a, ATY40 için 73,30-81,45 bar'a,

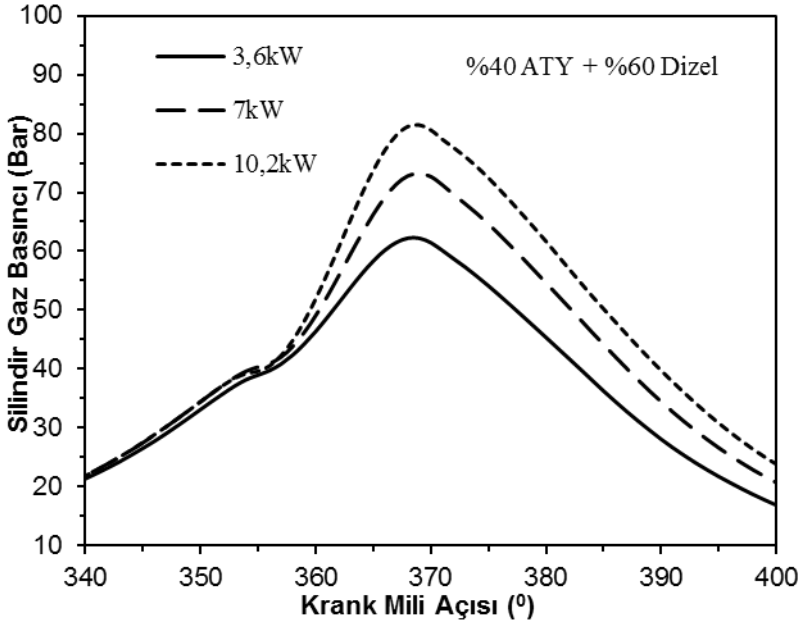
ATY60 için 74,50-80,18 bar'a ve ATY80 için 70,85-81,23 bar'a kadar çıkmıştır. 10,2 kW'ta maksimum silindir gaz basıncı değerleri tüm yakıtlar için üst ölü noktadan sonra 9 KMA'da elde edilmiştir. Görüldüğü gibi dizel yakıtına atık trafo yağı eklenmesi ile maksimum basınç değerlerinde küçük bir artış olmuştur.



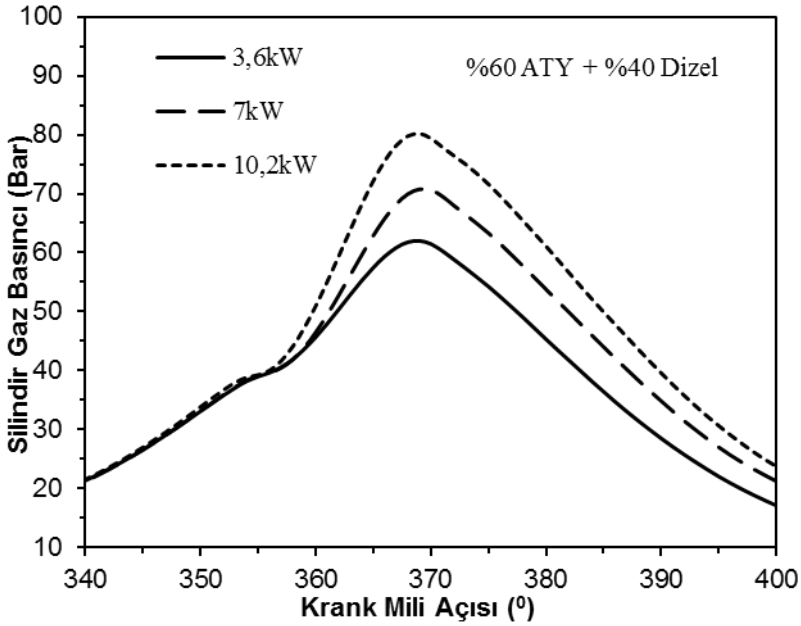
Şekil 4.3 Dizel yakıtının farklı yükler için silindir gaz basıncının krank mili açısı ile değişimi



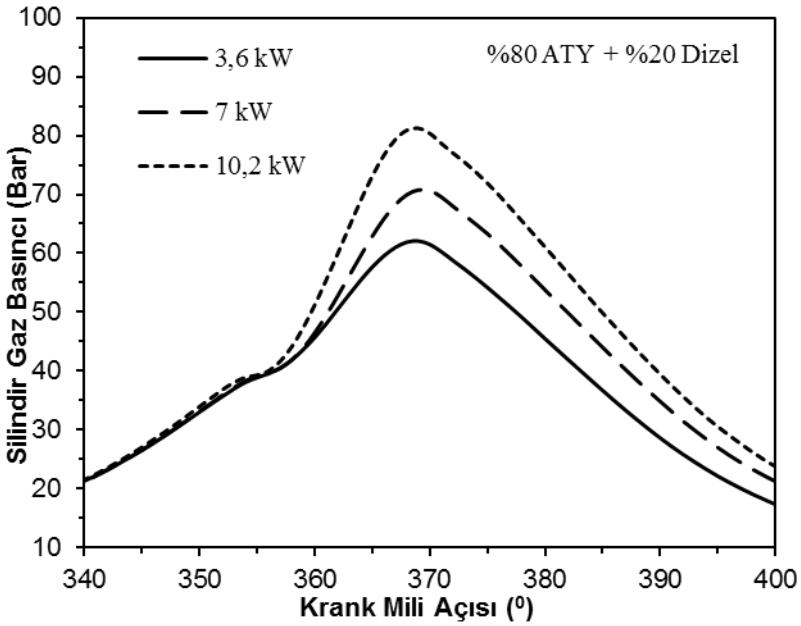
Şekil 4.4 ATY20 yakıtının farklı yükler için silindir gaz basıncının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.5 ATY40 yakıtının farklı yükler için silindir gaz basıncının krank mili açısı ile değişimi

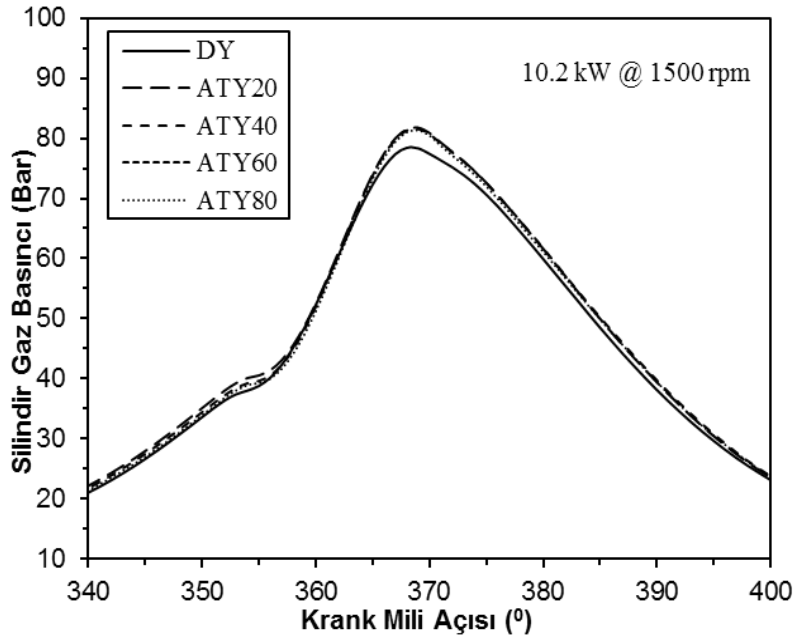


Şekil 4.6 ATY60 yakıtının farklı yükler için silindir gaz basıncının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.7 ATY80 yakıtının farklı yükler için silindir gaz basıncının krank mili açısı ile değişimi

Şekil 4.20'de test yakıtları için 1500 dev/dak'da ve 10.2 kW yükte silindir gaz basıncı değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Şekilde silindir gaz basıncının dizel yakıtı kullanımında karışım yakıtlarına göre daha düşük olduğu görülmektedir.



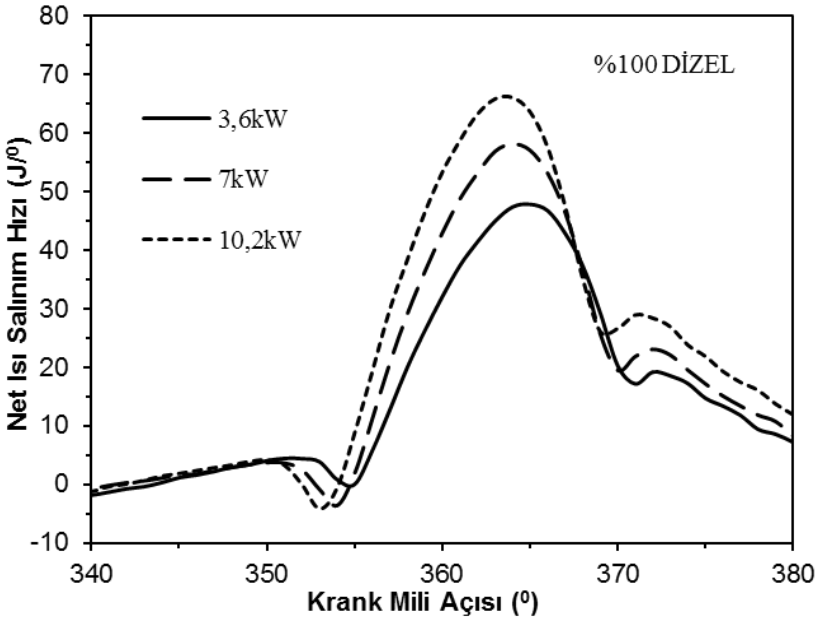
Şekil 4.8 Test yakıtlarının 10.2 kW yük şartlarında silindir gaz basıncının krank mili açısı ile değişimi

4.4. Isı Salınımı

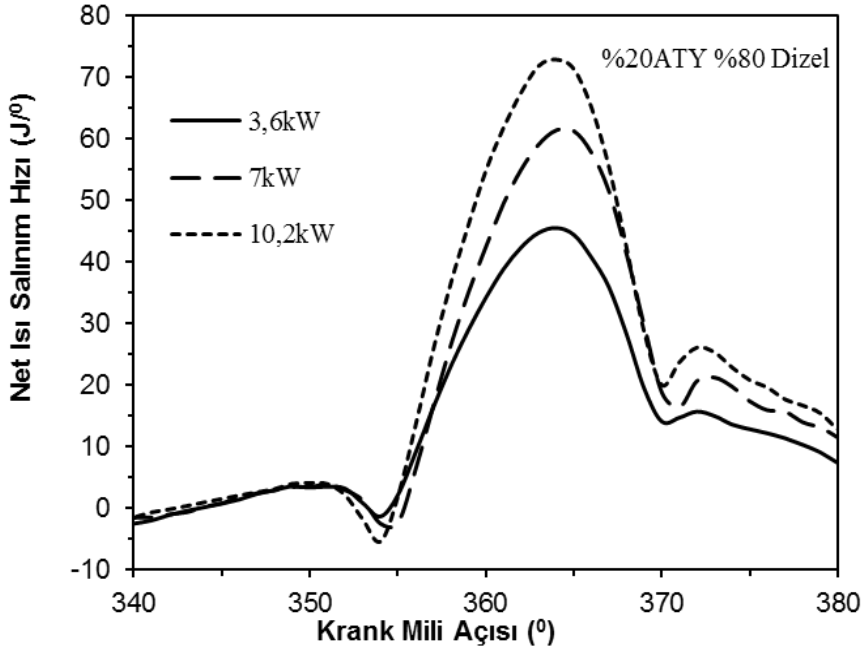
Şekil 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12'de test yakıtları için hesaplanan net ısı salınımı değerlerinin krank mili açısına göre değişimi gösterilmiştir. Tüm test edilen yakıtlar için

net ısı salınımı değerleri motor yükünün artması ile artmıştır. Ayrıca, tüm test edilen yakıtlar için her bir yük şartlarında ısı salınımı başlangıcından önce ısı salınımının negatif değerde seyrettiği şekillerden görülmektedir. Bu durum püskürtülen yakıtın buharlaşması için silindir içerisinde ortamdan ısı çekmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi dizel yakıttaki ısı salınımı 3,6 kW için 0,76 J/^{0}KMA, 7kW ve 10,2 kW'taki negatif değerde seyreden ısı salınımları sırayla -3,54 J/^{0}KMA ve -0,64 J/^{0}KMA olarak tespit edilmiştir. Atık trafo yağı–dizel yakıt karışımlarının 3,6 kW yük şartlarında ATY20 için -1,41 J/^{0}KMA, ATY40 için -1,02 J/^{0}KMA, ATY60 için -0,54 J/^{0}KMA ve ATY80 için -0,42 J/^{0}KMA elde edilmiştir. Motor yükü sırasıyla 7kW ve 10,2 kW'a çıkarıldığında ise negatif değerdeki ısı salınımları ATY20, ATY40, ATY60 ve ATY80 için sırasıyla (-2,42 J/^{0}KMA,-5,46 J/^{0}KMA), (-2,25 J/^{0}KMA, -5,78 J/^{0}KMA), (-1,06J/^{0}KMA, -5,33 J/^{0}KMA), (-1,52 J/^{0}KMA, -6,03 J/^{0}KMA) üst ölü noktadan önce 6 ^{0}KMA'da elde edilmiştir. Görüldüğü gibi yakıt içerisindeki ATY oranının artmasıyla negatif değerde seyreden ısı salınımında artış olmaktadır.

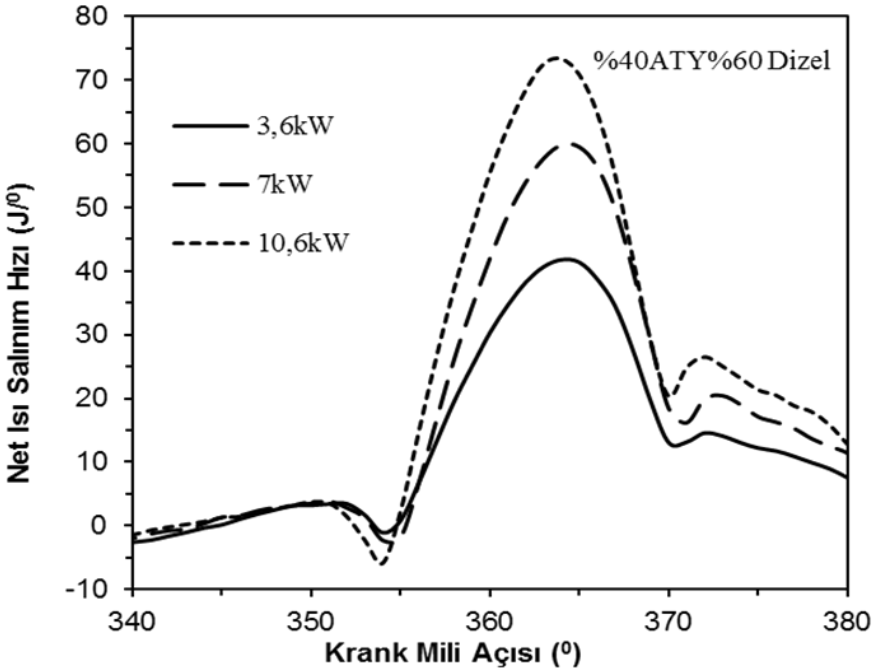
Motor yükünün artmasıyla yakıt tüketiminin artması sonucu ısı salınımıda artmıştır. Düşük yük şartlarında (3,6 kW gibi) dizel yakıtı (DY) için 47,45 J/^{0}KMA ATY20 için 45,6 J/^{0}KMA, ATY40 için 41,87 J/^{0}KMA, ATY60 için 41,54 J/^{0}KMA ATY80 için 42,02 J/^{0}KMA için 7kW-10,2 kW yüklerde ise dizel yakıtı (DY) için 58-66 J/^{0}KMA, ATY20 için 61,53-73,01 J/^{0}KMA, ATY40 için 59,88-73,23 J/^{0}KMA, ATY60 için 43,52-71,67 J/^{0}KMA ve ATY80 için 58,40-74,13 J/^{0}KMA olarak hesaplanmıştır. Bu değerler DY, ATY20, ATY40, ATY60, ATY80 için üst ölü noktadan sonra 4 KMA'da elde edilmiştir. Bu değerlerden de anlaşılacağı gibi maksimum ısı salınımı atık trafo yağı-dizel yakıt karışımlarında 3,6 kW yük altında dizel yakıtı kullanımına göre küçük bir düşüş olurken; 7 kW ve 10,2 kW yük şartlarında ise küçük bir artış olmuştur.



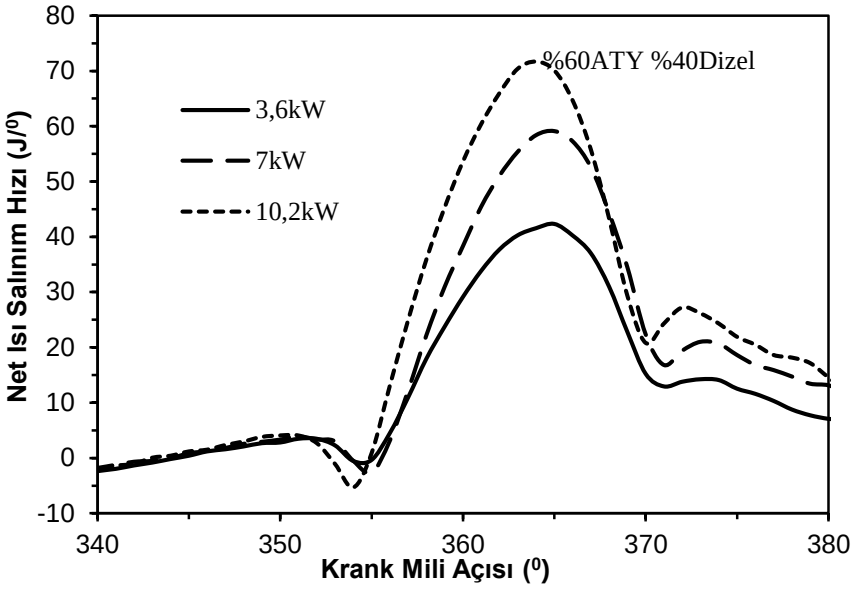
Şekil 4.9 Dizel yakıtının farklı yükler için net ısı salınımının krank mili açısı ile değişimi



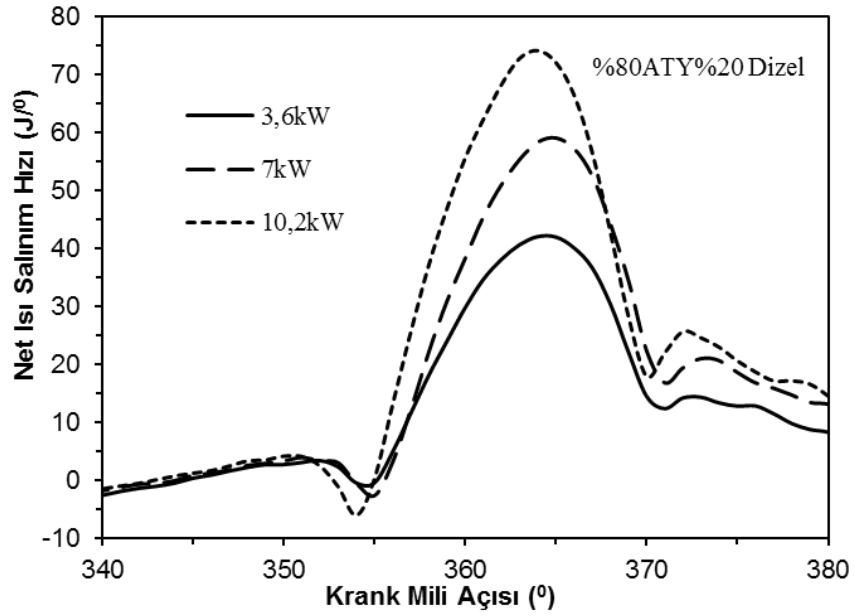
Şekil 4.10 ATY20 yakıtının farklı yükler için net ısı salınımının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.11 ATY40 yakıtının farklı yükler için net ısı salınımının krank mili açısı ile değişimi

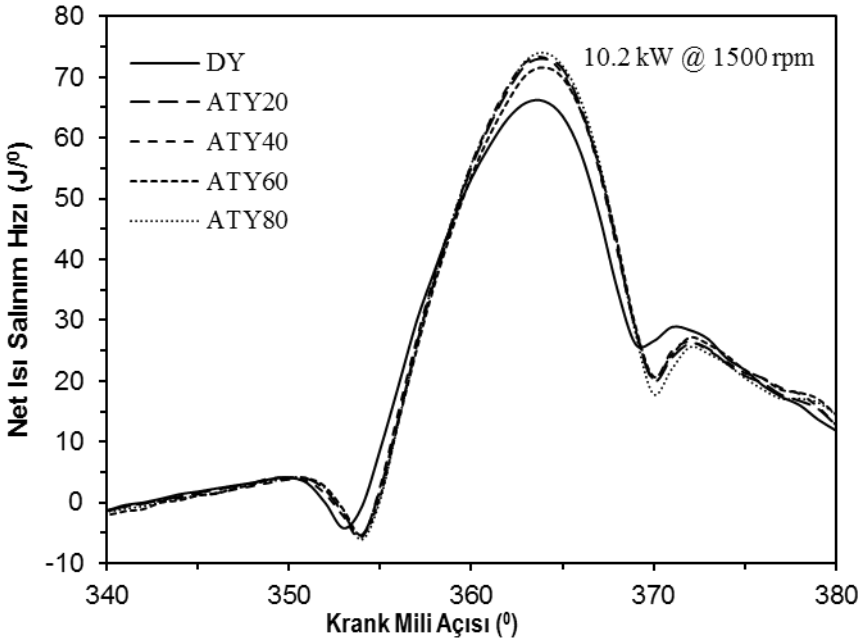


Şekil 4.12 ATY60 yakıtının farklı yükler için net ısı salınımının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.13 ATY80 yakıtının farklı yükler için net ısı salınımının krank mili açısı ile değişimi

Şekil 4.20'de test yakıtları için 1500 dev/dak'da ve 10.2 kW yükte net ısı salınımı değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Şekilde ısı salınımı başlangıcının dizel yakıtı kullanımında karışım yakıtlarına göre daha erken olduğu görülmektedir. Bununla beraber tutuşma gecikmesi süresi boyunca karışım yakıtları durumunda biriken yakıtın fazla olması ile atık trafo yağının ısıl değerinin yüksek olmasından dolayı ani yanma sırasında maksimum ısı salınımı karışım yakıtlarının kullanımında daha yüksek olmuştur.



Şekil 4.14 Test yakıtlarının 10.2 kW yük şartlarında ısı salınımının krank mili açısı ile değişimi

4.5. Ortalama Gaz Sıcaklığı

Dizel yakıtı ve kullanılmış trafo yağı-dizel karışımı yakıtlarının kullanımı ile ortalama gaz sıcaklığının değişimi Şekil 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17'de görülmektedir. Şekiller incelendiği zaman ortalama gaz sıcaklığının motorun çıkış güçleri ile orantılı olarak tüm atık trafo yağı karışımlarında yükseldiği görülmektedir.

Ortalama gaz sıcaklığı yanma odası içerisindeki gaz sıcaklığının genel ortalamalarından alınır. Yanma odaları sistemi genellikle ideal karışım olarak bilindiğinden ortalama gaz sıcaklığı ideal gazlar için durum denklemi ile bulunur. Silindir ve piston için genellikle lokal sabit ısı kullanılır. Genleşme stroğu politropik olduğu kabul edilmekte ve aşağıdaki denklemi kullanılarak ortalama gaz sıcaklığı hesaplanır.

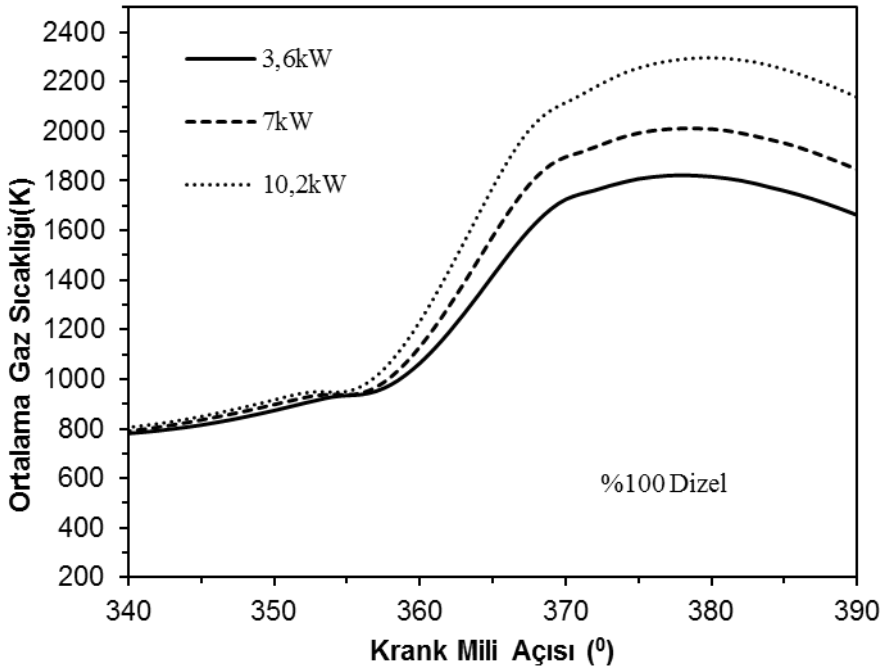
$$\mathrm{T}i = \mathrm{P}i\mathrm{V}i \frac{Tref}{Pref.\mathrm{V}\,ref}$$

Burada;

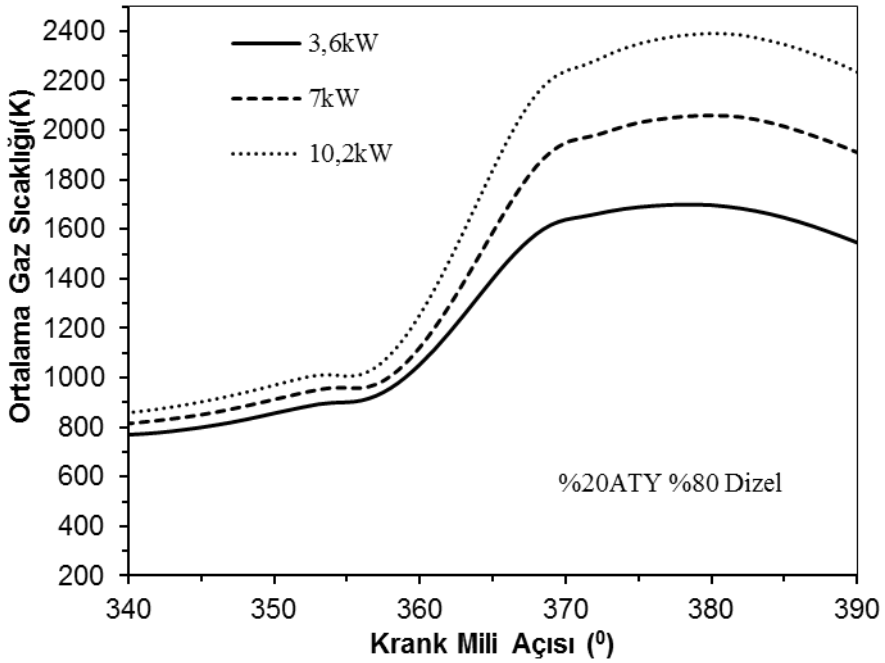
T_i; Ortalama gaz sıcaklığı,

P_i V_i ; Eş zamanlı basınç ve silindir hacmini

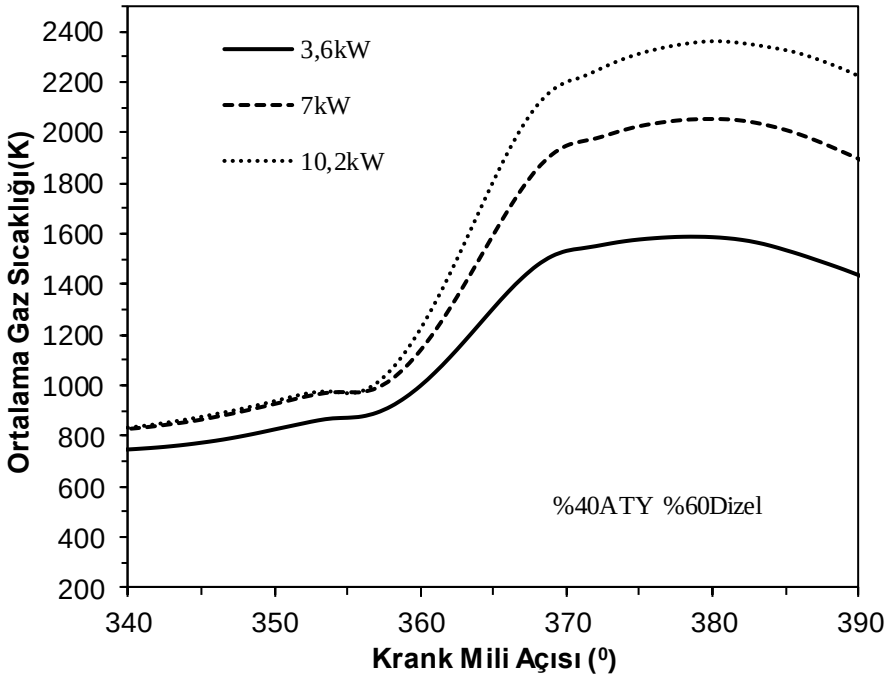
T_{ref}, P_{ref} ve V_{ref}; Politropik genleşme eğrisinin herhangi bir noktasındaki referans parametreleridir.



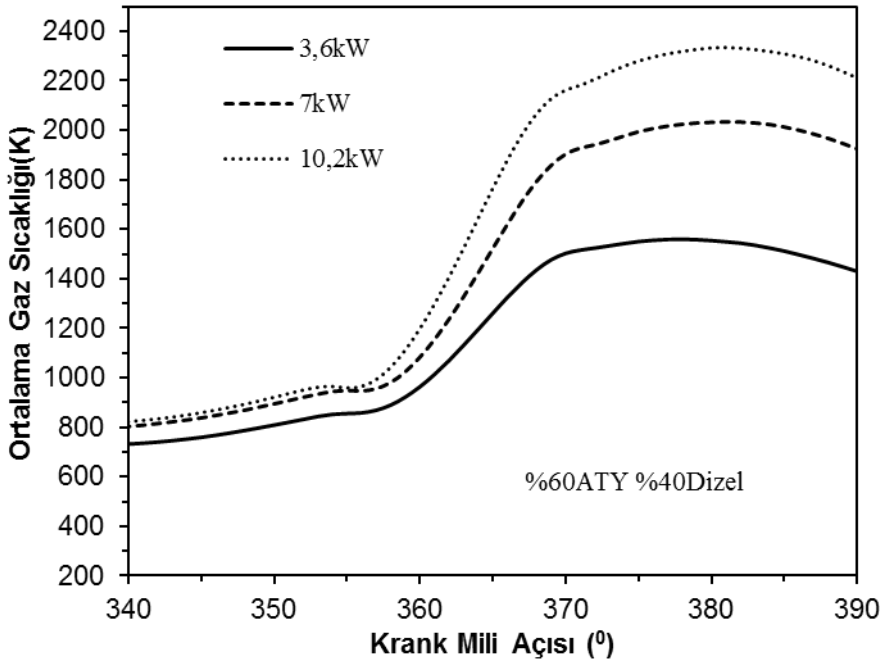
Şekil 4.15 Dizel yakıtının farklı yükler için ortalama gaz sıcaklıklarının krank mili açısı ile değişimi



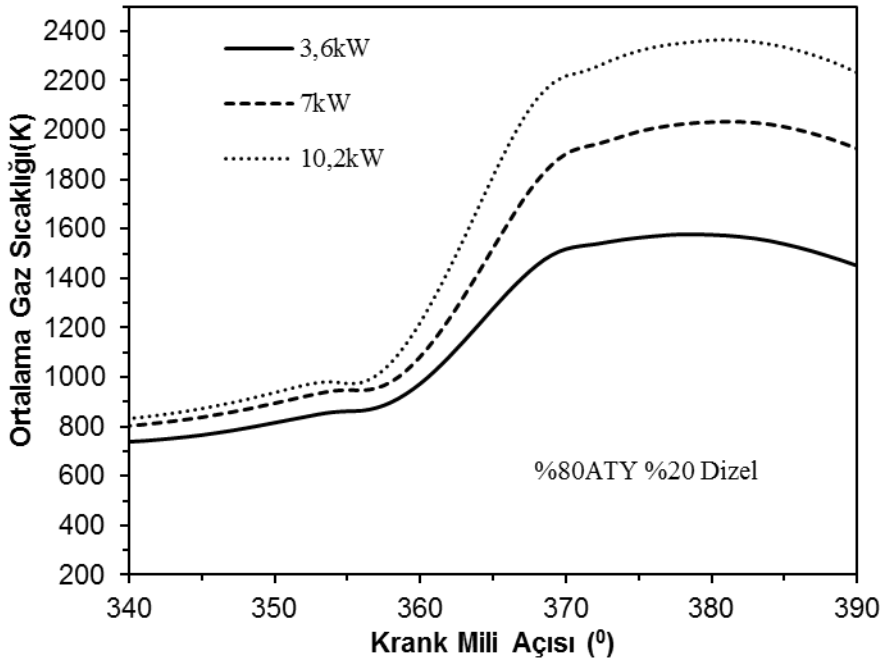
Şekil 4.16 ATY20 yakıtının farklı yükler için ortalama gaz sıcaklıklarının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.17 ATY40 yakıtının farklı yükler için ortalama gaz sıcaklıklarının krank mili açısı ile değişimi

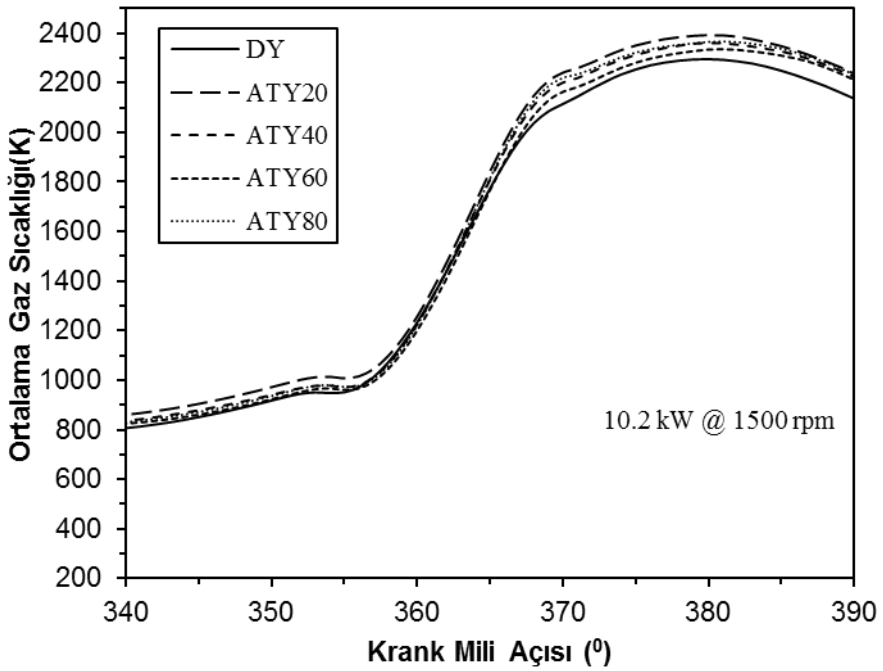


Şekil 4.18 ATY60 yakıtının farklı yükler için ortalama gaz sıcaklıklarının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.19 ATY80 yakıtının farklı yükler için ortalama gaz sıcaklıklarının krank mili açısı ile değişimi

Şekil 4.20'de test yakıtları için 1500 dev/dak'da ve 10.2 kW yükte ortalama gaz sıcaklığı değerleri gösterilmiştir. Şekilde ortalama gaz sıcaklığı değerlerinin karışım yakıtları için dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.20 Test yakıtlarının 10.2 kW yük şartlarında ortalama gaz sıcaklığının krank mili açısı ile değişimi

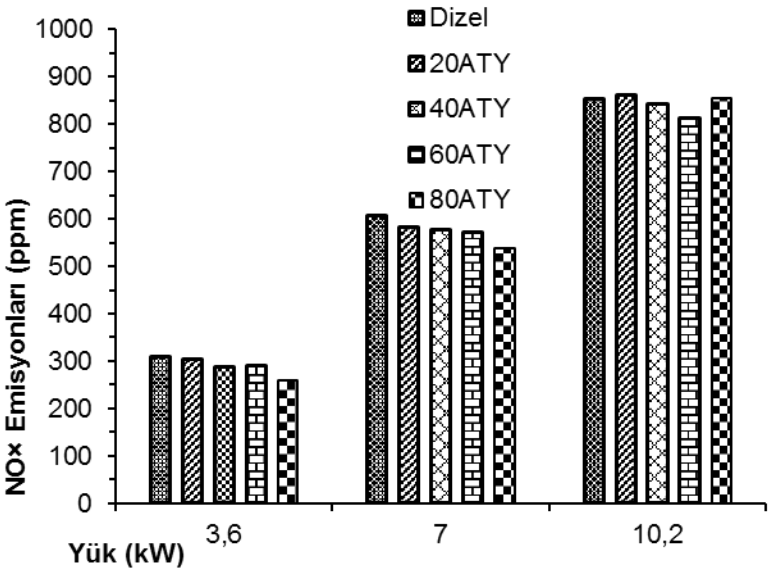
4.6. Egzoz Emisyonlarının İncelenmesi

Bu çalışmada deney yakıtlarının egzoz emisyonlarındaki NO_x ve HC sabit yüklerde ölçülmüş ve elde edilen veriler grafik haline getirilmiştir.

4.6.1. NO_x Emisyonlarının İncelenmesi

Test yakıtları için NO_x emisyonlarının motor yükü ile değişimi Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi motor yükündeki artış ile NO_x emisyonu bütün yakıtlar için artmıştır. Motor yükündeki artış ile yakıt tüketiminin artması ve yanmanın gelişmesi ile silindir içi sıcaklığın artmasına bağlı olarak NO_x emisyonu artmaktadır. En fazla NO_x emisyonu tüm yakıtlar için 10,2 kW yükte; en düşük ise 3,6 kW yük şartlarında elde edilmiştir. Bununla beraber 3,6 kW yükte en yüksek NO_x 310 ppm ile dizel yakıtı kullanımında elde edilirken en düşük ise 259 ppm ile ATY80 karışım yakıtı kullanımında ölçülmüştür. Orta ve yüksek yük kademelerinde de en yüksek NO_x emisyonu dizel yakıtı kullanımı ile; en düşük ise 7 kW yükte ATY80 ile 10,2 kW yükte ise ATY60 yakıtlarının kullanımı ile elde edilmiştir.

3,6 kW yük şartlarında ATY20, ATY40, ATY60 ve ATY80 kullanımında dizel yakıtı kullanımına göre NO_x emisyonları sırasıyla yaklaşık olarak %1,6, %6,7, %6,4 ve %21 oranında düşmüştür. Motor yükü sırasıyla 7 kW ve 10,2 kW'a çıkarıldığında NO_x emisyonları ATY20 için %3,9 - %11,20, ATY40 için %4,9-%1,1, ATY60 için %5,6 - %4,8 ve ATY80 için %1,1-%0,2 oranında daha düşük ölçülmüştür. Ortalama olarak ise ATY20, ATY40, ATY60 ve ATY80 kullanımı ile NO_x emisyonları dizel yakıtı kullanımına göre sırasıyla %1,2, %3,3 , %5,4 ve %6,6 oranında azalmıştır.

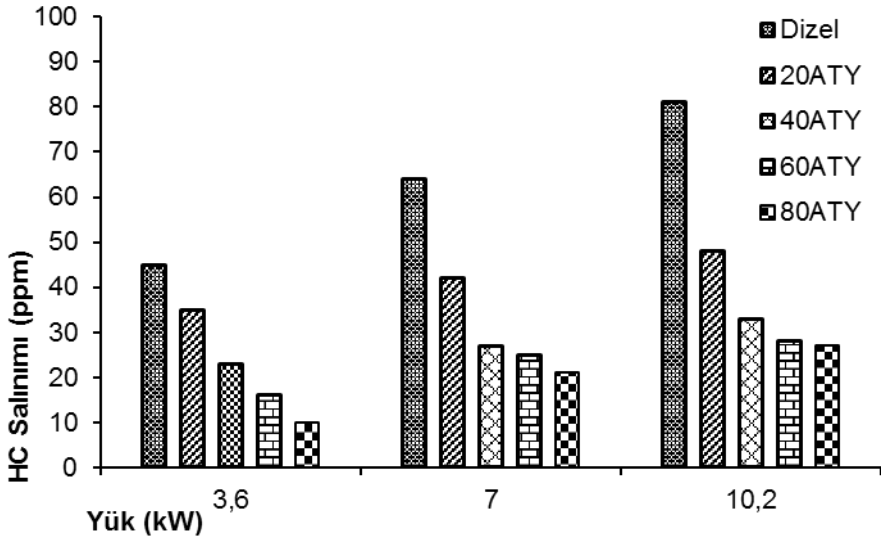


Şekil 4.21. Farklı yüklerde test yakıtları için NO_x emisyonlarının değişimi

4.6.2 HC Emisyonlarının İncelenmesi

Hidrokarbon emisyonları organik bileşenlerden oluşmakta ve eksik yanma sonucu meydana gelmektedir. HC emisyonları genellikle zengin karışımlarda daha fazla, fakir karışımlarda da yanma kötüleştiği için veya eksik yanma meydana geldiği için HC emisyonlar artmaktadır. Emisyonlar içerisinde yanmamış HC'lerin bulunmasının başka bir nedeni de, yanma odasında oksijenin yetersizliğinden dolayı eksik yanma olmasıdır.

Şekil 4.19'de test yakıtları için yanmamış HC emisyonlarının motor yükü ile değişimi verilmiştir. Şekilde motor yükünün artmasıyla tüm test yakıtları için yanmamış HC emisyonlarınında arttığı görülmektedir. Tüm motor yüklerinde en fazla yanmamış HC emisyonu dizel yakıtı kullanımında ölçülürken; ATY80 karışım yakıtı kullanımında ise en düşük emisyonlar ölçülmüştür. 3,6 kW yük şartlarında dizel yakıtı kullanımına göre yanmamış HC emisyonları ATY20, ATY40, ATY60 ve ATY80 için sırasıyla yaklaşık olarak %22,2, %48,8 , %64,4 ve %77,7 oranında daha düşük çıkmıştır. 7 kW ve10,2 kW yük şartlarında ise ATY20, ATY40, ATY60 ve ATY80 karışım yakıtları kullanımı ile yanmamış HC emisyonları yaklaşık olarak sırasıyla %34,3-%40,7, %57,8-%59,2, %60,9-%65,4, %67,1-%66,6 oranlarında daha düşük çıkmıştır. HC emisyonlarındaki düşüş ortalama olarak ise %35, %57, %63 ve %70 oranlarında olmuştur.



Şekil 4.22 Farklı yüklerde test yakıtları için yanmamış HC emisyonlarının değişimi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Atık trafo yağının konvansiyonel dizel yakıtı ile hacimsel olarak %20, %40, %60 ve %80 oranlarındaki karışımları 4 silindirli, 4 zamanlı ve su soğutmalı bir dizel motorlu jeneratör setinde alternatif yakıt olarak kullanılmıştır. Elde edilen yanma, performans ve egzoz emisyonu değerleri konvansiyonel dizel yakıtı kullanımına göre karşılaştırılmıştır.

Hacimsel olarak ATY-DY yakıt karışımlarının silindir gaz basıncı değerleri, DY'na göre genel olarak bir miktar daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Tüm test yakıtlarında hacimsel olarak atık trafo yağı içeren karışımlardaki ATY miktarının artmasıyla üç farklı yükte de silindir gaz basınç miktarında artış olduğu tespit edilmiştir.

Tüm test edilen yakıtlar için net ısı salınımı değerleri motor yükünün artması ile artmıştır. Atık trafo yağının her bir yük şartlarında ısı salınımı DY göre ısı dağılım başlangıçları da geç olmuştur. Karışım içerisindeki ATY miktarının artması 3.6 kW yükte DY yakıtına göre düşükken, 7kW ve 10.2kW net ısı dağılımlarında bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir.

Dizel yakıtı ve kullanılmış trafo yağı-dizel karışımı yakıtlarının kullanımı ile ortalama gaz sıcaklığının motorun çıkış güçleri ile orantılı olarak net ısı salınımı ve silindir gaz basıncına paralel olarak tüm atık trafo yağı karışımlarında yükseldiği görülmüştür.

Karışım yakıtların kullanımında konvansiyonel dizel yakıtı kullanımına göre özgül yakıt tüketimi düşmüştür. Atık Trafo Yağının özgül yakıt tüketimleri dizel yakıtına göre daha düşük çıkmıştır. Bununla beraber tüm yüklerdeki karışımlar içerisinde hacimsel olarak özgül yakıt tüketiminin en düşük %60ATY karışımında olduğu tespit edilmiştir.

Tüm test yakıtları için motor yükünün artmasıyla efektif verimde bir artış görülmüştür. Atık trafo yağı hacimsel olarak DY göre ortalama olarak %36,5, % %46,4, %47,4, %32,3 oranlarında artmıştır. Bütün yük kademelerinde en düşük efektif verim dizel yakıtı kullanımında elde edilirken; en yüksek verim değerleri ise düşük ve orta yük kademelerinde ATY60, ATY40 karışım yakıtları kullanımında elde edilmiştir. Ayrıca, yakıt karışımlarının içerisinde en düşük efektif verim ATY80 yakıtı kullanıldığında elde edilmiştir ve bu düşüş her yük kademesinde gözlemlenmiştir.

NO_x emisyonları dizel yakıta göre düşük ve yakın değerler alırken, HC emisyon ölçümleri sonucunda ise dizel yakıtına göre ortalama olarak %35, %57, %63 ve %70 oranlarında daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak çevresel açıdan çok büyük tehlike arz eden petrol türevli atık madeni yağlardan olan atık trafo yağlarına ekstra bir maliyet olmaksızın sadece süzme yöntemi kullanarak hacimsel olarak farklı karışımlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılabilecektir.

5.2 Öneriler

Yapılan bu çalışmada kullanılmış trafo yağının direk olarak kullanımının yüksek viskozite probleminden dolayı güç olması nedeniyle dizel yakıtı ile karışımlar halinde kullanılması tercih edilmiştir. Test edilen karışım oranları için elde edilen özellikle düşük yakıt tüketimi ve yüksek efektif verim değerleri dikkate alındığında vizkozite probleminin çözülüp direk olarak denenmesi önem arz etmektedir. Bununla beraber özellikle yanmamış HC emisyonlarında düşüşten dolayı dizel motorlarında yaygın olarak kullanılan biyodizel yakıtları ile karşılaştırma yapılması da önerilen atık trafo yağının alternatif yakıt olarak değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Agarwal, A.K. 2007, Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. Progress in energy and combustion science, 33(3), 233-271.

Alptekin, E., Canakci, M. 2011, Optimization of transesterification for methyl ester production from chicken fat. Fuel, 90(8), 2630-2638.

Alptekin, E., Canakci, M. 2010, Optimization of pretreatment reaction for methyl ester production from chicken fat. Fuel, 89(12), 4035-4039

Abu-Qudais, M., Haddad, O., Qudaisat, M. 2000, The effect of alcohol fumigation on diesel engine performance and emissions. Energy Conversion and Management, 41(4), 389-399.

Astbury, G.R, 2008, A review of the properties and hazards of some alternative fuels, Health and Safety Laboratory, Buxton, Derbyshire SK17 9JN, United Kingdom Process Safety and Environment Protection, 86, 397–414. 6

Agarwal, D., Kumar, L., Agarwal, A. K. 2008, Performance evaluation of a vegetable oil fuelled compression ignition engine. Renewable Energy, 33(6), 1147-1156.

Aktaş, A., Özer, S. 2014, Ham Pirina Yağının Biyodizel Potansiyelinin Arastırılması. SDU Journal of the Faculty of Agriculture, 9(1),

Altın, R., Cetinkaya, S., Yücesu, H.S. 2001, The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. Energy Conversion and Management, 42(5), 529-538.

Anonim, 2011, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Megep, Atık yağlar modülü Yayınları, 850CK0098. Ankara, 2011.

Anonim 2012, T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye'de Atık Yönetimi Sempozyumu, Nisan 2012:24

Anonim 2009, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü PCB ve PCT İçeren Atıkların Yönetimi El Kılavuzu Nisan 2009, 41-48

Acharya S.K., Mohanty M.K. Swain R.K.., 2009, Kusum oil as a fuel for small horse power diesel engine. International Journal of Engineering and Technology, 1(3), 219

Altun, Ş. 2004, Motorin ve susam yağı karışımlarının dizel motorlarda kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 69 sayfa.

Arpa, O., Yumrutaş, R., Argunhan, Z. 2010, Experimental investigation of the effects of diesel-like fuel obtained from waste lubrication oil on engine performance and exhaust emission. Fuel Processing Technology, 91(10), 1241-1249.

Arpa, O., Yumrutaş, R., Kaşka, Ö., 2008, Atık Motor Yağından Elde Edilen Dizel Benzeri Yakıtın Motor Performans ve Egzoz Emisyonu Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'İstanbul.

Aşir, M., 2009, Bazı kaliksaren türevlerinin atık madeni yağların geri kazanımında kullanımı, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 16-26

Aydın, H. 2011, "Atık Taşıt Lastiklerinden Yakıt Üretim ve dizel Motorlarında Kullanımının Araştırılması" Doktora Tezi. Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.

Behera, P., Murugan, S. 2013, Combustion, performance and emission parameters of used transformer oil and its diesel blends in a DI diesel engine. Fuel, 104, 147-154.

Bhaskar, T., Uddin, M. A., Muto, A., Sakata, Y., Omura, Y., Kimura, K., & Kawakami, Y. 2004, Recycling of waste lubricant oil into chemical feedstock or fuel oil over supported iron oxide catalysts. Fuel, 83(1), 9-15.

Behçet, R., Aydın, S., Çakmak, A. 2012, Bitkisel ve Hayvansal Atık Yağlardan Üretilen Biyodizellerin Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanılması, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2(4): 55-62.

Bockhorn, H., Hornung, A., Hornung, U. 1998, Stepwise pyrolysis for raw material recovery from plastic waste. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 46(1), 1-13.

British Petroleum, B. P. 2012, BP Statistical Review of World Energy June 2012. London, UK.

Can, Ö. 2003. Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Dizel Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 80-90.

Chiaramonti, D., Oasmaa, A., Solantausta, Y. 2007, Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(6), 1056-1086.

Çanakçı, M., Van Gerpen, J. 2001, Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. Transactions-American Society of Agricultural Engineers, 44(6), 1429-1436.

Çanakçı, M. 2007, Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel. Bioresource technology, 98(6), 1167-1175.

Çanakçı, M., Sanli, H. 2008, Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties. Journal of İndustrial Microbiology and Biotechnology, 35(5), 431-441.

Çelikten, I., Koca, A., Arslan, M.A. 2010, Comparison of performance and emissions of diesel fuel, rapeseed and soybean oil methyl esters injected at different pressures. Renewable Energy, 35(4), 814-820.

Çukurçayır, M. A., ve Sağır, H. (2008). Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynaklari. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (20), 257-278.

Doğan, O., Çelik, M. B., Özdalyan, B. 2012, The effect of tire derived fuel/diesel fuel blends utilization on diesel engine performance and emissions. Fuel, 95, 340-346.

Daniel, M., Otto, J., Centereach, N.Y., 2004, Method and Apparatous for Recycling Waste Lubrication Oil for Reuse as Fuel, USA Patent No: 5507307.

Deshmukh, S. J., Bhuyar, L. B. 2009. Transesterified Hingan (Balanites) oil as a fuel for compression ignition engines. Biomass and Bioenergy, 33(1), 108-112.

Demirbas, A. 2009, Biofuels securing the planet's future energy needs. Energy Conversion and Management, 50(9), 2239-2249.

Ejder, 2007, Etanol – Dizel, Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel Araştırılması Yüksek Lisans Tezi 503051713

Evans, R.J., Milne, T.A. 1987, Molecular characterization of the pyrolysis of biomass. Energy and Fuels, 1(2), 123-137.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, 2017 yılı Bütçe Sunumu, 8 Aralık 2016, https://goo.gl/ssbmDq

Goering, C.E., Schwab, A.W., Daugherty, M.J., Pryde, E.H., Heakin, A.J. 1982, Fuel properties of eleven vegetable oils. Trans ASAE, 25(6), 1472-1477.

Güven, Ö., Aktaş, T., Kılıç, E. 2010, Türkiye koşullarında üretilen biyodizelin bazı özelliklerinin standartlara uygunluğunun ve yakıt püskürtme miktarı üzerine etkilerinin belirlenmesi. Tekirdağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 7(2):167-177.

Hossain, A.K., Davies, P.A. 2010, Plant oils as fuels for compression ignition engines: a technical review and life-cycle analysis. Renewable Energy, 35(1), 1-13.

Hazar, H., Temizer, İ., Gür, F. 2011, Bir Dizel Motorunun Motor Performansı ve Motor Parçaları Üzerinde Katkı Maddelerinin Etkisinin İncelenmesi. In 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11) pp. 77-83.

Hışır, V. 2009, Bütanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli motorların performans ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması". Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Henham, A.W.E., Johns, R.A., Newnham, S. 1991, Development of a fuel–tolerant diesel for alternative fuels. International Journal of Vehicle Design, 12(3), 296-303.

İpek, O. 1999, Enerji Üretimi ve Kullanımında Çevre Risk Faktörünün Etkinliği. Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi, 3(1), 71-80.

İlkılıç, C., Behçet, R., Aydın, S., Aydın, H. 2009, Dizel motorlarında azot oksitlerin oluşumu ve kontrol yöntemleri, 5. Uluslararası ileri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, 1: 2062-2066.

İlhan, M. 2007, Çift yakıtlı (Dizel-Metanol) bir dizel motorda püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Koç, M., Özil, E, Bilge, ZD. 2011, Biyodizel üretimine uygun Türkiye'de yetişen ve yetişebilecek bitkilerin ve biyodizel teknolojilerinin belirlenmesi. Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Sigma, 29: 449-456.

Karaca, C. 2013, Türkiye'de sürdürülebilir tarım politikaları tarım sektöründe atıl ve yenilenebilir enerji kaynakların değerlendirilmesi. Tarım Ekonomisi Dergisi, 19(1):1-11.

Karagül,E.T,. Kavaz,İ. 2017**,** Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji, Nisan 2017, Seta sayı:197

Kosal, N., Bahairi, A., 1989, Comparative Study of Base Oils Recovered From Fresh and Spent Lubricating Oils, Proceeding of 3rd National Meeting of Chemistry, Dhahran.

Leung, D.Y.C., Koo, B.C.P., Guo, Y. 2006, Degradation of biodiesel under different storage conditions. Bioresource Technology, 97(2), 250-256.

Lazaro, M.J., Moliner, R., Suelves, I., Herod, A.A., Kandiyoti, R. 2001. Characterisation of tars from the co-pyrolysis of waste lubricating oils with coal. Fuel, 80(2), 179-194.

Lapuerta, M., Armas, O., García-Contreras, R. 2009, Effect of ethanol on blending stability and diesel engine emissions. Energy and Fuels, 23(9), 4343-4354.

Monyem, A., Van Gerpen J.H., Canakci M., 2001, The effect of timing and oxidation on emissions from biodiesel fueled engines, T. ASABE., 44(1),35-42.

Mastral, A.M., Callen, M.S., Garcia, T., Navarro, M.V. 2000, Improvement of liquids from coal–tire co-thermolysis. Characterization of the obtained oils. Fuel Processing Technology, 64(1), 135-140.

Murugan, S., Ramaswamy, M.C., Nagarajan, G. 2008, The use of tyre pyrolysis oil in diesel engines. Waste Management, 28(12), 2743-2749.

Mani, M., Subash, C., Nagarajan, G. 2009, Performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil. Applied Thermal Engineering, 29(13), 2738-2744.

Özakta, T., Cığızoğlu, K.B., Karaosmanoglu, F. 1997, Alternative diesel fuel study on four different types of vegetable oils of Turkish origin. Energy Sources, 19(2), 173-181.

Öğüt, H., Oğuz, H., Bacak, S., Aydın, F., Uygun, S., Arslan, Y., Subaşı, İ. 2014, Pelemir biyodizelinin teknik özelliklerinin incelenmesi. Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı, 28-29 Mayıs 2014, Samsun.

Özbozkurt E. 2006, Atıkların Değerlendirilmesi, Bilim ve Teknik Dergisi,

Pritinika, B., 2013, Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology Rourkela -769 008 India

Poutsma, M.L. 2000, Fundamental reactions of free radicals relevant to pyrolysis reactions. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 54(1), 5-35.

Salmani, M.H., Sharma, R.C., Kumar, H., Dhingra, M. 2015, Effect of used transformer oil on efficiency of compression ignition engine. International Journal for Technological Research in Engineering, 2(7), 786-791.

Sugözü, İ., Aksoy, F., Baydır, Ş.A., 2009, Use of Waste Engine Oil as Alternative Fuel in a Diesel Engine, Electronic Journal of Vehicle Technologies, 1(1) 9-16

Sakata, Y., Uddin, M.A., Muto, A. 1999, Degradation of polyethylene and polypropylene into fuel oil by using solid acid and non-acid catalysts. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 51(1), 135-155.

Sekmen, Y. 2007, Karpuz çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterlerinin dizel motorda yakıt olarak kullanılması. Teknoloji, 10(4), 295-302.

Singh, S.P., Singh, D. 2010, Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(1), 200-216.

Sezer, M., 2009, Trafo bakımı ve yalıtım yağı, Çağdaş yayınevi, Balıkesir 89-131.

Şahin, S., 2013, Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Konya.

Tellioğlu, Kadıoğlu, 1996," Enerji Kaynaklarının Kullanımı Ve Çevreye Etkileri", TMMOB 1. Enerjı Sempozyumu-12-14 Kasım 1996, Ankara.

Taymaz, İ., Benli, M., 2009, Metanolün taşıtlarda enerji kaynağı olarak farklı kullanım yöntemlerinin incelenmesi, Makine Mühendisleri Odası, 2. Otomotiv Sempozyumu Bursa, Mühendis ve Makine, 50 (596).

Türkcan, A. Çanakçı, M. Özsezen, A. Sayın, C. 2009, Bir dizel motorda yanma karakteristiklerinin incelenmesi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(1): 110.

Topal, M., ve Arslan, E. I. 2008, Biyokütle enerjisi ve Türkiye. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 17-19.

Tajima, H., Takasaki, K, Nakashima, M., Yanagi, J., Ishida, H, Osafune, S, Iwamoto, K., 2001, Combustion of used lubricating oil in a diesel engine. SAE. paper no. 2001-01-1930

Usta, N., Özer, C., Öztürk, E., 2004, Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11 (3): 325-334

Ullman, T.L., Spreen, K.B., Mason, R.L. 1994, Effects of cetane number, cetane improver, aromatics, and oxygenates on heavy-duty diesel engine emissions (No. 941020). SAE Technical Paper.

Usta, N., Can, Ö., Öztürk, E., 2005, Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel Ve Etanolün Karşılaştırılması Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 11(3): 325-334.

Usta, N., Çelikten, İ., Özer, C., 2004, "Effects of ethanol addition on performance and emissions of an IDI Diesel engine running at different injection pressures", Energy Conversion and Management, 45(15), 2429-2440

Vasudevan, P.T., Briggs., M. 2008, Biodiesel production—current state of the art and challenges. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 35(5), 421.

Yadav, S.P.R., Saravanan, C.G., Kannan, M. 2015, Influence of injection timing on DI diesel engine characteristics fueled with waste transformer oil. Alexandria Engineering Journal, 54(4), 881-888.

Wada, Y. 2003. Waste oil Recyciling System to Produce Diesel Fuels for Ships. Jpn Kokai Tokyo Koho JP, 55, 673-685.

Williams, B.R., 1974, Quality Products from Used Petroleum Oils, Proceeding of the International Conference on Waste Oil Recovery and Reuse, Washington D.C.

www.ayen.com.tr 2017 yılı Faaliyet Raporu

www.enerji.gov.tr 2017

www.teias.gov.tr, www.euas.gov.tr 2017

http://www.tehlikeliatik.com 2017

www.issankimya.com 2017 İSSAN Kimya Atık Madeni Yağ Geri Dönüşümü

www.solver.kimya.com 2007 Atık Madeni Yağlar

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Abdulkerim YILDIZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : BATMAN/Merkez /10.05.1979
Telefon : 05055403077
Faks :
e-mail : Kerimyildiz.7272@gmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Batman End.Mes.Lisesi	Merkez	Batman	1993
Üniversite	:	Fırat Üniv.	Merkez	Elazığ	1999
Yüksek Lisans	:	Batman Üniv.	Merkez	Batman	2017

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1999-2017	Milli Eğitim Bakanlığı	Motorlu Araçlar Tek. Alanı Öğretmeni

UZMANLIK ALANI: Alternatif Enerji Kaynakları

YABANCI DİLLER: İngilizce (Orta Düzey)