

T.C
DİCLE UNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PAMUK YAĞI BİYODİZELİNİN BİR DİZEL MOTORUNDA MOTOR
PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

HÜSEYİN AYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
AĞUSTOS-2007

T.C
DİCLE UNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DIYARBAKIR

HÜSEYİN AYDIN tarafından yapılan “**PAMUK YAĞI BİYODİZELİNİN BİR DİZEL MOTORUNDA MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından MAKİNA EĞİTİMİ Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı Adı Soyadı

Başkan: Yrd. Doç. Dr. M. Zahir DÜZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Orhan ÇAKIR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan BAYINDIR

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 17/09/2007

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../2007

Prof. Dr. Necmettin PİRİNÇÇİOĞLU

ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca önemli yardım ve katkılarıyla bana rehberlik eden, çalışmalarım için bana gerekli koşulları sağlayan, tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hasan BAYINDIR'a,

Ayrıca çalışmalarım sırasında bana gereken kolaylığı sağlayan B.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Mehmet BAŞHAN'a

Teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR

İÇİNDEKİLER

AMAÇ.....	i
ÖZET.....	ii
SUMMARY.....	iii
1.GİRİŞ.....	1
2.BİYODİZEL.....	1
2.1. Motor Yakıtı Olarak Biyodizel.....	1
2.2. Biyodizel Üretimi.....	2
2.3. Transesterifikasyon.....	5
3.BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİ.....	5
3.1. Viskozite.....	6
3.2. Yoğunluk.....	6
3.3. Setan Sayısı.....	7
3.4. Isıl Değer.....	7
3.5. Akma Ve Bulutlanma Noktaları.....	7
3.6. Akış Özellikleri.....	8
3.7. Parlama Noktası.....	8
3.8. Anilin Noktası.....	8
3.9. İyot Sayısı.....	8
4. Biyodizelin Avantajları.....	8
5. Biyodizelin Dezavantajları.....	9
6. Dünyada Biyodizel.....	11
7. Avrupa Ülkelerinde Biyodizel.....	12
8. Türkiye’de Biyodizel.....	14
9. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	17
10. MATERYAL VE METOD.....	25
10.1. Deneylerde Kullanılan Motorun Teknik Özellikleri.....	25
10.2. Egzoz gazı analiz cihazı.....	25
10.3. Motor Test Cihazı (dinamometre).....	26
10.4. Hesaplanan Büyüklükler.....	28
10.4.1. Özgül Yakıt Tüketimi.....	28

10.4.2.Ortalama Efektif Basınç.....	29
10.4.3.Termik Verim.....	29
10.4.4.Efektif Verim.....	29
11.DENEYİN YAPILIŞI.....	30
12.DENEYSEL SONUÇLAR	31
12.1.MOTOR PERFORMANSI.....	31
12.1.1.Motor momenti.....	31
12.1.2.Motor Gücü.....	34
12.1.3.Özgül yakıt Tüketimi.....	36
12.1.4.Termik Verim	38
12.1.5.Efektif Verim	40
12.1.6.Ortalama Efektif Basınç.....	41
12.1.7.Egzoz Gazı Sıcaklığı.....	43
12.2.EGZOZ EMİSYONLARI.....	46
12.2.1.CO(Karbon Monoksit) Emisyonları.....	46
12.2.2.NO _x (Azot Oksit) Emisyonları.....	48
12.2.3.SO ₂ (Kükürtdioksit) Emisyonları.....	49
12.2.4.O ₂ Emisyonu.....	50
SONUÇ.....	52
KAYNAKLAR.....	55
TABLolar DİZİNİ.....	61
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	62
RESİMLER DİZİNİ.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	65

AMAÇ

Bu çalışmanın amacı, dizel motorlarda biyodizel kullanımı ile ilgili bugüne kadar yapılmış çalışmaların bir özetini sunmak ve ayrıca pamuk yağı metil esterinin(PYME) bir dizel motorunda motorun performans parametreleri ve egzoz emisyonlarına etkilerini ortaya çıkarmaktır. Yapılan çalışmalarda genellikle değişik oranlardaki biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri araştırılmıştır.

Motor performansı karakteristikleri belirlenirken biyodizel karışımlarının motor gücü, motor momenti, ısı verim, hacimsel verim, özgül yakıt tüketimi vb. parametreler üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmış ve değişen bu parametrelerin her birinin motorun farklı çalışma koşullarında deney sonuçları üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Farklı çalışma koşullarında, biyodizel ve değişik oranlardaki biyodizel-dizel yakıtı karışımları ile yapılan çalışmalarda egzoz emisyonu karakteristikleri belirlenirken CO, NO_x, SO₂ ve O₂ emisyonlarının değişimi gözlemlenmiştir.

Çalışmalarda ortak amaç en uygun biyodizel-dizel yakıtı karışım oranı ve en iyi çalışma koşullarını tespit etmek olmuştur. Biyodizelin, dizel yakıt kullanan motorlarda herhangi bir teknik değişiklik yapılmaksızın veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilirliği araştırma konusudur.

ÖZET

Teknolojideki gelişmeler sonucu artan teknolojik araç kullanımı ülkelerin enerjiye olan ihtiyaçlarını da giderek artırmaktadır. Diğer taraftan var olan enerji kaynaklarının da sınırlı olması enerjinin birim fiyatını artırmaktadır. Bu enerji kaynaklarından biri olan petrolün yakın bir zamanda tükenecek olması petrole alternatif olabilecek kaynaklar üzerinde araştırmaları yoğunlaştırmaktadır.

Biyoyakıtlar yenilenebilir olması ve çevreye zararlı gaz yayılımının az olması nedeni ile petrole alternatif olarak giderek daha çok kullanılmaktadır.

Bu çalışmada pamuk yağının metil esteri, hacimsel olarak %5, %20, ve %50 oranlarında motorine katılarak tek silindirli, direkt püskürtmeli, hava ile soğutmalı bir dizel motorda denenmiştir. Deneylerde pamuk yağı metil esteri-motorin biyodizellerinin motor performans parametrelerine ve egzoz emisyonlarına etkileri farklı devir ve farklı yük durumları için tespit edilmiştir.

Performans deneylerinde B5, B20, B50 ve D2 yakıtlarında motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz gazı sıcaklık değerleri tespit edilmiş ve ayrıca ısı verim, efektif verim ve ortalama efektif basınç değerleri de hesaplanmıştır. Emisyon deneylerinde ise bu yakıtların kullanımında CO(Karbon Monoksit), NO_x (Azot Oksit), SO₂(Kükürt Dioksit) ve O₂ emisyonları tespit edilmiştir. Bütün deneyler hem tam yük-değişken devir, hem de sabit devir farklı yüklerde yapılmıştır.

SUMMARY

As a result of technological developments, with the further use of technological devices, the countries energy demands are gradually increasing. On the other hand, because of the limited energy sources, the energy prices are increasing as well. Because the petroleum, one of the energy sources, will be used up at near future, researches on the alternative energy sources becoming more attractive.

As biofuels are renewable and reduces gasses emissions, they are used as alternative to petroleum fuels increasingly.

In this study, cotton oil methyl esters were added to diesel fuel by volume 5%, 20% and 50%. Blends were used in a one cylinder, direct injection, air cooled diesel engine. In experiments the effects of cotton oil methyl ester-diesel blend fuel on the engine performance and exhaust emissions were investigated at various engine speeds and different loaded engine.

At the performance tests, effects of B5, B20, B50 and D2 usage on the engine power, engine torque, bsfc's and exhaust gasses temperature were clarified. Thermal efficiency, effective efficiency, and mean effective pressure (MEP) were calculated as well. At the emission tests, the effects of blends on CO, NO_x, SO₂ and O₂ emissions were experimented. All experiments are carried out at full loaded engine with various engine speeds and at different loaded engine with constant engine speed.

1. GİRİŞ

Biyodizel çevresel yararları sayesinde son yıllarda giderek artan bir dikkat çekmektedir. Petrol fiyatlarındaki artış ve petrolün yeteri kadar bulunamaması nedeni ile biyodizel dizel motorları için yeniden ilgi odağı haline gelmiştir. Biyodizel gibi alternatif enerji kaynakları üzerindeki araştırmalar giderek önem kazanmaktadır.

Yaklaşık 100 yıl önce ünlü mucit Rudolf Diesel ilk dizel motoru tasarlamış olup bu motoru bitkisel yağla çalıştırmıştır. 1900 de Paris'teki bir sergide fıstık yağı kullanarak çalıştırdığı dizel motorunu sergilemiştir[A. Demirbaş, 2003]. Biyodizeller arasında soya yağı, kolza, ayçiçeği yağı ve pamuk yağı gibi yağlardan üretilen biyodizeller birçok nedenle büyük ilgi çekmektedir. Bu tür biyodizeller motorda fazla yapı değişikliği yapmadan kullanılabilir. Motor gücü ve performansında çok az bir düşüş olmakta, sülfat emisyonu neredeyse sıfır olmakta ve karbondioksit yanma sonucunda artmakta dolayısıyla dizel motoruna göre besin zincirini olumsuz etkileyecek emisyonlar azalmaktadır. Bu nedenlerle biyodizel kullanımı giderek daha yaygın hale gelmektedir.

2. BİYODİZEL

Biyodizel, kanola(kolza), aspir, soya, pamuk, ayçiçeği, keten tohumu, yerbıstığı, fındık yağı, palmye yağı ve bıtım yağı gibi bitkisel yağlardan, bunun yanı sıra bitkisel veya hayvansal atık yağlardan (evsel ve sanayi kaynaklı atık yağlar) ve hayvansal yağlardan (balık yağı, tavuk yağı gibi) transesterifikasyon ile üretilen yağ esterleridir. Dizel motorlarda yakıt olarak kullanıldığı ve ayrıca daha çok bitkisel yağlardan elde edildiği için "Biyodizel" adını almaktadır.

2.1. Motor Yakıtı Olarak Biyodizel

Birçok çalışma [Hofman V, 2003] biyodizelin dizel motorlarında uzun bir zaman kullanılabilirliğini göstermektedir. Misovri ve Idaho gibi birçok bölgeden araştırmacılar biyodizel-dizel yakıtının farklı karışımlarını traktörlerde, kamyonlarda ve şehir otobüslerinde kullanmışlardır. Bu karışımlar 2/98 % (B2), 20/80 % (B20) ve 100 % (B100)'e kadar farklı oranlarda olmaktadır.

Biyodizel daha düşük sıcaklıklarda dizel yakıtı(D2)'na göre daha fazla kalınlaşmaktadır. Ancak akma noktasını düşürücü katıklar bulunmaktadır. Ayrıca akıcılığın soğuk iklimlerde devam edebilmesi için yakıt tankına bir ısıtıcı da konulabilir. Bir biyodizel karışım yakıtı %100 biyodizelden daha düşük bir akma noktasına sahiptir. Ancak bahsedilen önlemler alınmazsa gresleşme problemi yine ortaya çıkacaktır. Tablo.1 Idaho üniversitesindeki motor deneylerinin bir özetini göstermektedir. Bu testler B100 ve B20 kolza yağı metil esterleriyle yapılmıştır [Hofman V, 2003].

Tablo.1. Idaho üniversitesinde yapılan emisyon testi sonuçları [Hofman V, 2003].

Emisyon	100% Ester yakıt (B100) (%)	20/80 Kar. (B20) (%)
Hidrokarbon	-52.4	-19.0
Karbon monoksit	-47.6	-26.1
Azot oksit	-10.0	-3.7
Karbondioksit	0.9	0.7
Partikül madde	9.9	-2.8

Etil ve metil esterler neredeyse aynı ısı değerine sahiptirler. Etil esterlerin viskozitesi biraz daha yüksek, bulutlanma ve akma noktaları biraz daha düşük ve birçok motor deneyine göre güç ve moment değerleri metil estere göre daha düşük çıkmaktadır [A. Demirbas, 2003].

2.2. Biyodizel Üretimi

Bitkisel yağların enerji içerikleri fosil kökenli dizel yakıtları ile hemen hemen aynı düzeydedir. Ancak dizel yakıtına göre viskozite değerleri 10–20 kat daha fazladır. Bu yüksek viskozite enjektörlerde tıkanma, soğuk havalarda motorun ilk çalıştırılmasında problem ve motor ömrünün kısalması gibi pek çok olumsuzluklara neden olabilmektedir. Bitkisel yağların motorlarda yakıt olarak kullanılabilmesinde; motorun bitkisel yağa uygun hale getirilmesi ya da, yakıtın motora uygun hale getirilmesi seçenekleri söz konusudur.

Direkt püskürtmeli dizel motorlarda, yarı rafine edilmiş yağlar, motorinle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir. Bitkisel yağların dizel motorlarda

doğrudan kullanılabilmesi, ancak bu amaç için tasarlanmış, türbülans prensibiyle çalışan, özel yanma odalı motorlarla mümkün olabilmektedir. Nitekim; Deuts firması tarafından geliştirilmiş olan ön yanma odalı püskürtmeli ve türbülans prensibiyle çalışan motorlarda saf bitkisel yağlar, sorunsuz olarak kullanılabilir. Söz konusu motorlar, normal dizel motorlardan %6 daha fazla yakıt tüketmekle beraber güçlü ve güvenilir. Yakıt tüketimi direkt püskürtmeli motorlara göre %5-20 kadar daha yüksektir. Bu alandaki diğer bir seçenekte John Dere firmasına ait, bitkisel yağların da kapsamda olduğu çeşitli yakıtlarla çalışabilen Wankel motorudur.

Bitkisel yağlar saf olarak, giderek yaygınlaşan direkt püskürtmeli motorlarda kullanılamamaktadır. Çünkü kısa bir çalışma süresini müteakip, yağ bozulmakta ve uzun sürede de motorun ilgili kısımlarında kalıntılar oluşmaktadır.

Direkt püskürtmeli motorlarda, bitkisel yağların doğrudan yakıt olarak kullanılmasında ana sorun; enjektörler, yanma odası, piston ve supaplarda meydana gelen kalıntılardır. Bu kalıntılar, zamanla motorda güç kaybına ve arızalara sebep olmaktadır. Kalıntıların oluşmasının ana sebebi bitkisel yağın viskozitesinin ve karbon içeriğinin, petrodizel ve bitkisel yağ esterine (biyodizel) göre yüksek olmasındandır. Petrodizelde %0,015 olan karbon artığı miktarı kolza yağında %0,25 iken kolza biyodizeline bu değer %0,02' ye kadar inmektedir.

Günümüzde uygulamada direkt püskürtmeli motorların yaygın olduğu düşünülürse bitkisel yağlara gerekli kimyasal işlemler uygulanmadan bu tip motorlarda yakıt olarak kullanılmasının uygun olmayacağı anlaşılabilir. Kolza biyodizelinin, yakıt olarak kullanıldığı tarım traktörü motorlarında yağlama yağının seyrelmesi sorunuyla karşılaşılabilir. Kolza biyodizelinin motor yağına geçmesi sonucunda yağlama yetersiz hale gelmekte, piston üst yüzeyi, segman ve supaplarda sakızlaşma meydana gelmektedir. Bu durum, kullanım süresi, motor tipi, yanma odasının yapısı, püskürtme şekli ve püskürtme zamanına bağlıdır. Biyodizelin neden olabileceği seyrelme sorununu, motor yağı değiştirme aralığı azaltmaktadır.

Bu nedenle; bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir. Bu amaçla uygulanan yöntemler:

-Seyreltme,

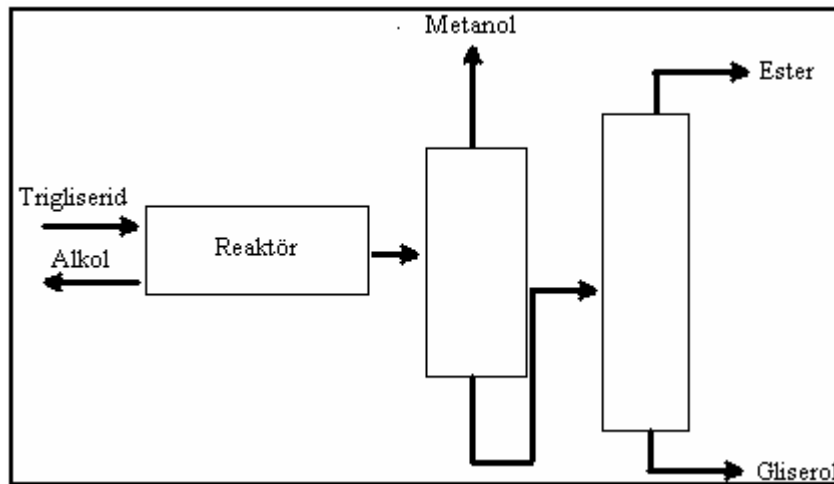
- Mikro emülsiyon oluşturma,
- piroliz,
- Süper kritik yöntem,
- Transesterifikasyon'dur.

Seyreltme yönteminde, bitkisel yağlar dizel yakıtı ile belli oranlarda karıştırılarak seyreltilmekte, böyle viskozite belirli oranlarda düşürülmektedir. Seyreltme yöntemi uygulamalarında, en çok tercih edilen bitkisel yağlara örnek olarak, ay çiçek yağı, soya yağı, aspir yağı, kolza yağı yer fıstığı yağı ve kullanılmış kızartma atık yağları kullanılmaktadır(Oğuz ve ark.2000).

Mikro emülsiyon oluşturma yöntemi; metil ve etil alkol gibi kısa zincirli alkollerle bitkisel yağın mikro emülsiyon haline getirilmesinden ibarettir. Bu yöntemin sakıncası alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle emülsiyonunda setan sayısının düşük olması ve düşük sıcaklıklarda karışımının ayrışma eğilimi göstermesidir.

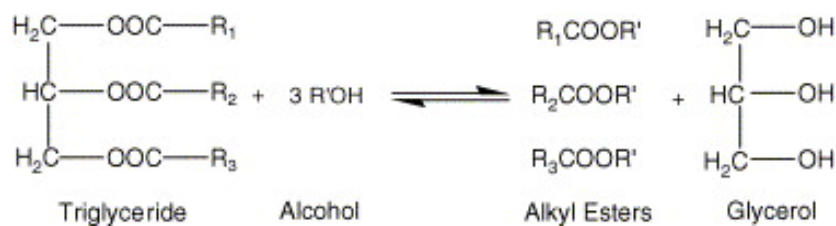
Piroliz yönteminde, moleküller yüksek sıcaklıkta daha küçük moleküllere parçalanmaktadır. Bu yöntem sayesinde viskozite oldukça düşürülmekte fakat işlem ilave masraf gerektirmektedir.

Süper Kritik Yönteminde işlem, transesterifikasyon yönteminden farklı olarak katalizör kullanmadan 350 °C gibi yüksek sıcaklıklarda, 240 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleşmektedir.



Sekil 1. Süper Kritik Yöntem ile Biyodizel Üretimi

2.3. Transesterifikasyon



Şekil 2. Trigliseridlerin alkollerle Transesterifikasyonu(J. Jitputti ve ark., 2005).

Biyodizel üretiminin çeşitli metotları olmakla birlikte günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Transesterifikasyon; yağ asitlerinin (bitkisel yağlar, evsel atık yağlar, hayvansal yağlar) bazik bir katalizör eşliğinde alkol (metanol, etanol vb.) ile esterleşme reaksiyonudur.

3. BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİ

Dizel motorlarında sağlıklı bir yanma için, yakıtın atomizasyonu çok önemlidir. Yakıtın pülverize edilebilmesinde viskozite belirleyici bir etkidir. Bitkisel yağlar motorine göre çok daha kalın olmaları nedeniyle direk kullanılamazlar.

Tablo 2. Bitkisel Yağların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri(C.Kaya, 2006).

Bitkisel Yağ	Isıl Değer Kj/kg	Kinematik Viskozite mm ² /sn (40 °C)	Yoğunluk (15°C)	Parlama Noktası °C	Akma Noktası °C	Bulutlanma noktası	% C
Yer fıstığı	39964	22.72	0.8880	198	-6	0	70.002
Pamuk	39173	27.02	0.8830	218	-17	-1	72.7005
Aspir	39772	28.33	0.9050	226	-14	-2	67.2242
Kanola	40123	31.23	0.9030	234	-30	-14	72.3939
Susam	39445	25.78	0.8990	245	-10	1	68.9628
Keten	39552	26.61	0.9180	226	-30	-6	67.2569
Soya	40115	28.08	0.9050	242	-18	-4	71.2397
Ayçiçeği	39827	31.52	0.9060	262	-18	-7	53.9418

Tablo 3. Biyodizellerin Yakıt Özellikleri(C.Kaya, 2006).

Biyodizel	Isıl Değer KJ/kg	Yoğunluk (15 °C)	Parlama Noktası (°C)	Kinematik viskozite (40 °C)	Akma Noktası(°C)	Bulutlanma Noktası(°C)	% C	Ester Verimi %	Anilin Noktası (°C)	Setan Sayısı
Yer fıstığı	40099	0.8485	166	4.42	-8	0	62	79	152	53.59
Pamuk	40201	0.8558	127	3.63	-20	-9	60	91	156	52.05
Aspir	40258	0.8703	187	3.90	-24	-5	59	89	171	53.14
Kanola	39876	0.8652	208	3.95	-30	-13	63	96	175	56.07
Susam	40397	0.8672	170	4.20	-14	-6	62	69	161	50.48
Keten	39952	0.8842	136	4.35	-30	-11	70	84	159	45.41
Soya	40535	0.9633	174	4.17	-20	-9	66	87	149	46.98
Ayçiçek	39649	0.8740	171	4.60	-19	-6	62	81	154	46.80
D2	42900	0.82-0.86	>55	2.5-3.5	-33	-16	-	-	-	49-55

3.1. Viskozite

Sıvıların akmaya karşı göstermiş oldukları dirençtir. Sıvıların kalın ya da ince oluşunu sayısal olarak ifade eden bir göstergedir. Sıcaklık arttıkça bir sıvının viskozitesi azalır. Sıvılar ısıtıldıkça daha kolay akar. Bir viskozite değerinin anlam ifade edebilmesi için daima hangi sıcaklıkta olduğunun belirtilmesi gerekir. En çok kullanılan viskozite birimleri : Centistoke cSt. (santi stok) mm²/s., Engler derecesi, Centipoise cp (santipuz), Redwood seconds, Saybolt Seconds.

Dizel motorlarında kullanılan yakıtın viskozitesinin yüksek olması istenmeyen bir durumdur. Yüksek viskoziteye sahip bir yakıt enjektörden daha iri tanecikleri halinde püskürtülür. Dolayısıyla iyi atomize olmamış bir yakıt yanmanın kötüleşmesine ve dolayısıyla motor performansının azalmazına sebebiyet vermektedir. Bununla beraber yüksek viskoziteli bir yakıtta pompa plancırına yeteri kadar yakıt dolmadığından motorun hacimsel verimi düşmekte ve sonuç olarak motor gücü ve momentinde bir azalma meydana gelebilmektedir.

3.2. Yoğunluk

Bitkisel kökenli yağlardan elde edilen biyodizel yakıtların yoğunlukları dizel yakıtına yakın olmakla birlikte biraz daha fazladır. Biyodizellerin motorine göre daha

yüksek yoğunluğa sahip olması nedeniyle pompadan gönderilen yakıt miktarı azalmakta sonuç olarak motorun hacimsel veriminde bir düşüş görülmektedir.

3.3. Setan Sayısı

Bir yakıtın kendi kendine tutuşma kabiliyetini gösteren ölçüdür. setan sayısı dizel motorlarında yanmanın seyrine etki eden en önemli parametrelerden biridir. Yakıtın vuruntuya karşı direncini gösterir. Oktan sayısı gibi ölçülebilen bir özelliktir. Setan sayısı yüksek olan yakıtlarda tutuşma gecikmesi periyodu kısalmır ve sonuçta yanma düzenli bir şekilde devam eder. Setan sayısı düşük olan yakıtlarda tutuşma gecikmesi safhası uzar. Dolaysı ile bu safhada püskürtülen yakıt miktarı da artar. Yanmanın başlaması ile birlikte bu safhada püskürtülen yakıtın tamamı bir anda yanma başlar. Sonuç olarak silindir içerisinde ani bir basınç artışı meydana gelir. Bu ani basınç artışı motor parçalarına etki ederek motorun gürültülü çalışmasına ve yanmanın kötüleşmesine sebebiyet vermektedir. Bu durumu Dizel Vuruntusu adı verilmektedir. Sonuç ta vuruntulu çalışan bir motorda; güç kaybı, ilk harekette zorlanma, karbon birikintisi, motorun geç ısınması, fazla yakıt tüketimi gibi aksaklıklar meydana gelebilmektedir.

3.4. Isıl Değer

Bir yakıtın ısı değeri ne kadar yüksek ise yakıttan yanma sonucu elde edilebilecek enerji miktarı da o kadar artar[Heywood, 1988].

Genel olarak bitkisel yağlardan elde edilen biyodizellerin ısı değeri petrol türevi dizel yakıtından daha düşüktür. Bu nedenle biyodizel kullanımında aynı gücü elde edebilmek için tüketilen yakıt miktarı daha fazla olmaktadır. Dolaysıyla özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Biyodizel yakıtlarının ısı değerinin motorine nazaran daha düşük olması ayrıca motorun termik veriminin düşüş göstermesine sebebiyet vermektedir.

3.5. Akma Ve Bulutlanma Noktaları

Akma noktası yakıtın akmaya devam edebildiği en düşük sıcaklık noktasıdır. Bulutlanma noktası ise yakıtın jelleşmeye başladığı noktayı ifade eder. Akma ve bulutlanma noktaları yakıtın soğuk iklimlerde kullanılabilirliği hakkında bize fikir verir. Bazı biyodizel yakıtlarda akma ve bulutlanma noktaları motorine göre daha yüksektir. Bu durum bu yakıtların kullanımında özellikle kış aylarında olumsuz etkileyebilmektedir.

3.6. Akış Özellikleri

Akma noktasının yüksek olmasından dolayı biyodizel yakıtlarda soğuk iklimlerde yakıt akışının düzensizleşmesine ve dolayısıyla motorun düzensiz çalışmasına sebebiyet vermektedir.

3.7. Parlama Noktası

Parlama noktasının yanma üzerine herhangi önemli bir etkisi yoktur. Ancak yakıtın depolama ve taşınma emniyetini gösteren bir özelliktir. Parlama noktası petrol kökenli motorine nazaran çok daha yüksek olan biyodizellerin taşınma ve depolanmaları sırasında emniyetlidirler. Parlama noktası bir sıvının bir alev cephesiyle karşılaştığında alev almaya başladığı noktadır.

3.8. Anilin Noktası

Birim hacim için bir anilin ile bir baz yağ veya yakıtın tam olarak karıştığı en düşük sıcaklık noktasıdır. Baz yağ yada yakıt içerişindeki aromatik ve naftanik yapıdaki kimyasalların toplam miktarını tahmin etmeye yarar. Aromatik ve naftanik yapıdaki kimyasal içeriği fazla olan baz yağların anilin noktaları düşüktür. Birimi sıcaklık birimleri olan °C veya °F'dır

3.9. İyot Sayısı

Yağın toplam doymamışlığının bir sembolü olan iyot sayısı bitkisel yağların özelliği ve çift bağ sayısına göre değişmektedir [Kaya, 2006]. Yüksek iyot sayılı yakıtlar enjektör deliklerinde tıkanmalara, yanma odasında polimerleşmeye ve hasara sebep olabilmektedir. İyot sayısı için uluslararası standartlar 120–130 arasında değişmektedir.

4. Biyodizelin Avantajları

[C. Carraretto ve ark., 2004]'e göre konvansiyonel dizel motorlarında güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi, petrol türevi dizel yakıtı gibi performans ve kararlı çalışma sağlayabilmesi biyodizelin avantajlarındanıdır.

Kendi kendine tutuşmaz ve toksik özelliği yoktur ve egzoz emisyonları daha azdır [N. Chand, 2002].

Biyodizelin teknik özelliklerinden birkaç tanesi şöyle sıralanmaktadır;

1. Motorlarda uzun süreli kullanıma uygun olması ve motorun bakıma olan ihtiyacının azalmasını sağlar. Biyodizel petrol türevi dizelden daha iyi yağlama özelliğine sahiptir.
2. Kullanımı güvenli daha az toksik, parlama noktası yüksek ve sürdürülebilir bir yakıt kaynağıdır.
3. Biyodizeller egzoz emisyonlarını düşürür. NO_x ve CO₂ bazı egzoz emisyonlarını da arttırabilmektedir [D.A. Wardle, 2003].

Biyodizel %100 natürel, temiz ve verimli bir alternatif yakıttır. Biyodizel dizel yakıtına göre sülfür içeriği daha az parlama noktası daha yüksek ve aromatik içeriği daha yüksektir [Martini N and Schell S, 1997].

5. Biyodizelin Dezavantajları

Biyodizelin fosil kökenli dizel yakıtına göre bazı teknik dezavantajları soğuk iklimlerde donması, enerji içeriğinin daha düşük olması ve uzun periyotlarda depo edildiği zaman jelleşmesidir. Biyodizel bu dezavantajlarıyla yakıt tankında ve özellikle yakıt filtrelerinde bir katman oluşturmakta ve filtrelerin tıkanmasına sebep olmaktadır. Fakat bu durum büyük bir problem oluşturmamaktadır. Filtrelerin ve yakıt pompasının düzenli bir şekilde bakıma alınması bu problemi ortadan kaldıracaktır [D.A. Wardle, 2003].

Bitkisel yağların veya bitkisel yağ karışımlarının direkt olarak dizel motorlarında kullanılması genellikle uygulanabilir olmamıştır. Yüksek viskozite, asit içeriği, serbest yağ asidi içeriği, oksidasyon ve polimerleşme nedeniyle reçine teşekküllü (depolama ve yanma sırasında), karbon birikintisi ve yağlama yağını kalınlaştırması belli başlı problemlerdir [F. Ma and M.A. Hanna, 1999].

Tablo.4 Bitkisel yağların dizel motorlarında olduğu gibi kullanılmasında Bilinen problemler ve olası çözümler [F. Ma and M.A. Hanna, 1999].

Problem	Olası Nedenleri
Kısa Vadede	
1- soğukta ilk hareket zorluğu	Yüksek viskozite, düşük setan sayısı, düşük alevlenme noktası
2- filtreleri tıkanması, reçineleşme yakıt borularında ve enjektörlerde tıkanma	Reçine teşekküllü, Yüksek iyot sayısı
3- motor vuruntusu	Bazı yağların çok düşük setan sayısı, yanlış püskürtme zamanı
Uzun Vadede	
4- enjektörün piston başına ve üst karterde kurum bağlaması.	Yüksek viskozite, tamamlanmamış yanma ve kötü yanma koşulları
5- karbon birikintisi	Bitkisel yağların yüksek viskoziteli olması eksik yanma ve kötü yanma koşulları.
6- motorda fazla aşınma ve contanın aşınması.	Asit içeriği
8- polimerleşme nedeniyle yağlama yağının bozulması	Yanmamış bitkisel yağın krank mili yataklarından yağlanma yağlarına karışması.

Bitki yağlarının ve özellikle hayvan yağlarının kullanılmasının diğer dezavantajları yüksek viskozite, motorlarda yetersiz yanmadan ileri gelen birikmelere neden olan düşük uçuculuk ve uygun olmayan buharlaşma özellikleridir. Bu sorunlar büyük trigliserit molekülü ve yüksek molekül ağırlığıyla ilişkilidir. Yağa ve kullanım koşullarına göre motor modifiye edilerek halledilebilir. Modifiye edilmiş motorlar Almanya ve Malezya'da Elsbett tarafından, Almanya ve ABD'de diesel morten und Geraetebau GmbH (DMS) tarafından yapılmakta, bu motorlar değişik bileşimli ve dereceli bitki yağlarıyla çalıştırıldıklarında iyi bir performans göstermektedir [Raymond R. Tan, Avlin B.Culaba, Michael R. I. Purvis, 2004].

Ayrıca, biyodizelin sudaki canlılara karşı herhangi bir toksit etkisi yoktur. Buna karşılık 1 litre ham petrol 1 milyon litre içme suyunun kirlenmesine neden olabilmektedir. Biyodizel mevcut yakıt dağıtım zinciri vasıtasıyla tüketiciye ulaşabilir, kısa ve orta vadede uygulamaya aktarılabilir. Büyük ölçekli yapısal yatırım gerektirmez, biyodizel üretiminin yaygınlaşması, kırsal kalkınmaya doğrudan yansıtılabilir.

6. Dünyada Biyodizel

Şu an itibariyle, çoğu büyük ülkeler başta olmak üzere 36'yı aşkın ülkede biyodizel üretimi söz konusudur. 1980'li yıllar ile birlikte özellikle Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde küçük çapta da olsa biyodizel üretimine başlanmıştır. Başlangıçta biyodizel için belli bir norm olamaması ve üretimin şimdikilere göre ilkel sayılabilecek şekilde yapılması sonucunda pek kaliteli olmayan biyodizel üretilmiştir. Daha sonra gelişen biyodizel teknolojisi ve biyodizele bir standart getirilmesi ile üstün kalitede biyodizel üretilmiştir. Günümüzde yapılan araştırmalar, incelemeler ve deneyler sonucunda biyodizel için Almanya'da DIN 51606 ve A.B.D.'de soya bitkisinden elde edilen biyodizel için ASTM' nin normları mevcuttur. Bu normlara uygun üretilmiş biyodizel sorunsuz şekilde kullanılmaktadır. Şu an itibariyle, çoğu büyük ülkeler başta olmak üzere 36'yı aşkın ülkede biyodizel üretimi söz konusudur.

Yapılan planlamalara göre Almanya'da 2005 yılında dizel ihtiyacının %2,2 kadarı biyodizel ile karşılanacaktır. Bu oranın 2010 yılına kadar belirli oranlarda artırılarak % 10 ve üstü seviyelere çıkarılması hedeflenmiştir. Almanya için biyodizel geçerli norm DIN 51606 sayılı normdur. Avusturya'da biyodizelin petrol kaynaklı ile % 2 oranında karıştırılması devlet tarafından tavsiye edilmektedir. Ayrıca Avusturya ve Almanya'da biyodizel için fosil yakıt vergisi alınmamaktadır.

Çek cumhuriyetinde irili ufaklı işletmelerde ve benzin istasyonlarında % 30 biyodizel + % 70 motorin karışımı bionafta adı ile daha ucuza satışa sunulmaktadır.

Fransa'da ise benzin istasyonlarında %5 biyodizel + % 95 motorin karışımı kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Bu % 5'lik kısım fosil yakıt vergisinden muaf ve her yıl bu oran arttırılmaktadır.

İtalya'da 1999 yılına kadar 125.000 ton 7 yıl vergiden muaf bir kota bulunmaktaydı. İtalya hükümetinin 100.000'den fazla nüfuslu belediyelerinin kullandığı araçlarda alternatif enerji kaynaklı yakıtlarının kullanımı tavsiyesi bulunmaktadır.

Yapılan planlara göre 2010 yılında A.B.D.'de enerji ihtiyacının %30'u alternatif enerji kaynaklarından karşılanacaktır. A.B.D.'de özellikle soya bitkisinin yağından

biyodizel üretimi söz konusudur. ASTM kuruluşunun normlarına uygun biyodizel araçlarda yakıt olarak sorunsuz bir şekilde kullanılabilir.

7. Avrupa Ülkelerinde Biyodizel

Avrupa'da en önemli biyoyakıt biyodizeldir. Biyodizel Avrupa'da üretilen biyoyakıtlar arasında en fazla paya sahip olup. Biyoyakıt tüketiminin % 82' sini teşkil etmektedir[K. Bozbaş,2004].

2003 yılında dünyanın toplam biyodizel üretimi 18 milyar litre civarındadır [L. Fulton, T. Howes and J. Hardy, 2004].

Tablo.5 2002, 2003, 2004 ve 2005 yıllarında Avrupa birliğindeki toplam biyodizel üretimi göstermektedir. Biyodizel üretiminde Avrupa birliği ülkeleri arasında Almanya başı çekmektedir. Almanya'yı Fransa ve İtalya takip etmektedir. Avrupa ve İtalya'da yasal düzenlemeler sayesinde biyodizel üretimi teşvik edilmektedir [EC, 2004].

Tablo 5. EU-25 ülkelerinin biyodizel üretimi (ton) [EC,2004 ve USDA, 2005].

Ülke	2002	2003	2004	2005
Almanya	450,000	715,000	1.088.000	1.345.000
Fransa	366,000	357,000	502,000	805,000
İtalya	210,000	273,000	419,000	617,000
Çek cumhuriyet	68,800	70,000	47,000	56,000
Danimarka	10,000	41,000	44,000	67,000
Avusturya	25,000	32,000	100,000	145,000
İngiltere	3,000	9,000	15,000	23,000
İspanya	–	6,000	70,000	180,000
İsveç	1,000	1,000	8,000	25,000
Polonya	–	–	1,200	2,500
Macaristan	–	–	2,000	3,600
Toplam (EU–25)	1.133.800	1.504.000	2.296.200	3.269.100

Biyodizel üretimi için Avrupa birliğinde 1,4 milyon hektar ekilebilir alan kullanılmaktadır. 2004 yılı itibariyle Avrupa birliğinde 40'a yakın üretim tesisi bulunmakta ve bu sayı giderek artmaktadır. Bu tesisler genel olarak Almanya, Fransa, İtalya, Çek Cumhuriyeti ve Avusturya'da bulunmaktadır [AMFI, 2004].

2003 yılına kadar Almanya'da B100 kullanımı yaygındı. 2004 yılından sonra biyodizel ve dizel karışımı yakıtlar Almanya'da piyasaya sürülmüştür. Fransa'da biyodizel üretimi 1992 yılında başlamış olup çok hızlı bir şekilde artmıştır. Almanya'ya nazaran Fransa B100 yerine daha çok B5 ve B30 yakıtlarını kullanmaktadır [R. Brand, 2004]. 2006 yılında E21M biyodizel tesisi kurulmuş olup bu tesisin kapasitesi yılda 250 bin ton biyodizeldir. Bu tesis kolza yağı, palmye yağı ve soya yağı gibi yenilenebilir kaynaklardan biyodizel üretmektedir. Proje Avusturya'nın Energea teknoloji lisansını kullanmaktadır. Bu teknoloji ile çok daha verimli ve ucuz biyodizel üretimi yapılmaktadır [AMFI, 2004].

Avrupa birliğinin en önemli enerji politikalarından biri biyoyakıt politikası olup amacı Avrupa ekonomisinin rekabet gücünü arttırmak, enerji kaynaklarının güvenliği ve çevresel yararlarıdır. Avrupa birliğinin alternatif motor yakıtları üzerindeki politikası biyodizel yakıtların teşvik edilmesine dayanmaktadır. Avrupa birliği komisyonu biyodizel kullanımının yaygınlaştırılması için bazı kolaylıklar getirmiştir. Komisyonun bu kolaylığı getirmesindeki görüşü biyoyakıtların enerji kaynaklarının güvenliğini arttıracığı, sera gazlarını azaltacağı ve kırsal kesimin gelirini arttıracığı ve istihdam sağlayacağıdır. Avrupa birliğinin hedeflerinden biri de şu anda en az %2 oranında benzin ve dizele katılması zorunlu olan biyoyakıtların 2010 yılı sonunda en az % 5.75 oranında katılmasının zorunlu hale getirilmesidir[A.C. Hansen, Q. Zhang and P.W.L. Lyne, 2005]. Avrupa birliği komisyonunun biyoyakıtların kullanılma zorunluluğu ile ilgili düzenlemesi tablo.6'da verilmiştir[ECN, 2003]. Fransa Çevre ve Enerji Yönetimi Ajansı (ADEME)'nin tahminine göre 2010 yılında hedeflenen düzeyi yakalamak için kolza bitkisi üretiminde şu anda kullanılan 3 milyon hektar ekilir alanın 2010 yılında 8 milyon hektara çıkacağını göstermektedir[USDA, 2003].

Tablo 6. Avrupa Komisyonu raporuna göre biyodizel katma zorunluluğu

Yıl	% Minimum Katma Mecburiyeti
2005	2
2006	2.75
2007	3.5
2008	4.25
2009	5
2010	5.75

8. Türkiye’de Biyodizel

Ülkemizde son yıllarda biyodizele yoğun bir yatırım süreci başlamıştır. Bu konuda ülkemizde geçtiğimiz yıllarda, çok sayıda yağlı tohum bitkisi (ayçiçek, soya, kanola, pamuk, aspir gibi) tarımı yapılması için teşvikler çıkarılmıştır. Ülkemizin motor yakıtlarına olan ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Tablo 7. Türkiye’nin benzin ve dizel yakıtı ihtiyacının yıllara göre değişimini göstermektedir.

Tablo 7. Türkiye’nin Benzin ve Dizel Yakıtı İhtiyacının Yıllara Göre Değişimi [Türkiye İstatistik Enst. 2005].

Yıl	Benzin Gereksinimi Mt	Dizel Yakıt Gereksinimi Mt	Gereksinim Duyulan Dizel Yakıtının Benzine Oranı
2002–2003	2.72	7.84	2.88
2003–2004	2.61	7.89	3.02
2004–2005	2.68	7.85	2.92
2005–2006	2.74	7.92	2.89
2006–2007*	2.85	8.65	3.03
2011–2012*	3.56	12.65	3.55

*Tahmini Benzin ve Dizel Yakıtı İhtiyacı

Tablo 8. Türkiye'nin Ham Petrol Üretimi ve İthalatı[Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2006].

Yıl	Üretim(Mt)	İthalat (Mt)	Toplam (Mt)	İthalatın toplamdaki Yüzdesi	Petrol Ürünleri İthalatı (Mt)
1999	2.9	22.9	25.8	88.7	5.5
2000	2.7	21.7	24.4	88.9	8.6
2001	2.5	23.3	25.8	90.3	5.7
2002	2.4	23.6	26	90.7	7.5
2003	2.3	24.1	26.4	91.3	8.2
2004	2.1	25.2	27.3	92,3	9.4
2005	2.1	25.7	27.8	92.5	9.6
2006	1.9	24.3	26.2	92.74	N.A

Tablo 9. Türkiye'nin yıllık biyodizel üretim kapasitesi[Kasım 2005].

İL	Firma Sayısı	Kurulu Kapasite(Ton/Yıl)
İZMİT	7	160.645
GAZİANTEP	16	158.004
ANKARA	11	71.040
MERSİN	4	70.534
ADANA	7	58.745
BURSA	5	46.062
İZMİR	6	35.588
DİĞERLERİ	34	377.818
TOPLAM	90	978.436

Tablo 10. Yağ bitkilerinin ekiliş alanları, yağ oranları, üretim verimleri [Anonim 2000].

Yağ bitkisinin adı	Ekiliş alanı (ha)	Yağ oranı (%)	Üretim verimi (kg/ha)	Üretim miktarı (ton)
Yer fıstığı	28 000	35-55	2679	75 000
Soya	24 000	13-25	2750	66 000

Kanola	187	40-45	1765	330
Aspir	50	9-28	1000	50
Ayçiçeği	595 000	40-50	1597	950 000
Keten tohumu	385	30-40	590	227
Susam	51 000	45-59	549	28 000
Haşhaş	55 000	44-50	570	899 117
Pamuk tohumu	731 362	16-24	1798	1 314 660
Mısır	518 000	17-18	4434	2 297 000
Kenevir tohumu	536		103	55
Türkiye Toplamı	2 003 520		-	5 630 439

Tablo 11. Türkiye'nin ekilebilen, nadasa bırakılan ve toplam arazi varlığı (ha)

	1990	1995	1998	1999
Ekilen alan	18.868.000	18.464.000	18.751.000	18.448.000
Nadasa bırakılan alan	5.324.000	5.124.000	4.905.000	4.900.000
Toplam alan	24.192.000	23.588.000	23.348.000	23.656.000

Biyoetanol ve biyodizel için ülkemizde, “Petrol Piyasası Kanunu” 20 Aralık 2003’te, “Petrol Piyasası Lisans Yönetmeliği” 17 Haziran 2004’te, “Petrol Piyasasında Uygulanacak Teknik Kriterler Hakkında Yönetmelik” 10 Eylül 2004’te, “Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği” 19 Nisan 2005’te ve Biyodizel Standartları gibi yasal düzenlemeler getirilmiştir. Ülkemizde biyoetanol yakıt harmanlama bileşeni, biyodizel ise hem yakıt harmanlama bileşeni hem bir akaryakıt tanımı almıştır. Yerli kaynaklardan üretilen biyoetanolun benzine ve biyodizelin ise motorine yüzde 2 oranında katılmasında, motor biyoyakıtı ÖTV’den muaf tutulmuştur.

Biyodizel piyasası için son yasal düzenleme “Petrol Piyasası Kanununda Değişiklik Yapılmasına İlişkin Kanun Tasarısı” içinde yer almaktadır. Bu tasarı ile tarım için enerji kullanımında, biyodizel için ÖTV ve KDV muafiyeti getirilmesi, enerji tarımımızın da önünü açacak ve tarımda maliyet düşüşüne neden olacaktır.

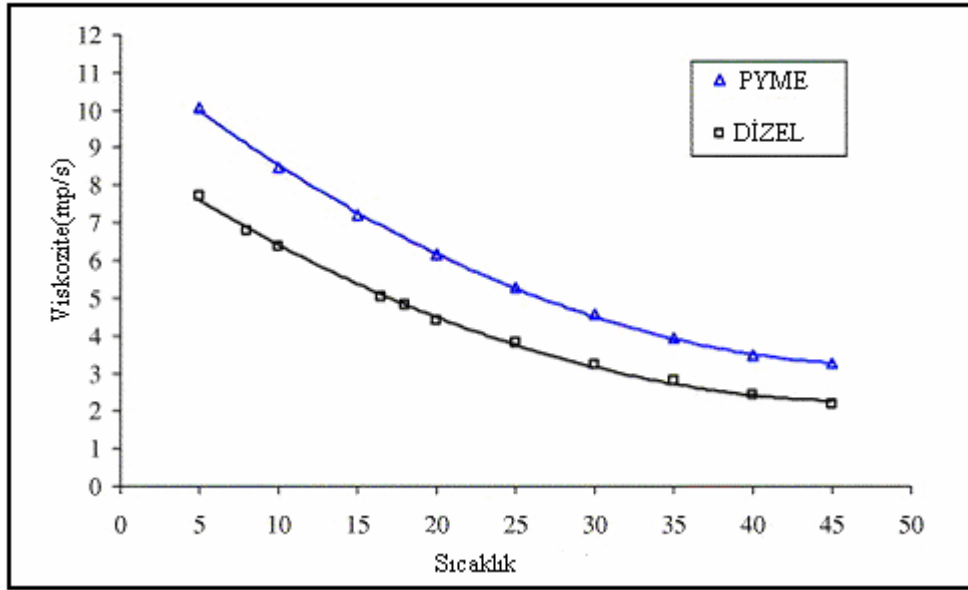
Türkiye'nin ilk ticari motor biyoyakıtı uygulaması 2005 yılında başlamıştır. Yerli kaynaklardan üretilen biyoetanol (Tarkim ürünü) kurşunsuz benzine yüzde 2 oranında katılarak piyasaya (POAŞ Ürünü Biobenzin) sunulmuştur. Piyasaya arz edilecek biyodizel de benzer şekilde motorine katılarak ÖTV’siz kullanılacaktır.

9. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ham pamuk tohum yağı esas olarak *Gossypium hirsutum* (Amerikan) veya *Gossypium barbadense*'nin (Mısır) tohumlarından elde edilmektedir. Ham yağ; sert, özel aroma ve kokuya sahip olup, ekstraksiyon esnasında renk maddelerinin yağa önemli düzeyde geçmesinden dolayı da koku ve kırmızımsı-kahverengi bir renge sahiptir. Bütün tohum % 15-24, tohum çekirdeği ise %30-38 yağ içerir. Pamuk tohum yağı presleme ile elde edilebildiği gibi esas olarak çözücü ekstraksiyonu ile elde edilmektedir. Çözücü ekstraksiyonu metotlarının kullanım alanı gittikçe artmaktadır[Nas S., Gökalp H.Y., Ünsal M., 2001]. Pamuk tarımında en önemli iklim faktörlerinin başında sıcaklık, gün ışığı, yağış ve oransal nem gelmektedir. Yıllık ortalama sıcaklığın 19 °C, yaz ayları sıcaklığı ise 25 °C olması gerekir. Sıcaklık tarak oluşmasından önce 20 °C, çiçeklenme döneminde 25 °C, kozaların gelişme döneminde ise 30–32 °C olmalıdır. Hasat döneminde kozaların iyi açılabilmesi için sıcaklığın azalması (15 °C 'ye kadar) istenir.

Türkiye sahip olduğu uygun ekolojik koşullar nedeniyle önemli bir pamuk üreticisi ülkedir. Ülkemizde yaklaşık 750 bin hektar alanda pamuk tarımı yapılmakta ve yılda 850 bin ton lif (2,1 milyon ton kütlü) pamuk üretilmektedir. Buna ek olarak Güney Doğu Anadolu Bölge'mizde sulama olanaklarının artmasıyla birlikte pamuk ekim alanları sürekli olarak genişlemektedir. Bu gelişmeye paralel olarak bölgenin Türkiye toplam üretimindeki payı % 40'a yükselmiştir.

Yücel (1998), Dizel yakıtına belirli oranlarda pamuk yağı katarak, motor performansı ve emisyon karakteristikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Araştırma sonucunda uzun süreli çalışmalarda yanma odası içerisinde, supaplarda, piston ve segmanlarda karbon biriktiği, birikinti miktarının artan pamuk yüzdesi ile orantılı değiştiğini, güç açısından olumsuz bir durum gözlenmediğini, CO ve HC emisyonlarının D2' den fazla NO_x emisyonlarının daha düşük olduğunu ifade etmiştir.



Şekil 3. Pamuk yağı metil esteri ve Dizel Yakıtı (D2)'nin viskozitelerinin sıcaklıkla değişimi (Y.He. Y.D. Bao, 2005).

Pamuk yağı-motorin karışımı bir dizel motorunda ısıl verimi artırmak amacıyla denenmiş (Y.He. Y.D. Bao, 2004) ve konvansiyonel bir dizel motorunda performans artırıcı özelliği test edilmiştir. Deneysel sonuçlar %30 pamuk yağı-%70 Dizel yakıtı karışımının pratikte yüksek ısıl verim, homojenlik ve stabilite sağladığı tespit edilmiştir.

Tablo 12. Pamuk yağı ve Dizel yakıtının bazı özellikleri

Parametre	Dizel Yakıtı	Pamuk Yağı
Viskozite (P)	0.048	0.625
Net kalori değeri (MJ/kg)	42.52	39.47
Yoğunluk (g/dm ³)	815	874

Tablo 13. İki farklı çalışma durumunda, özgül yakıt tüketiminin karışımdaki pamuk yağı oranına göre değişimi [Y.He. Y.D. Bao, 2004].

Pamuk yağı/Dizel Yakıtı	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kW h)	
	7.35 kW/2000 d/d	8.82 kW/2000 d/d
0/100	266.67	278.91
10/90	275.60	289.17
20/80	278.47	295.84
30/70	285.14	313.14

Pamuk yağı/Dizel Yakıtı	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kW h)	
	7.35 kW/2000 d/d	8.82 kW/2000 d/d
50/50	304.86	332.63
70/30	318.67	351.48

Pamuk yağı metil esterinin motorin ile 30/70, 50/50 ve 70/30 oranlardaki karışımlarının yakıt olarak tek silindirli bir dizel motorunda 1500 – 3700 d/d devirleri arasında kullanıldığı bir çalışmada(İlkılıç, C., Yücesu, H.S., 2002)yüksek motor hızlarında pamuk yağı metil esterinin dizel yakıtı ile motorda benzer tork değerleri gösterdiği, yüksek ve düşük motor devirlerinde güç değerlerinin dizel yakıtı değerlerine yakın olduğu ve özgül yakıt tüketiminin de dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak; pamuk yağı metil esteri/dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarda dizel yakıtına alternatif olarak rahatlıkla kullanılabilceğini ve bu karışımları alternatif yakıt olarak kullanan araçların egzoz emisyon testinden başarılı bir şekilde geçeceği belirtilmiştir[İlkılıç, C., Yücesu, H.S., 2002].

Pamuk yağı (PY), pamuk yağı metil esteri (PME) ve D2 ile karışımlarından oluşan sekiz adet yakıt (PY/D2 - PME/D2 - % 30/70, 50/50, 65/35, 80/20) oranlarında altı silindirli sıra tipi turboşarjlı bir dizel motorda test edilmiştir.

Yapılan testlerde karışımda PY oranının artmasıyla motor gücünün arttığı, PME ile yapılan testlerde ise PME oransal artışının güçte azalmaya neden olduğu belirtilmektedir. D2 yalnız kullanılırken %36 olan termik verim PY karışımlarında çok az bir düşüş, PME karışımları kullanıldığında %35 civarı olarak verilmiştir. Yapılan kısa süreli testlerde motor performansı ve emisyon değerleri açısından elde edilen sonuçların D2 ye yakın olduğu, uzun süreli çalışmada ise özellikle karbon birikintileri ve yakıt sistemi problemlerinden dolayı iyi sonuçlar alınmadığı belirtilmiştir (Yücesu' ya (1999) göre, Port ve ark. (1982) den).

Ulusoy (1999), ayçiçeği, kolza, pamuk ve soya yağlarının dizel motorlarda yakıt olarak kullanılması ile ilgili araştırmasında bitkisel yağ (BY) ile D2 karışımları ile yaptığı deneylerde, bütün bitkisel yağ karışımlarından elde edilen moment ve güç değerlerinin D2'ye göre daha düşük çıktığını göstermiştir. Deneylerde kullanılan

karışımlardaki yağ oranı arttıkça bu fark daha da artmış ve D2'ye en yakın değerleri % 25'lik yağ karışımlarında 1500- 1900 d/d arasında elde etmiştir. D2 –BY karışımında bitkisel yağ oran artışına bağlı olarak D2'ye göre yakıt tüketiminin de arttığı tespit edilmiştir. BY özgül yakıt tüketimlerinin birbirine yakın çıktığını ve BY karışımlarından elde edilen verimin, % 100 D2' ye göre daha düşük çıktığını tespit etmiştir.

Geyer ve ark. (1984), üç silindirli direk enjeksiyonlu doğal soğutmalı bir dizel motorda 1/3, 2/3 ve tam yükte 2400 d/d sabit devirde, pamuk yağı metil esteri (PYME), ile yaptıkları deneylerinde, termik verimin iyileştiği, partikül madde emisyonunda düşüş, NO_x emisyonunda artış olduğunu belirtmişlerdir.

N. Usta (2005), Tütün yağı metil esterinin turboşarjlı direkt püskürtmeli bir dizel motorunda motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisini motorda tam yükte ve kısmi yükte test etmiştir. Test sonuçları tütün yağı metil esterinin dizel yakıtına eklenmesiyle CO, SO₂ emisyonlarını düşürdüğü, NO_x emisyonlarını ise biraz yükselttiğini göstermiştir. Aynı zamanda motor gücü ve veriminin tütün yağı metil esterinin ilave edilmesiyle biraz yükseldiği tespit edilmiştir. Tütün yağı metil esterinin alt ısıl değeri, 15 °C'deki yoğunluğu ve 40 °C'deki kinematik viskozitesi sırasıyla 39811 kJ/kg, 886.8 kg/m³ ve 3,98 mm²/s bulunmuştur [N. Usta, 2005].

Deneylerde (N. Usta, 2004) dört silindirli, dört zamanlı direkt püskürtmeli bir dizel motorunda yapılmıştır. Motor 112 KW, 9000 rpm, su soğutmalı Cussons P8651 marka bir hidrolik dinamometreye monte edilmiştir.

Deneyler sonucu 1500–3000 rpm, motor hızında %10, %17.5 ve %25 oranında tütün yağı metil esteri içeren karışım ile motor gücü ve motor momentinin değişimi ortaya çıkarılmıştır.

Tütün yağı metil esterinin alt ısıl değeri dizel yakıtından %10.8 daha düşük olmasına rağmen %25 karışımında motor gücü ve momentinde herhangi bir düşüş olmamıştır. Isıl verim karışım yakıtlarında yanmanın düzelmesi nedeniyle motorinden daha yüksek çıkmıştır.

Dizel motorlar çoğunlukla kısmi yükte çalışırlar. Bu nedenle karışımlardan en yüksek güç ve ısı verimi sağlayan karışım olan %17.5'lik karışım %75, %50 ve tam yükte denenmiştir. Motorun tam yükte iken yanmanın iyileşmesi nedeniyle ve karışımın oksijen bakımından zengin olması sayesinde güç ve moment artışı göstermiştir. Oksijen bakımından zengin karışımlar yanmanın iyileşmesinde oldukça etkilidir. Alt ısı değerinin karışımlarda daha düşük olması nedeniyle kısmi yüklerde motor performansına çok az yararlı etkisi olmuştur.

%17.5 tütün yağı metil esteri içeren karışımda motor gücünün kısmi yüklerde dizel yakıtında daha düşük çıkmasına rağmen (N.Usta, 2005), Kalan ve ark. Hindistan cevizi metil esterinin kısmi yüklerde daha yüksek motor gücü verdiğini söylemişlerdi.

Bu anlaşmazlık motor tipinin ve biyodizelin özelliklerinin farklı olmasında kaynaklanabilir. Bu durum turbo şarj dizel motorunda kullanılmasıyla motor gücünün Biyodizel için kısmi yük ile benzer değişim göstermiştir. Özgül yakıt tüketimi motorun tam yükünde dizel yakıtına göre daha düşük çıkmıştır. Kısmi yüklerde ise dizel yakıtından daha yüksek bir özgül yakıt tüketimi ile karşılaşmıştır.

Egzoz gazlarının sıcaklık değişimi tutuşma gecikmesinden kaynaklanmaktadır. Setan sayısı daha düşük olan biyodizelerde tutuşma gecikmesi daha uzun olmakta ve yanma daha yavaş olmaktadır [O.M.I. Nwafor, G. Rice and A.I. Ogbonna, 2000]. Bu durum genişleme zamanına, yanmanın sarkmasına ve egzoz gazlarının ve yağlama yağının sıcaklığın artmasına neden olmaktadır.

Motorun bütün devirlerinde CO emisyonları dizel yakıtına göre daha düşük çıkmıştır. En büyük düşüş 1500–2500 rpm motor devrinde görülmektedir(N. Usta, 2004). Bu düşüş yüksek oksijen miktarından kaynaklanır. Tam yükte ve düşük hızlarda silindir içerisinde yeteri kadar oksijen bulunmamaktadır. Bu yüzden CO emisyonları bakımından tütün yağı metil esterinin yararlı etkisi tam yükte ve yüksek motor devrinde görülmektedir.

Tütün yağı metil esteri dizel yakıtından çok daha az sülfür içermektedir. Beklendiği gibi karışımlar motorinden daha düşük SO₂ emisyonu üretmiştir. Örneğin %17.5 civarındadır(N. Usta, 2004). Ancak Dorado ve arkadaşlarının da deneylerde bulduğu gibi motorun bütün yüklerinde SO₂'deki düşüş %45 olmuştur.

Bütün yüklerde karışımlardan kaynaklanan NO_x emisyonu daha yüksek çıkmıştır(N. Usta, 2004). Bu durum oksijen sayesinde yanmanın iyileşmesi ve dolayısıyla yanma sonu sıcaklığının artmasıyla ilişkilidir

Humke (1982), 6 silindirli, DI bir dizel motorunda ham soya yağı (SY) ve % 50 SY-%50 D2 karışımları ile yaptığı testlerde;

Test süresi uzadıkça SY ve SY-D2 karışımlarının enjektörde oluşturdukları karbon birikimine bağlı olarak, motor performansında düşüş, emisyonlarda artış olduğunu, BY motorinden daha yoğun ve viskoz olması dolayısıyla, tam gazda D2'ye oranla % 20 fazla BY transfer edildiğini, buna karşılık motor gücünde % 6 artış görüldüğünü, Bitkisel yağda termik verim ve NO_x 'lerin D2' ye göre daha düşük, CO, HC ve partikül madde (PM) emisyonlarının daha yüksek gerçekleştiği, Diğer araştırmacılar tarafından ifade edilen Motor yağı kalınlaşması, aşınma ve segmanlarda reçineleşme gözlenmediğini, Motor yağı probleminin enjektör problemine bağlı olarak kartere bitkisel yağ girişi ile olabileceğini ortaya çıkarmıştır.

Ventura ve ark. (1982), Almanya ve Brezilya'da direkt enjeksiyonlu 3 ayrı motorda soya yağı ve metil esterleriyle yaptıkları denemelerde egzoz gazında beyaz duman artışı, motor yağlama yağında viskozite düşüşü tespit etmişlerdir. Beyaz dumanın püskürtme avansını ayarlayarak kontrol edilebildiğini belirtmişlerdir.

Worgetter(1991), yakıt olarak KYME (kolza yağı Metil Esteri) kullandığı çalışmasında, Yakıtın malzeme uyumluluğu, kış şartlarında çalışması, emisyon değerleri ve yakıt depolama emniyeti ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. 25000 çalışma saatinden fazla ve değişik marka ve modelde 33 ayrı traktörün kullanıldığı çalışmada Yağlama yağında KYME konsantrasyonunun arttığını ve viskozitesini düşürdüğünü, bilahare esterlerin polimerizasyonu sonucu yağlama yağı viskozitesinde artış olduğunu ifade etmiştir. Yakıt sarfiyatında artış ve güç düşüklüğü gözlenmiştir. İlk hareket problemi yaşanmadığı, motor parçalarında olumsuzluk görülmediği ifade edilmiştir. Florin plastikleri dışındaki, kauçuk malzemelerin KYME'nden çok etkilendiği ve deformasyonlar görüldüğü, yanmamış hidrokarbonların D2'ye göre daha az, NO_x 'lerin ise biraz fazla olduğu ifade edilmiştir. KYME, D2'ye göre az miktarda zehirleyici özelliği olmakla birlikte taşıma ve depolamada bir sorun yaşanmadığı ifade edilmiştir.

Perkins ve ark. (1991), üç silindirli direk enjeksiyonlu doğal soğutmalı bir dizel motorunda KYME ile yaptıkları 1000 saatlik deneylerde yakıt sarfiyatında artış, yağlama yağı viskozitesinde düşüş, KYME'nin D2 ile %50 karışımlarında ise yakıt sarfiyatında düşüş olduğunu belirtmişlerdir.

Mittelbach ve ark. (1985), dört silindirli direk enjeksiyonlu turbo şarjlı bir dizel motorunda KYME kullandıkları deneyde yakıt sarfiyatında artış, yağlama yağı viskozitesinde düşüş olduğunu belirtmişlerdir.

Peterson ve ark. (1992), yapmış oldukları KYME çalışmalarında motor yakıt sarfiyatında artış, enjektörlerde karbon birikimi, güç ve moment ve egzoz gaz sıcaklığında düşüş olduğunu ifade etmişlerdir.

C. Carraretto ve ark.(2004), tarafından 6 silindirli direkt püskürtmeli, sıkıştırma oranı 17/1, 24° püskürtme avansı silindir hacmi 9572 cc unic 8220.12, hava soğutmalı bir dizel motorunda %80 , %70, %50, %30, %20, %0 ve %100 biyodizel karışımlarını değişik çalışma koşullarında denemiştir. Bu motor genellikle şehir içi taşımacılıkta kullanılan otobüslerde bulunmaktadır. Deneyler sırasında Biyodizel oranındaki artışla beraber motor gücü ve motor momentinde bütün devirlerde bir miktar düşme gözlenmiştir. Özellikle saf Biyodizel kullanımında maksimum güçteki düşüş %3 ve maksimum momentteki düşüş %5 oranında olmuştur. Üstelik Biyodizel kullanımında maksimum tork en yüksek devirde elde edilmiştir. Bazı çalışmalar [M. Cardone ve ark., 1998] bu durumun biyodizelin yanma hızındaki artıştan kaynaklandığını öne sürmüşler. Bütün motor devirlerinde saf biyodizel yakıtı kullanımında, özgül yakıt tüketiminde önemli artışlar (ortalama %16) gözlenmiştir. Bu durum biyodizelin alt ısıl değerinin daha düşük olmasından ve yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Püskürtme avansındaki düşüşle beraber motor gücü ve momenti hızla artmış ve özgül yakıt tüketimi ise düşer.

Püskürtme avansındaki düşüşle beraber motorun orta devirlerinde CO emisyonu hızla düşmüş, bu durum düşük devirlere nazaran yanma koşullarının düzelmesinden kaynaklanmaktadır. Motorun daha yüksek devirlerinde CO emisyonu yine artış göstermiştir. Bunun aksine NO_x emisyonları bütün motor devirlerinde düşüş göstermiştir. Bu durum yanma sonu Sıcaklığının düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Common-Rail yakıt enjeksiyon sistemi, yakıt püskürtme stratejileri sistemleri(Multi-stage enjeksiyon), turboj-şarj sistemi ve EGR (Egzoz Gaz Resirkülasyon) gibi sistemler sayesinde daha güçlü ve çevre açısından daha temiz dizel motorları hedeflenmiştir(C.R. Ferguson, 1986, J.B. Heywood, 1988). Ancak bu alternatiflere çoğunlukla yakıt tüketimi veya fiyat dezavantajları eşlik etmiştir.(Oblaender K. ve ark., 1989, T. Muruyama ve ark, 1995). Tam donanımlı bir dizel motorunda yapılan deneylerde (C.D. Rocaboulos ve ark) %10 ve %20 biyodizel karışımı ile dizel yakıtının emisyon karakteristikleri tespit edilmiştir. Bu motor tek silindirli, hava soğutmalı, 4 zamanlı Ricardo Cussons"Hydra" tipi bir dizel motordur. Deneyler sonucunda;

CO emisyonları bütün karışımlar için dizel yakıtından çok daha düşük çıkmıştır. Ancak biyodizelin türüne göre CO emisyonları değişmekle beraber yinede dizel yakıtından daha düşük çıkmıştır.

Bütün biyodizel karışımları için NO_x emisyonlarının dizel yakıtına nazaran biraz daha düşük çıktığı tespit edilmiştir.

Deneyler sonucunda bütün karışımlar için duman yoğunluğunun dizel yakıtına göre düşük olduğu tespit edilmiştir.

HC emisyonları ise sabit bir seyir izlememiştir. Ancak HC emisyonları bütün yakıtlar için düşük çıktığından bu belirsizlik çok fazla önem arz etmemektedir. Motor performansı bütün biyodizeller için dizel yakıtına göre çok az değişim göstermiştir. Isıl verim neredeyse aynı kalmış ve tam yükte özgül yakıt tüketimi biraz artmıştır.

Schumacher (2001), Idaho ve Missouri üniversitelerince 1991 den beri bir pick-up'ta kullanılan 5,9L Cummins marka dizel deney motorunda yağ değişimlerinde alınan numunelerin analizi neticesinde, Soya Yağı ve Kolza Yağı metil ve etil esterleri ve bunların, % 0- 100 arası D2 karışımlarının yakıt olarak kullanıldığı, %100 D2 ile benzer şartlarda çalıştırılan motordan alınan yağ numunelerinin karşılaştırılması sonucu yağ esterlerin aşınmayı artırıcı ilave bir etkilerinin görülmediğini belirtmektedir.

10. MATERYAL VE METOD

10.1. DeneYlerde Kullanılan Motorun Teknik Özellikleri

DeneYler, Dicle Üniversitesi Batman Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı Motor Test Laboratuvarında yapılmıştır.

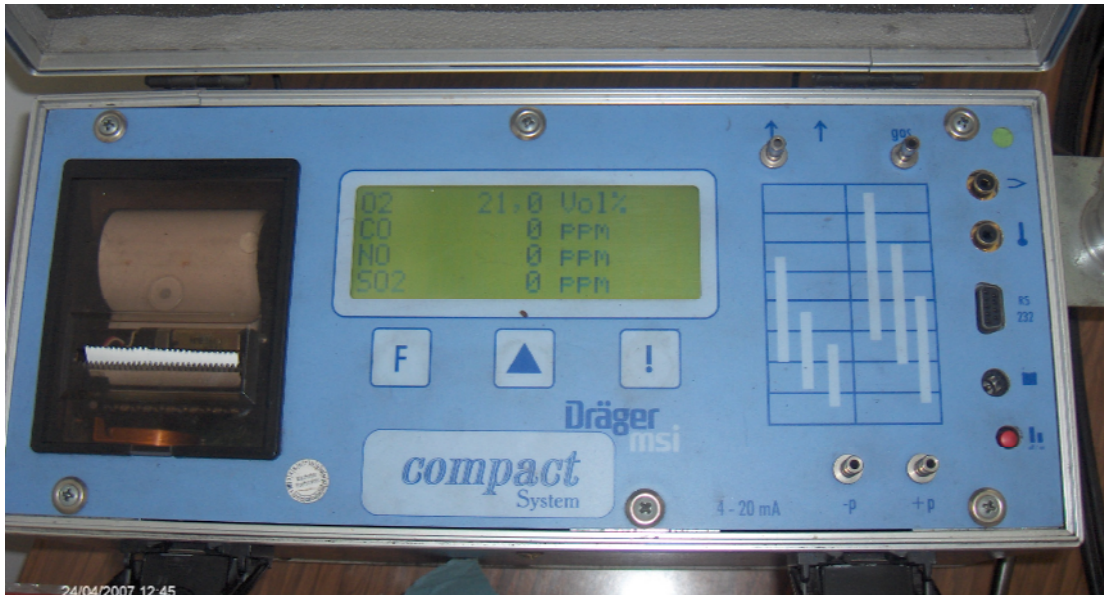
Tüm ölçümler için, maksimum gücü 10 HP, silindir hacmi 406 cc, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı Rainbow marka bir dizel motoru kullanılmıştır. DeneY Motoruna ait teknik özellikler Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 14. DeneY Motorunun Teknik Özellikleri

Markası	Rainbow-186 Dizel
Püskürtme sistemi	Direkt püskürtmeli
Silindir sayısı	1
Strok hacmi	406 cc
Sıkıştırma oranı	18/1
Maksimum moment	25.21 Nm (1800 d/d'da)
Maksimum güç	10 HP
Maksimum motor devri	3600 d/d \pm 20
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı
Püskürtme basıncı	19.6 \pm 0.49 Mpa (200 \pm 5 Kgf/cm ²)
Ortalama efektif basınç	561.6 Kpa
Ortalama piston hızı	7.0 m/sn (3000 d/d'da)

10.2.Egzoz gazı analiz cihazı

DeneYlerde egzoz gazlarının ölçümü için DRAGER marka MSI COMPACT 150 model gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Bu analiz cihazı ppm cinsinden CO, SO₂, ve NO_x emisyonlarını 5 ppm hassasiyetinde ölçmekte ve % cinsinden O₂ ve CO₂ emisyonlarını da % 0.3 hassasiyet ile ölçebilmektedir. Ölçüm cihazın probu egzoz borusuna yerleştirilerek motor çalışma sıcaklığına geldikten sonra, cihazın okuduğu değerler yine cihaz üzerinde bulunan bir yazıcı ile çıktı şeklinde alınabilmektedir.



Resim 1. Egzoz gazı analiz cihazı

10.3. Motor Test Cihazı (dinamometre)

Tablo 15. Motor test cihazının teknik özellikleri

Fren Modeli	BT-140
Maksimum frenleme gücü	50 HP
Maksimum devir	7000 d/d
Maksimum moment (Tork)	250 Nm
Yük hücresi kapasitesi	1000 N
Maksimum güç için su sarfıyatı	V maks. 0,75 m ³ /h
Fren suyu basıncı	1–2 Kg/cm ²
Fren kontrol tipi	Kayıcı fan perdeleri ile
Ağırlık sistemi	Metrik-Elekt. Yük Hücresi
Fan adedi	1
Elektrik ihtiyacı	220/380 V. 50 Hz.
Dönüş yönü	Sağ dönüşlü

Motor deneylerinde BT–140 model, maksimum gücü 50 KW, maksimum devri 7500 d/d olan hidrolik bir dinamometre kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan motor test cihazının teknik özellikleri tablo.15’te verilmiştir.



Resim 2. Deneyleerde kullanılan BT-140 model hidrolik dinamometre

Motor test standı (Bremze) kontrol cihazının teknik özellikleri tablo.16'da verilmiştir. İzleme cihazının üzerinde motor devrini rpm(d/dak.) cinsinden, motor gücünü beygir gücü (HP) ve motor momentini kg.m olarak gösteren ekranlar mevcuttur. Ayrıca motora uygulanan yük kademeli olarak %10'ar dilimler halinde değiştirilebilmektedir. Böylelikle motora uygulanan yük azaltılıp artırılabilir.

Tablo 16. Motor test tezgâhı (Bremze) izleme/kontrol cihazı teknik özellikleri

Modeli	PC101BMS
Doğruluk sınıfı	% 0.2
Hassasiyet	± 1 Digit
Ölçüm hızı	5 ölçüm / saniye
Ağırlık ölçüm tipi	Lineer (Yük Hücresi-Load-Cell
Devir ölçüm giriş tipi	Manyetik algılayıcı
Ekran tipi	3x6 adet, 7- Bölge LED 2x16 karakter LCD

Güç sarfıyatı	16 W
Çalışma ortam sıcaklığı	0-50° C
Çalışma gerilimi	220± %5 VAC
Çıktı	Döküm almak için paralel yazıcı bağı



Resim 3. Yakıt tüketimi ölçüm ünitesi

10.4. Hesaplanan Büyüklükler

10.4.1. Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketimi, deney sırasında tüketilen yakıt miktarının hesaplanan güce oranıdır.

$$B_e = 10(cm^3) \times \rho_y / \Delta t \quad (1.)$$

$$B_e = \text{Yakıt tüketimi} (kg/h)$$

$$\Delta t = 10 \text{ cm}^3 \text{ 'lük yakıtın tüketilme zamanı (sn)}$$

ρ_y = yakıtın yoğunluğu (*kg / lt*)

$$be = 10^3 \times B_e / Pe \quad (2.)$$

be = özgül yakıt tüketimi (*kg / kWh*)

10.4.2. Ortalama Efektif Basınç

Motor gerçek çevrim ile çalışırken verdiği güce eşdeğer bir güç vermesi için iş stroku boyunca pistona etki etmesi gereken basınçtır. Deneylede kullanılan motorun strok hacmi, motor gücü, ve devir sayısı esas alınarak hesaplanmıştır.

$$P_{me} = \frac{Pe}{VH \cdot n \cdot \dot{I}} \quad (3.)$$

Pe = motor gücü (*kW*)

VH = strok hacmi (*m³*)

\dot{I} = çevrim ($\dot{I} = 1/2$)

n = devir sayısı (*d/d*)

10.4.3. Termik Verim

Termik verim, motordan alınan mekanik enerjinin, motorun o anda tükettiği yakıtın enerjisine oranıdır. Termik verim, motorin ve biyodizel karışımlarının alt ısıl değerleri ve yakıt tüketimleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

$$n_t = \frac{Pex632}{BexHu} \quad (4.)$$

Pe = motor gücü (*kW*)

Hu = yakıtın alt ısıl değeri (*kcal / kg*)

B_e = Yakıt tüketimi (*kg / h*)

10.4.4. Efektif Verim

Motordan alınan toplam işin verilen toplam enerjiye oranı efektif verim şekline tanımlanabilmektedir. Devir sayısına bağlı olarak yakıtın alt ısıl değeri ve deney motorunu özgül yakıt tüketimleri esas alınarak hesaplanmıştır.

$$\eta_e = \frac{3,6.10^6}{b.e.H_u} \quad (5.)$$

H_u =yakıtın alt ısıl değeri(*kcal / kg*)

B_e =Yakıt tüketimi(*kg / h*)

11. DENEYİN YAPILIŞI

Deneye başlamadan önce yakıt enjektör püskürtme basıncı, püskürtme avansı ve supap ayarları motorun katalog değerlerine uygun olduğu tespit edilmiştir. Motor deneylerine başlamadan önce yağlama yağı ve hava filtresi değiştirilmiştir.

Deney sırasında alınan veriler motor çalışma sıcaklığına(85–90 °C) ulaşıktan sonra kaydedilmiştir ve deney süresince bu sıcaklıkta tutulmuştur. Yeni bir deneye başlamadan önce motor soğumaya ve dinlenmeye bırakılmıştır. Ayrıca bir önceki deneyde test edilen yakıtın tamamen tükenmesi için motor stop edene kadar çalıştırılmaya devam edilmiş ve daha sonra yakıt deposu yeni yakıt ile doldurulmuş böylece deneylere başlanmıştır. Her bir deney 5 defa tekrarlanmış ve aritmetik ortalamaları değerlendirmeye alınmıştır.

Deneyler, motorin(**D2**), %5 pamuk yağı metil esteri- %95 motorin karışımı(**B5**), %20 pamuk yağı metil esteri- %80 motorin karışımı(**B20**), %50 pamuk yağı metil esteri- %50 motorin karışımı(**B50**) yakıtları için ayrı ayrı yapılmıştır.

Bütün deney yakıtları için motor performansı ve egzoz emisyonlarının tespiti;

- Tam yük değişik devirler testleri
- Sabit devir değişik yük testleri
- Değişik devir değişik yük testleri yapılmıştır.

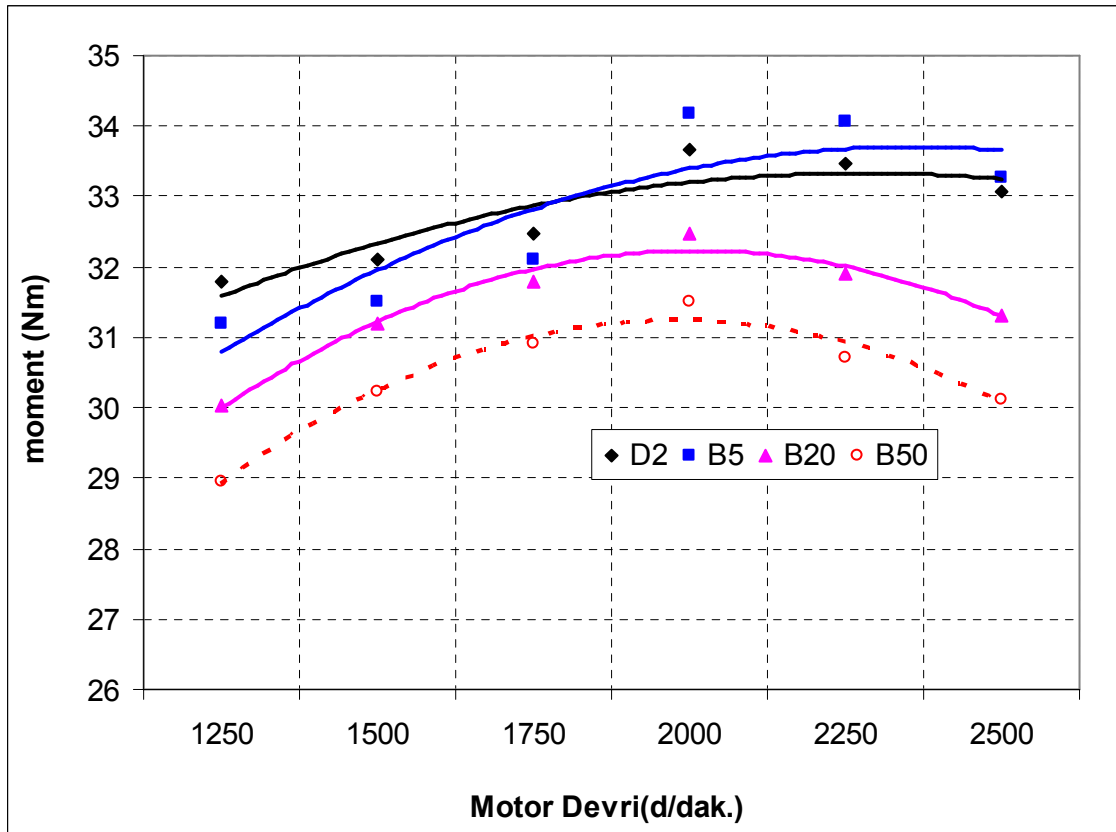
12. DENEYSEL SONUÇLAR

12.1. MOTOR PERFORMANSI

12.1.1. Motor momenti

İçten yanmalı motorlarda motor konstrüksiyonu da dikkate alınarak, motor devri arttıkça, buna bağlı olarak motor momentinde artış görülmekte ve bu artış bir maksimum noktadan geçerek tekrar düşüş göstermektedir [Fiaschetti vd., 1995].

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların $\frac{1}{2}$ yükte motor devrine bağlı moment değişimleri şekil 4'te görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi PYME-Dizel yakıtı karışımları da benzer bir özellik göstermiştir.



Şekil 4. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtların $\frac{1}{2}$ yükte motor devrine bağlı moment değişimleri

Bütün karışım yakıtlarında ve dizel yakıtında maksimum moment 2250 d/d'da tespit edilmiştir.

Motor dinamometre ile $\frac{1}{2}$ oranında yüklendiğinde maksimum moment devri yüksüz duruma göre değişmiş ve maksimum moment bütün yakıtlar için 2000 d/d' da elde edilmiştir. Bu devirde D2 yakıtında 33,46 Nm, B5 yakıtında 34,05 Nm, B20 yakıtında 31,89 Nm ve B50 yakıtında 30,71 Nm olarak ölçülmüştür. Motor devri arttıkça elde edilen moment değerleri arasında fark giderek artmıştır. Bu durumun yine karışım yakıtların viskozitelerinin ve yoğunluklarının D2 yakıtına göre yüksek olmasından ve dolayısıyla pompaya yeteri kadar akamamasından kaynaklandığı üzerinde durulmaktadır.

Karışım yakıtların viskozitelerin yüksek olmasından dolayı pompaya yakıt dolmasının zorlaşması B50 yakıtında moment değerinin düşük düzeyde kalmasına neden olmuştur. B5 yakıtında moment değerinin belirli bir devirden sonra diğer yakıtlardan yüksek çıkması yanma koşullarının iyileşmesi ve setan sayısının yüksek olması ile açıklanabilir.

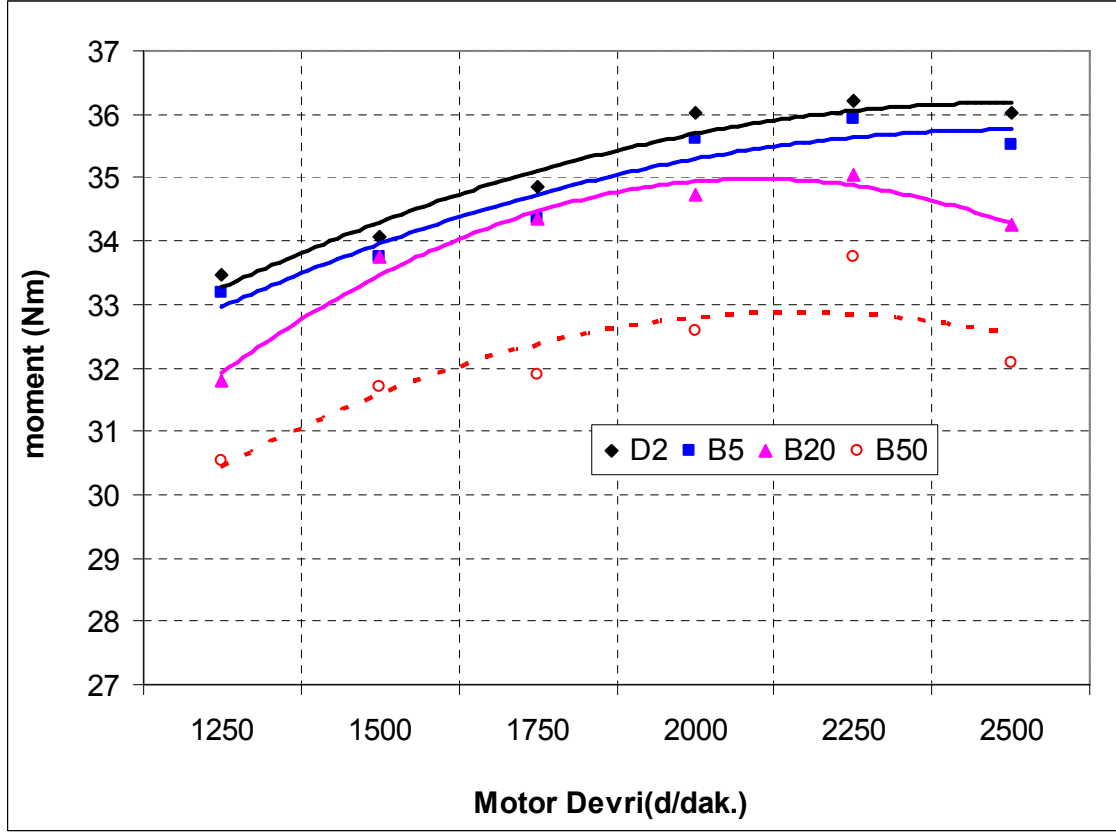
Biyodizel-D2 karışımları ile yapılan bazı deneylerde motor momentinin ve nadiren de motor gücünün D2 yakıtından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise biyodizel yakıtların yüksek viskozitesinden dolayı yakıt pompası plancırı ve enjektör iğnesinde oluşan geri kaçakların azalmasıdır.

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların tam yükte motor devrine bağlı moment değişimleri şekil 5'te görülmektedir.

Motor tam gaz konumuna getirilip gaz pedalı sürekli bu konumda tutulmuştur. Bu durumda dinamometrenin yük artırma düğmesi ile motor yüklenmeye başlanmış ve 1250, 1500, 1750, 2000, 2250 ve 2500 d/d'da moment değerleri ölçülmüştür. Şekilde görüldüğü üzere D2 ve B5 yakıtlarında motorun tüm devirlerinde moment değerleri birbirine yakın seyretmiş ve B20 özellikle de B50 yakıtından daha yüksek çıkmıştır.

Bu durumun motorun düşük devirlerinde hava fazlalık katsayısının düşük kalmasından dolayı silindir içine yeterli düzeyde hava alınamaması ve yakıtın yüksek viskozitesinden dolayı havanında az olması nedeni ile ve yakıtın hava ile iyi atomize

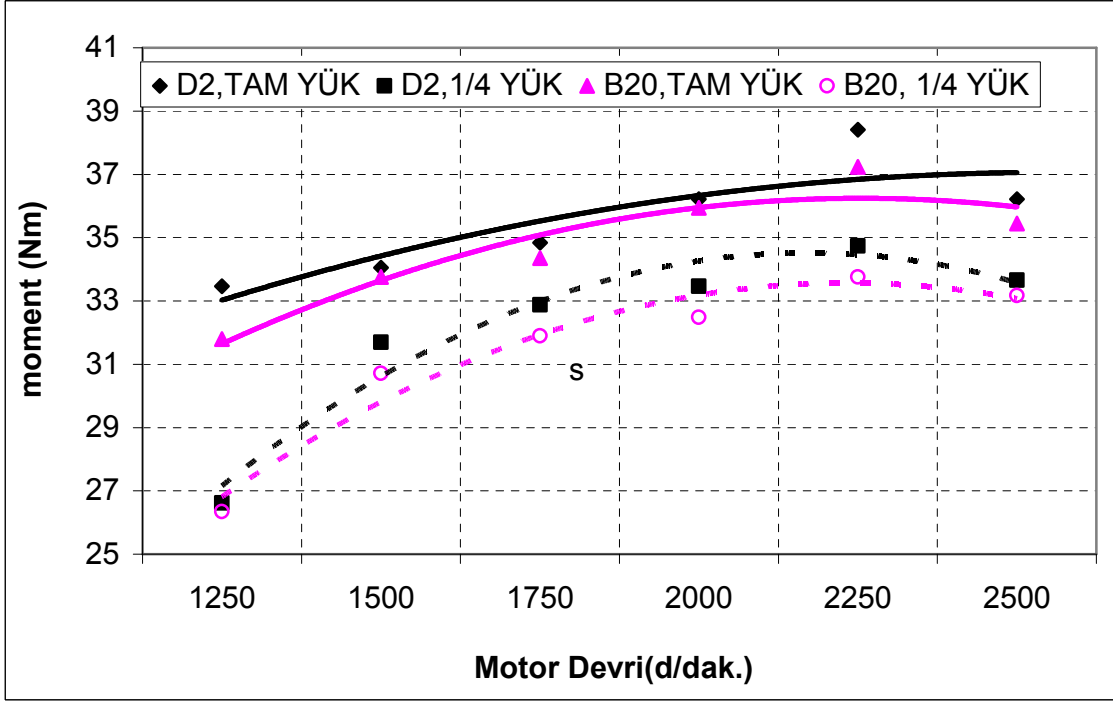
olamamasından kaynaklandığı üzerinde durulmaktadır. Yüksek devirlerde ise viskozite ve yoğunluktan dolayı pompadan gönderilen yakıt miktarının azalmasından kaynaklandığı sanılmaktadır.



Şekil 5. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtların tam yükte motor devrine bağlı moment değişimleri

B20 yakıtında motor momenti motorun düşük devirlerinde ve 2200 d/d'dan sonra D2'ye nazaran çok daha düşük seviyelerde kalmıştır. Bu fark 3500 d/d'da % 4,71 oranına kadar yükselmiştir.

Dizel yakıtı ve B20 yakıtının tam yükte ve $\frac{1}{4}$ yük durumunda motor devrine bağlı moment değişimleri karşılaştırmalı olarak şekil 6'da görülmektedir.



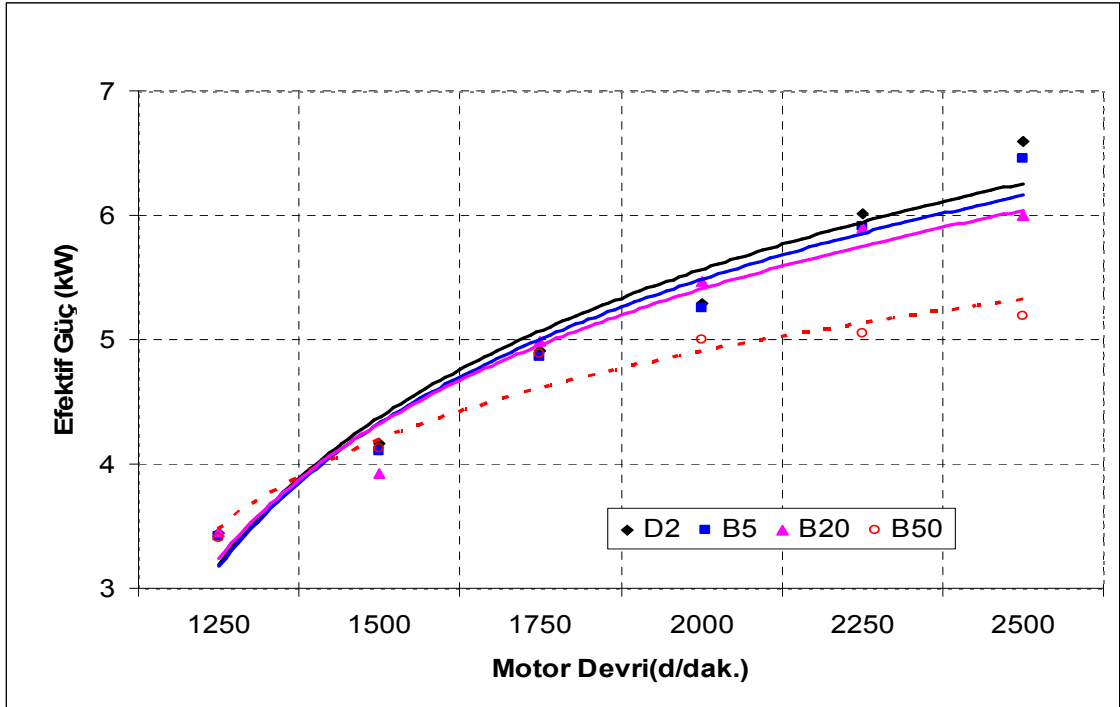
Şekil 6. D2 ve B20 yakıtların tam yükte ve 1/4 yükte motor devrine bağlı moment değişimleri

12.1.2. Motor Gücü

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında gücün 1/2 yükte motor devrine bağlı değişimi şekil 7'de görülmektedir.

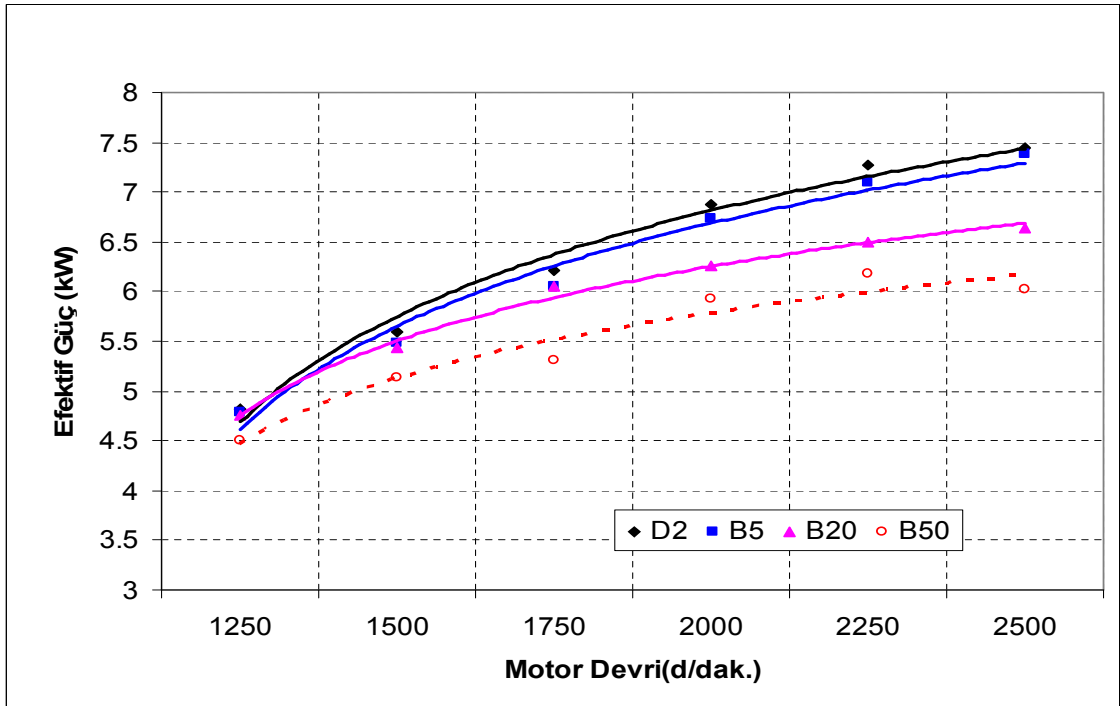
Dizel yakıtı ve tüm yakıtlar için maksimum güç 3500 d/d'da elde edilmiş ve bu devirden sonra düşmeye başlamıştır. Bütün devirlerde ve bütün yüklerde D2 yakıtında güç değerleri dizel yakıtı-PYME karışımlarından elde edilen güç değerlerinden daha yüksek çıkmış ve karışımdaki metil ester oranı arttıkça bu fark daha da belirginleşmiştir.

Viskoziteden dolayı yüksek devirlerde atomizasyonun kötüleşmesi sonucu yanma alternatif yakıtlar için kötüleşmektedir. Yakıtın viskozitesinin yüksek olması enjektörden daha iri tanecikler halinde püskürtülmesine ve iyi atomize olamamasına neden olmaktadır. Bu durum püskürtmeden sonra yakıtın geç tutuşmasına yani tutuşma gecikmesi periyodunun uzamasına neden olmaktadır. Tutuşma gecikmesi periyodunun uzaması yanmayı kötüleştirmekte ve dizel vuruntusuna sebebiyet vermektedir. Sonuç olarak motor gücü de düşmektedir.



Şekil 7. D2 ve D2-metil ester karışımları kullanılarak 1/2 yükte motor devriyle güç değişimi

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımları kullanılarak tam yükte motor devriyle güç değişimi Şekil 8'de görülmektedir.



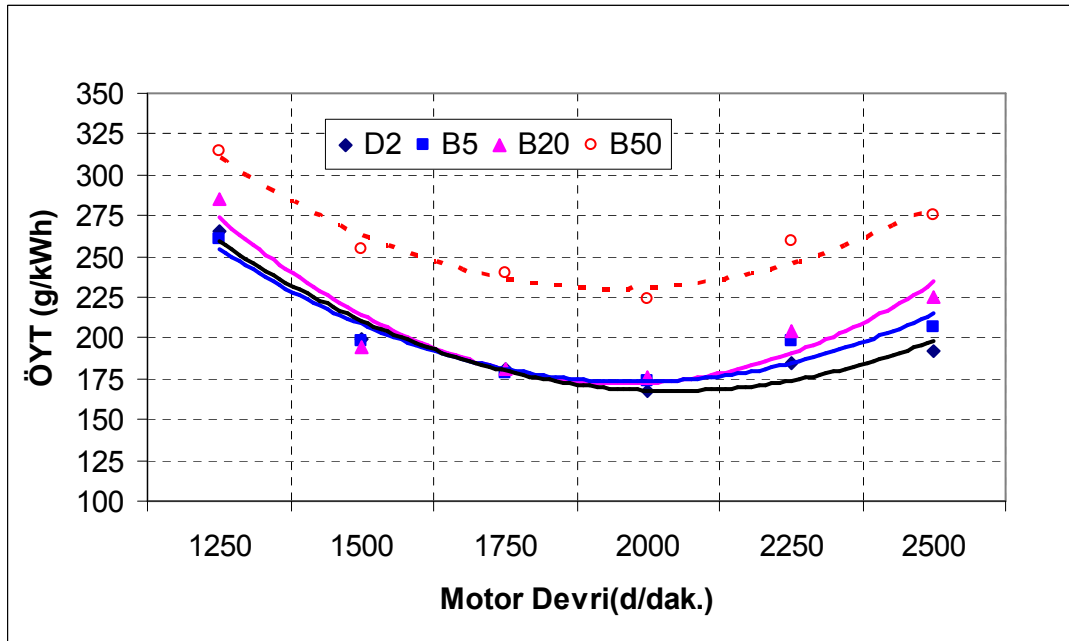
Şekil 8. D2 ve D2-metil ester karışımları kullanılarak tam yükte motor devriyle güç değişimi

Biyodizel karışımı yakıtlarında güç değerlerindeki bu azalmanın PYME'nin yüksek viskozite ve yüksek yoğunluktan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bununla beraber pamuk yağı metil esterinin ısı değerinin dizel yakıtından az olması nedeniyle ısı veriminde düşüş ve bunun sonucunda da güç düşmektedir.

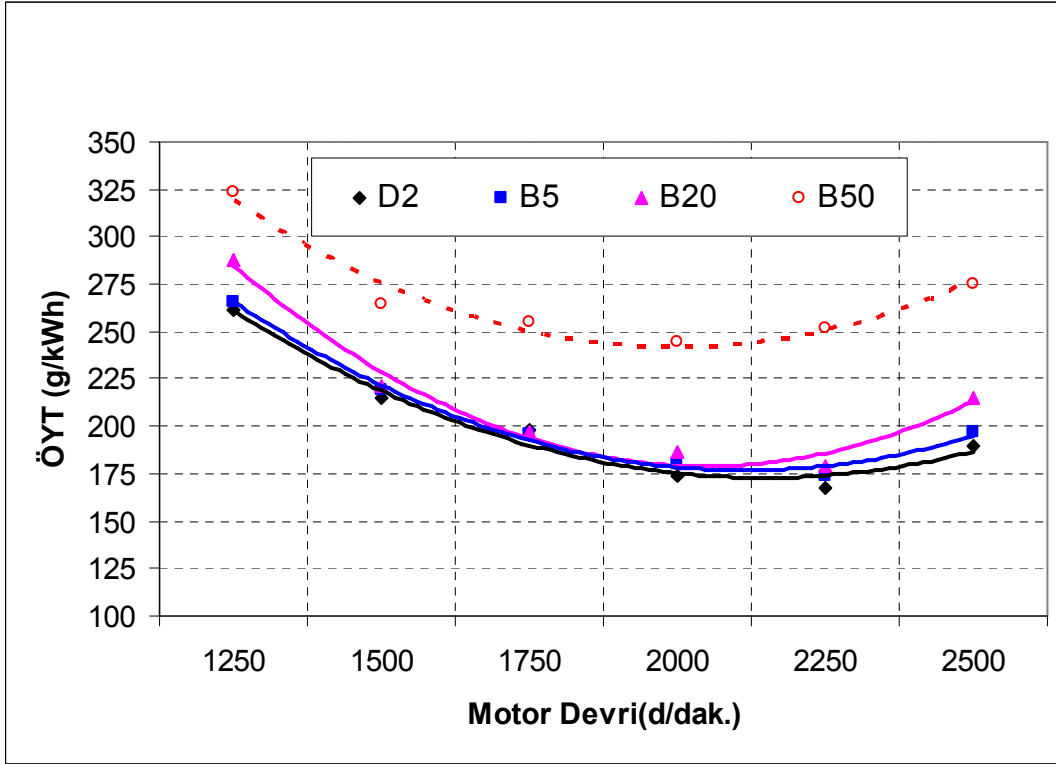
12.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında $\frac{1}{2}$ yükte ve tam yükte motor devrine bağlı ÖYT değişimleri şekil 9'da ve şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 9. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtlarında $\frac{1}{2}$ yükte motor devrine bağlı ÖYT değişimleri

Şekil.9 incelendiğinde D2, B5 ve B20 yakıtlarında özgül yakıt tüketimleri yakın değerlerde seyretmiş B50 yakıtı için ise özgül yakıt tüketiminin arttığı görülmüştür. Bütün yakıtlar için en düşük özgül yakıt tüketimi 2200 d/d'da kaydedilmiştir.



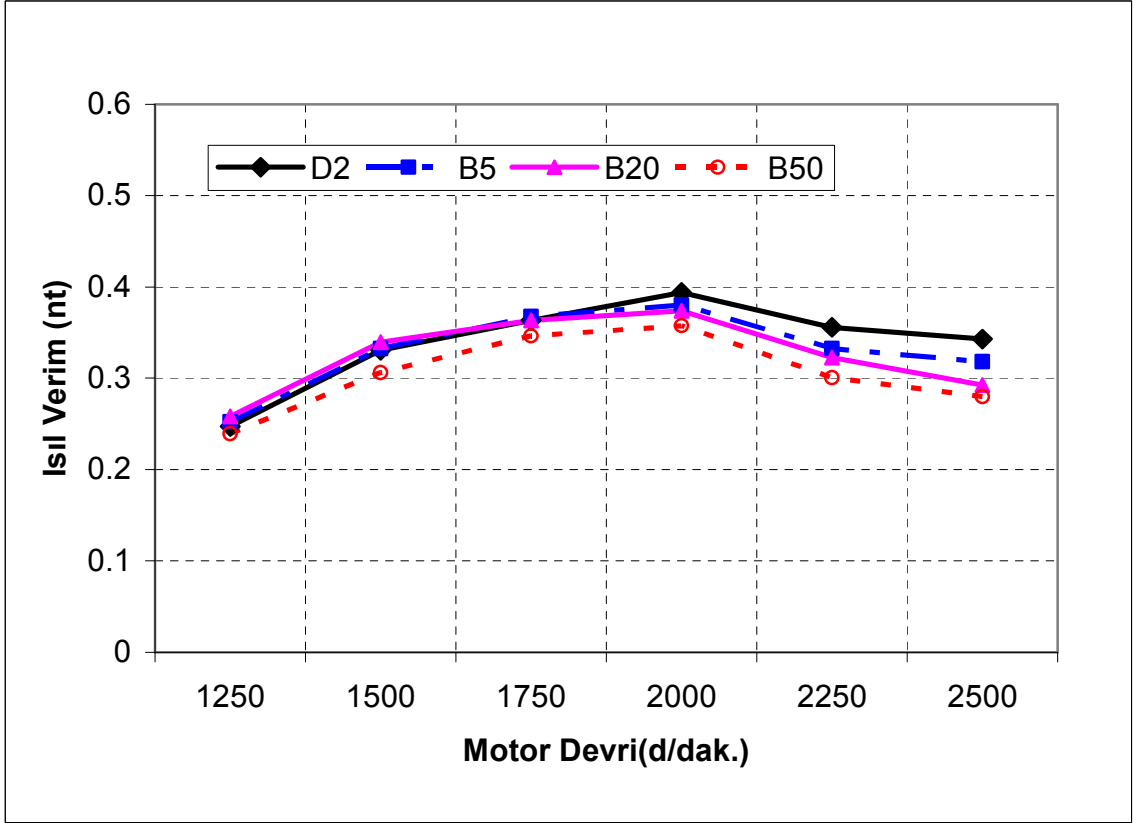
Şekil 10. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtlarında tam yükte motor devrine bağlı ÖYT değişimi

Motor $\frac{1}{2}$ yükte yüklenmişken minimum özgül yakıt tüketimi 2000 d/d'da tespit edilmiştir. Bu devirde ÖYT, D2 yakıtında 160 g/kWh, B5 yakıtında 169 g/kWh, B20 yakıtında 173 g/kWh ve B50 yakıtında 181 g/kWh olarak tespit edilmiştir. Karışımda metil ester oranı arttıkça ÖYT'nin arttığı ve bu farkın gittikçe daha hızlı arttığı görülebilmektedir. Bu farkın nedeni ise yüksek viskozite ve düşük ısı değerinden dolayı aynı gücü elde edebilmek için daha fazla yakıt yakılması gereğinden kaynaklandığı kanısına varılmıştır.

Motor tam yük altında çalışırken şekil 10'da görüldüğü gibi minimum özgül yakıt tüketimi bütün yakıtlarda 2250 d/d'da tespit edilmiştir. Bu devirde motor tam yük altında çalışırken ÖYT, D2 yakıtında 168 g/kWh, B5 yakıtında 174 g/kWh, B20 yakıtında 179 g/kWh ve B50 yakıtında 202 g/kWh olarak ölçülmüştür. Bu deneyde ÖYT, B50 yakıtında D2 yakıtına oranla %20,23 daha fazla çıkmıştır. Pamuk yağı metil esterinin ÖYT'nin dizel yakıtına göre daha fazla olmasının en önemli nedeni bu yakıtın alt ısı değerinin dizel yakıtına göre daha düşük olmasıdır. Isıl değer düşük olması birim güç başına tüketilen yakıt miktarının artmasına neden olmaktadır.

12.1.4. Termik Verim

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların $\frac{1}{2}$ yükte motor devrine bağlı Isıl Verimi şekil 11’de görülmektedir.

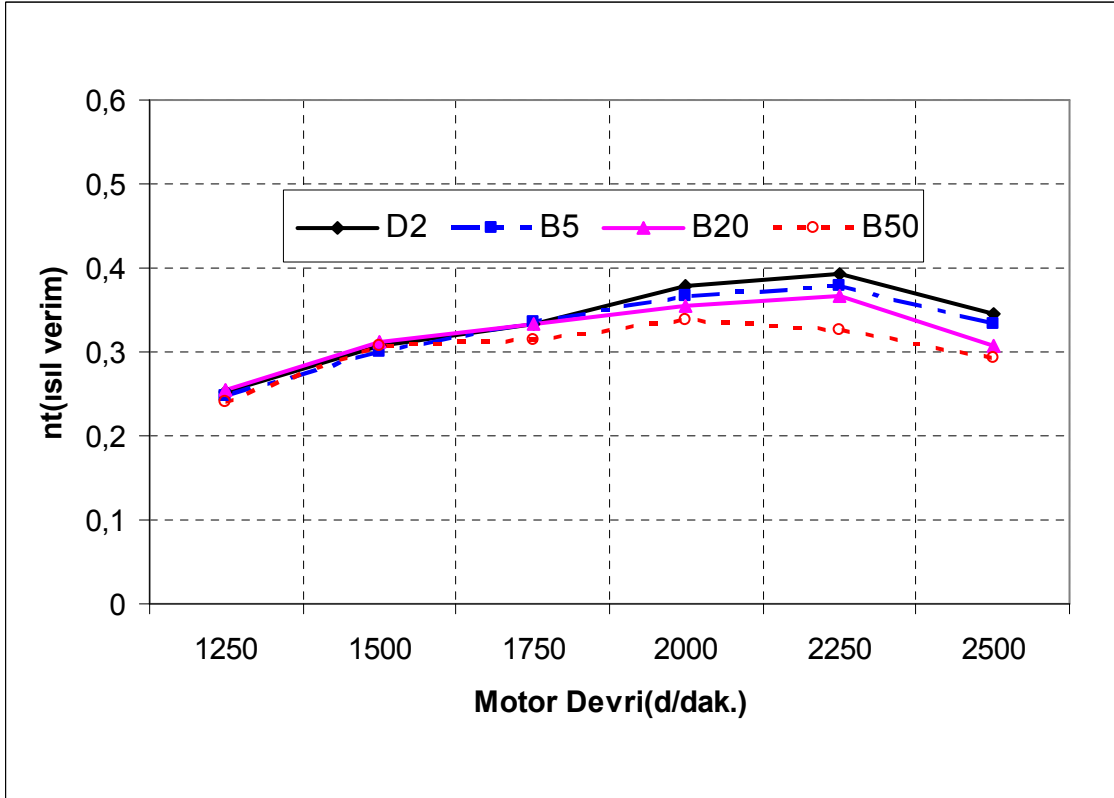


Şekil 11. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtlarında $\frac{1}{2}$ yükte motor devrine bağlı Isıl Verim değişimi

Gerek D2 ile yapılan testlerde gerekse PYME-D2 karışımları ile yapılan testlerde motorun 2000 d/d devri civarında maksimum Isıl Verim elde edilmiştir.

Motor $\frac{1}{2}$ yük altında çalışırken D2 yakıtında termik verim %39, B5 yakıtında %38, B20 yakıtında %37 ve B50 yakıtında %35 olarak 2000 d/d’da tespit edilmiştir.

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların tam yükte motor devrine bağlı ısı verim değişimi şekil 12’de görülmektedir.



Şekil 12. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtlarında tam yükte motor devrine bağlı Isıl Verim değişimi

Motor tam yükte altında çalışırken D2 yakıtında termik verim %39, B5 yakıtında %38, B20 yakıtında %36 ve B50 yakıtında %32 olarak 2250 d/d civarındaki devirlerde tespit edilmiştir.

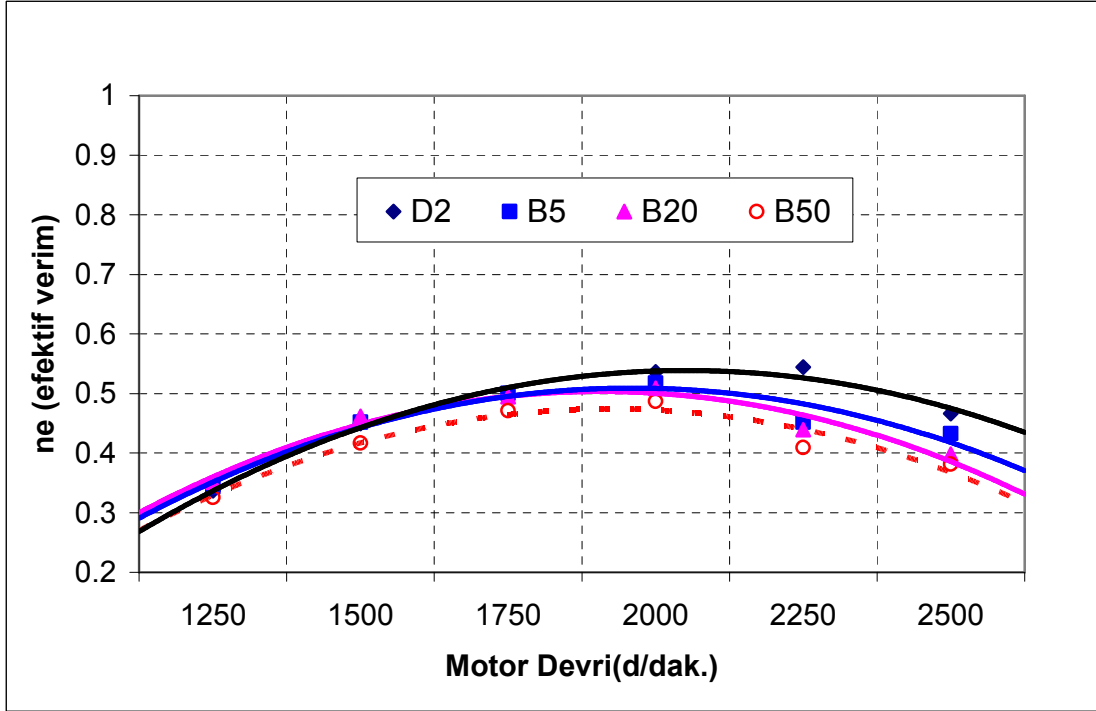
Yapılan bazı çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir.(Fort ve Blumberg 1982; Pryor ve ark. 1983; Thomson ve ark. 1998; Mazed 1984; Schumacher 1999).

Isıl verimdeki bu düşüşün temel nedeninin metil ester yakıtlarda yakıt tüketiminin yüksek olması bunun yanı sıra bu yakıtların alt ısıl değerlerinin D2 yakıtından daha düşük olduğu kanısına varılmıştır.

Bir diğer öngörü ise metil ester yakıtlarında yanma sonu sıcaklıklarının düşük seviyede kalması sonucunda ısıl verimin düştüğüdür.

12.1.5. Efektif Verim

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların $\frac{1}{2}$ yükte motor devrine bağlı Efektif Verimi şekil 13'te görülmektedir.

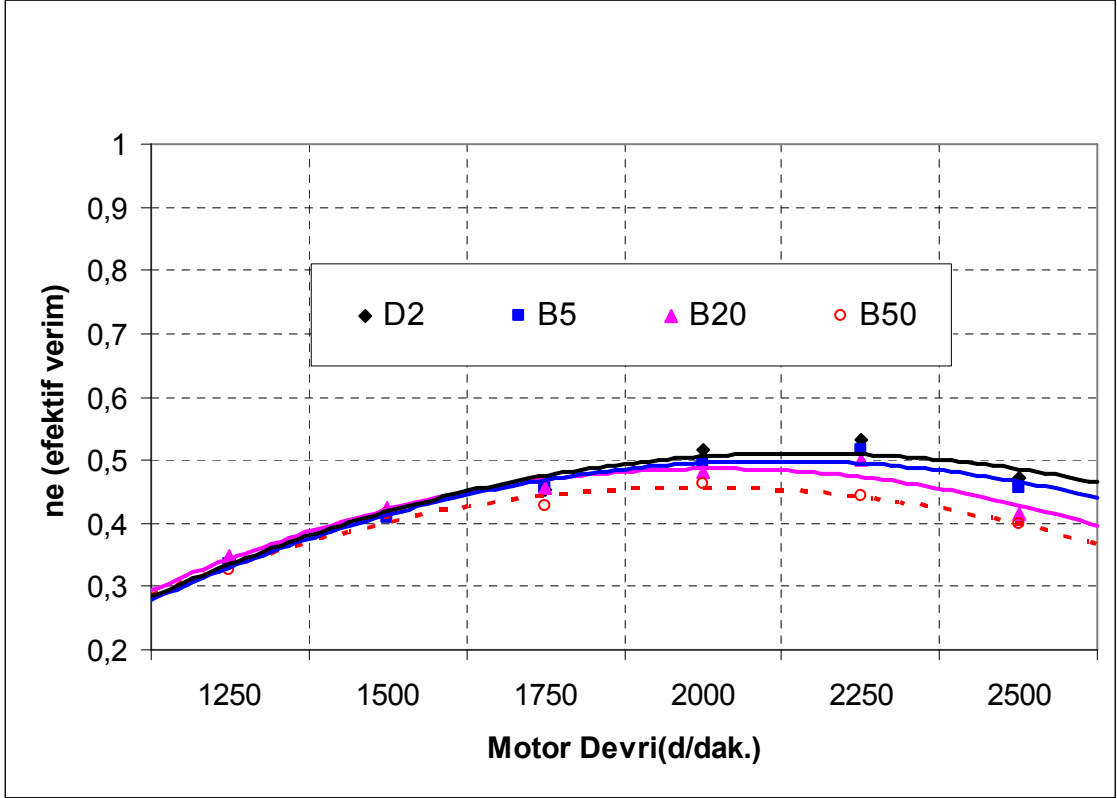


Şekil 13. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtlarında $\frac{1}{2}$ yükte motor devrine bağlı Efektif Verim değişimi

Motor $\frac{1}{2}$ oranında yüklenmişken motordan maksimum momentin alındığı motor devri olan 2000 d/d'da D2 yakıtında efektif verim %53, B5 yakıtında efektif verim %51, B20 yakıtında efektif verim %50 ve B50 yakıtında %48 olarak tespit edilmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi karışımdaki metil ester oranı arttıkça efektif verimde bir düşme gözlemlenmektedir.

Biyodizel yakıtlar için maksimum efektif verim değerleri 2000 d/d'da elde edilmesine karşın D2 yakıtında ise maksimum efektif verim(%54,4) 2250 d/d'da elde edilmiştir.

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların tam yükte motor devrine bağlı efektif verim değişimi şekil 14'te görülmektedir.



Şekil 14. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtlarında tam yükte motor devrine bağlı efektif Verim değişimi

Motor tam yük altında çalışırken motordan maksimum momentin alındığı motor devri olan 2250 d/d'da D2 yakıtında efektif verim %53, B5 yakıtında efektif verim %51, B20 yakıtında efektif verim %50 ve B50 yakıtında %44 olarak tespit edilmiştir.

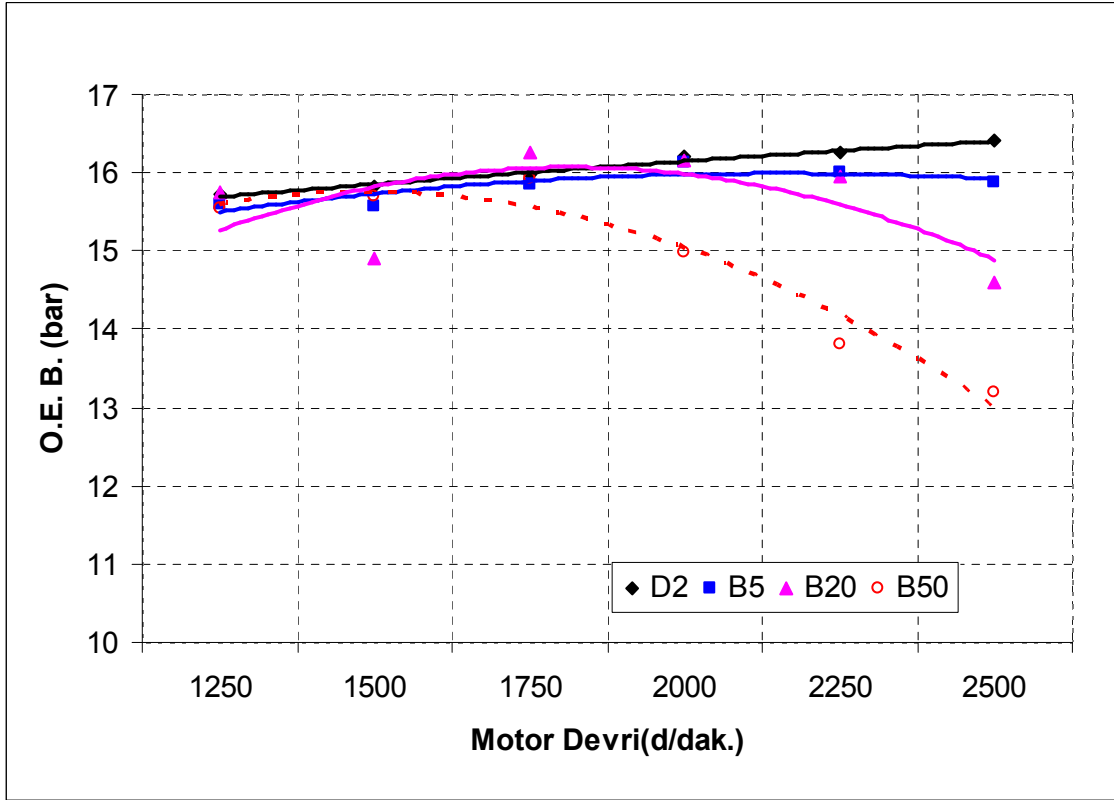
Ancak B50 yakıtında maksimum efektif verim 2000 d/d'da elde edilmiş olup %46 olarak tespit edilmiştir.

Bilindiği üzere efektif verimi etkileyen en önemli parametre özgül yakıt tüketimidir. Dolayısı ile en yüksek efektif verim, özgül yakıt tüketiminin en düşük, gücün en yüksek olduğu çalışma koşuludur.

12.1.6. Ortalama Efektif Basınç

Motor momentini etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesi de ortalama efektif basınçtır. Motor gerçek çevrim ile çalışırken verdiği güce eşdeğer bir güç vermesi için iş zamanı(stroku) boyunca pistonu etki etmesi gereken basınçtır. Buna paralel olarak motor momenti ortalama efektif basınç ile doğru orantılıdır.

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların $\frac{1}{2}$ yükte motor devrine bağlı ortalama efektif basınç değişimi şekil 15'te görülmektedir.

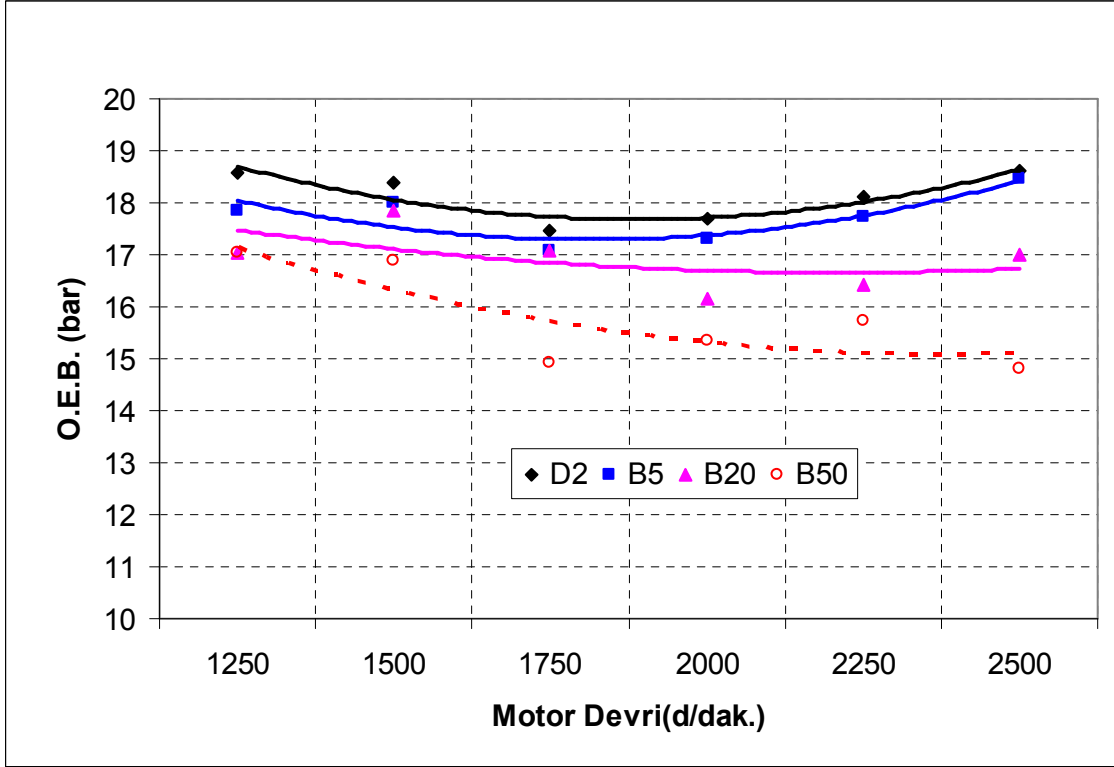


Şekil 15. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtlarında $\frac{1}{2}$ yükte motor devrine bağlı ortalama efektif basınç değişimi

Motor $\frac{1}{2}$ oranda yüklü çalışmada D2 yakıtında maksimum ortalama efektif basınç(16,4 bar) 2500 d/d'da, B5 yakıtında maksimum ortalama efektif basınç(16,1 bar) 2000 d/d'da, B20 yakıtında maksimum ortalama efektif basınç(16,2 bar) 1750 d/d'da ve B50 yakıtında maksimum ortalama efektif basınç (15,9 bar) 1750 d/d'da elde edilmiştir.

Buradan da anlaşılacağı gibi karışımdaki metil ester oranı arttıkça maksimum efektif basıncın alındığı devir de buna paralel olarak düşmüştür. Bunun en önemli nedeni metil ester yakıtlarda, devir sayısının artışı ile güç artışının birbirine paralel olmamasıdır. Yani devir sayısının artmasına karşılık gücün yeteri kadar artmaması ortalama efektif basıncı düşürmüştür.

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların tam yükte motor devrine bağlı ortalama efektif basınç değişimi şekil 16'da görülmektedir.



Şekil 16. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtlarında tam yükte motor devrine bağlı ortalama efektif basınç değişimi

Motor tam yüklü durumda çalışırken bütün yakıtlar için en yüksek ortalama efektif basınç değerleri elde edilmiş olup bu değerler; D2 yakıtında maksimum ortalama efektif basınç(18,6 bar) 2500 d/d'da, B5 yakıtında maksimum ortalama efektif basınç(18,4 bar) 2500 d/d'da, B20 yakıtında maksimum ortalama efektif basınç(17,8 bar) 1500 d/d'da ve B50 yakıtında maksimum ortalama efektif basınç (17 bar) 1250 d/d'da elde edilmiştir.

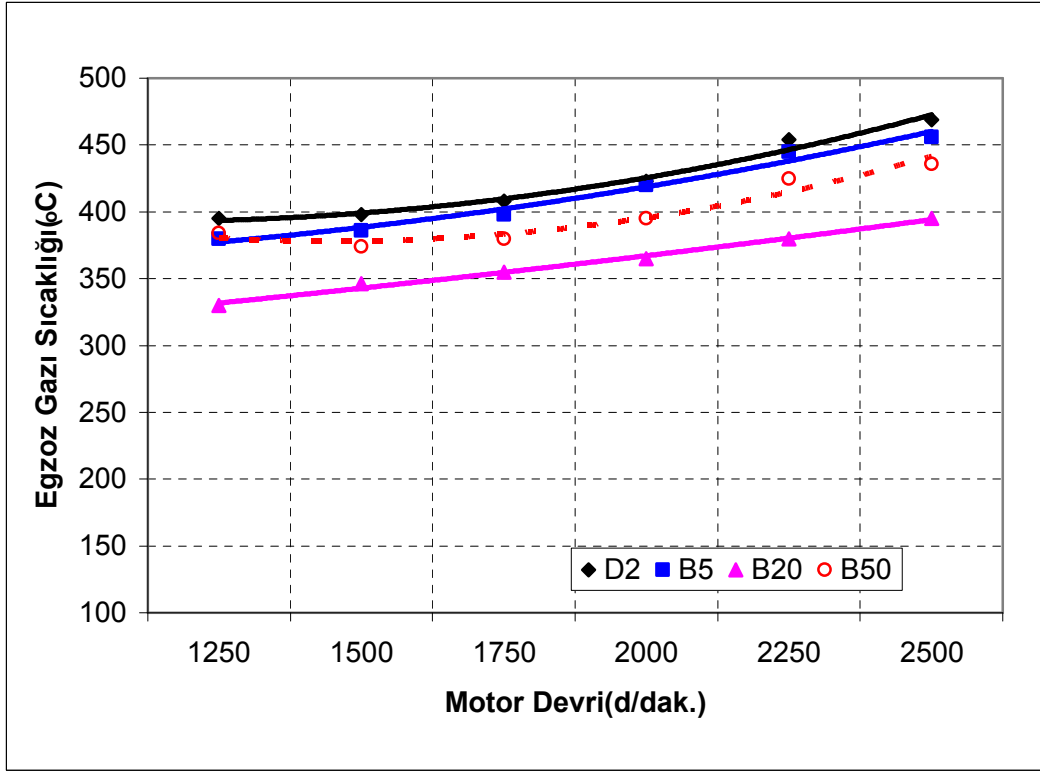
Şekilde görülebileceği üzere motorun ortalama efektif basınç değerleri azalan bir fonksiyon halini almış olup bunun esas nedeni devir sayısına paralel olarak gücün yeterli oranda artmamasıdır.

12.1.7. Egzoz Gazı Sıcaklığı

Egzoz gazlarının sıcaklık değişimi tutuşma gecikmesinden kaynaklanmaktadır. Setan sayısı daha düşük olan biyodizellerde tutuşma gecikmesi daha uzun olmakta ve yanma daha yavaş olmaktadır [O.M.I. Nwafor, G. Rice and A.I. Ogbonna, 2000]. Bu

durum yanmanın genişleme zamanına sarkmasına ve egzoz gazlarının ve yağlama yağının sıcaklığın artmasına neden olmaktadır.

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların tam yükte motor devrine bağlı egzoz gazı sıcaklığı değişimi şekil 17’de görülmektedir.



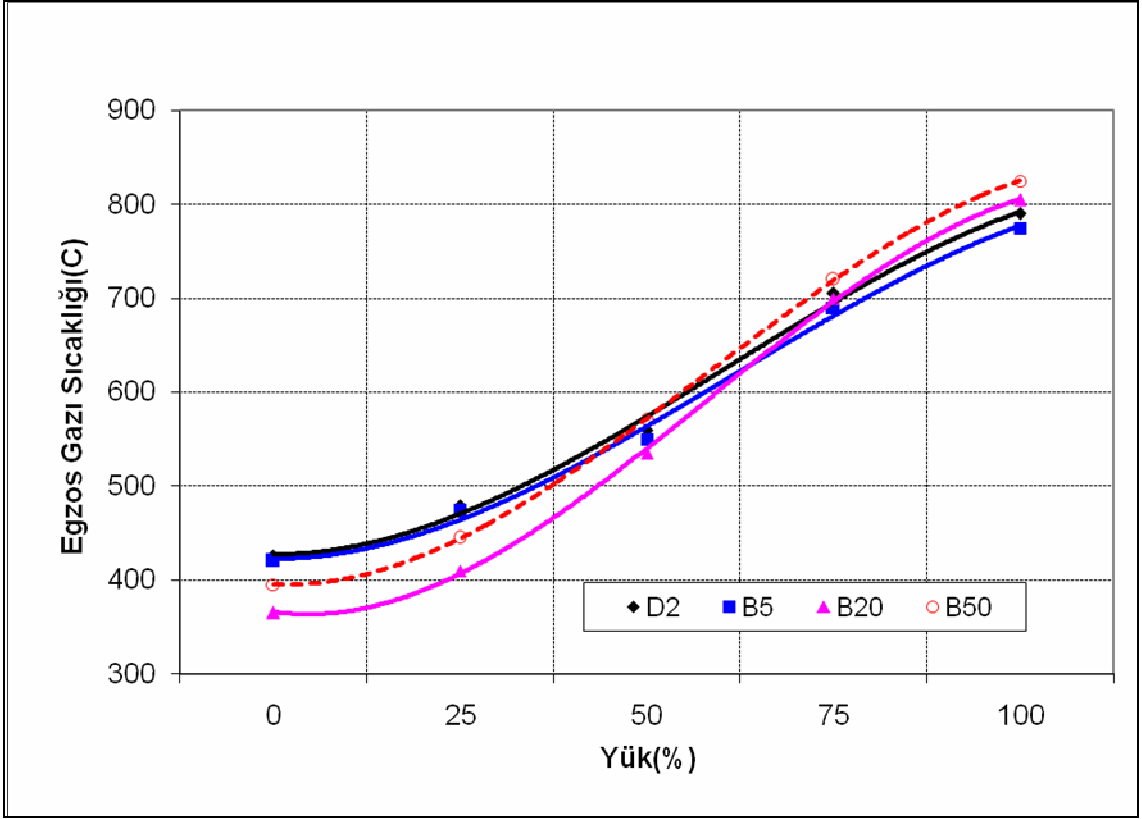
Şekil 17. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtlarında motor devrine bağlı egzoz gazı sıcaklık değişimi

Bütün yakıtlar için egzoz gazı sıcaklığının devir sayısına bağlı ve birbirine paralel olarak arttığı şekil 23’te görülmektedir. D2 ve B5 yakıtlarında egzoz gazı sıcaklıkları birbirine çok yakın değerlerde seyretmiştir. B50 yakıtında egzoz gazı sıcaklığı bu iki yakıtı yakın değerlerde saptanmış olup motorun düşük devirlerinde B5 yakıtından daha yüksek çıkmıştır.

En düşük egzoz gazı sıcaklık değerleri B20 yakıtında elde edilmiştir. Bu düşüşün nedeni biyodizel yakıtlarında ısıl değerinin D2 yakıtına göre daha düşük olmasıdır.

Bu durumun tersine B50 yakıtında egzoz gazı sıcaklığının B20 yakıtından yüksek çıkmasının nedeninin ise B50 yakıtında yanmanın kötüleşmesi ve egzoz manifolduna sarkması ve yanmanın orada da devam ettiği düşünülmektedir.

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların sabit motor devrinde yüke bağlı egzoz gazı sıcaklığı değişimi şekil 18'de görülmektedir.



Şekil 18. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtlarında 2000 d/d sabit motor devrinde yüke bağlı egzoz gazı sıcaklık değişimi

Şekilde de görülebileceği gibi motor kısmi yük altında çalışırken dizel yakıtı ve B5 yakıtlarında egzoz gaz sıcaklıkları B20 ve B50 yakıtlarına göre daha yüksek olmuştur. Bunun en önemli nedeni dizel yakıtı ve B5 yakıtının alt ısı değerlerinin B20 ve B50 yakıtlarına göre daha yüksek olmasıdır. Böylece bu iki yakıtta yanma sonucu sıcaklıkları yüksek ve dolayısıyla egzoz gazı sıcaklıkları da daha yüksek çıkmıştır.

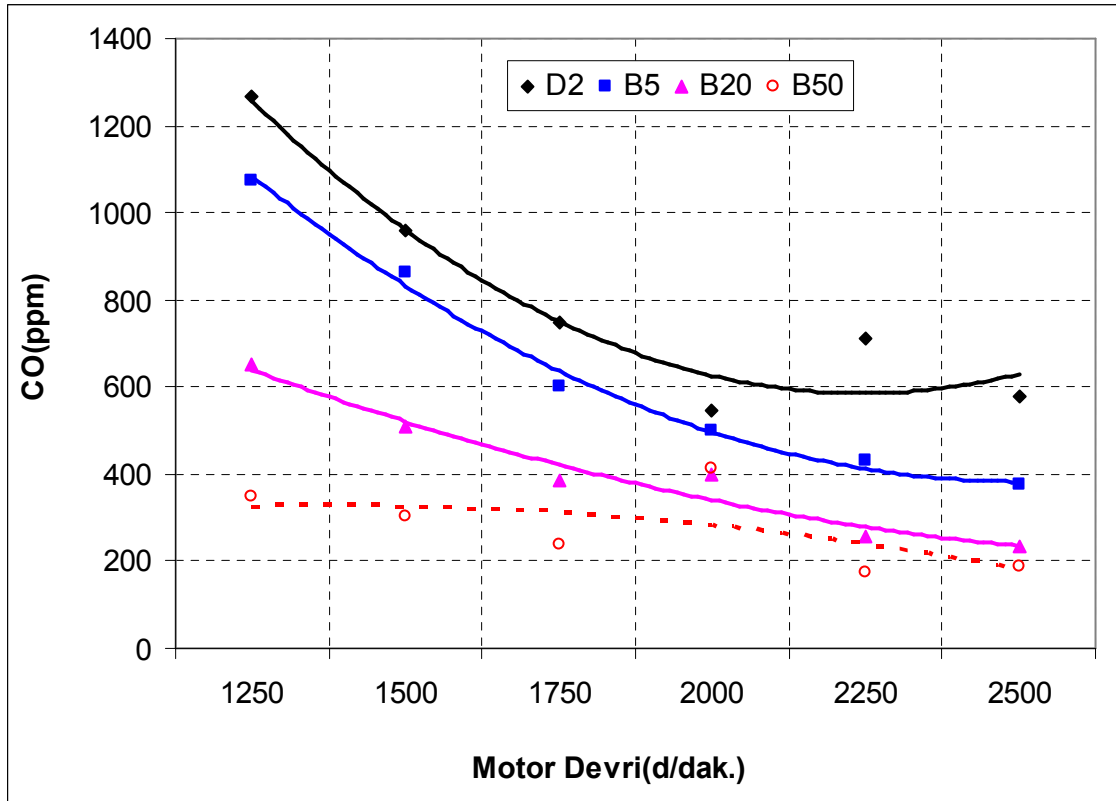
Motor yüklendikçe B20 ve B50 yakıtlarında yanmanın kötüleşmesi ve egzoz manifolduna sarkması sonucu bu iki yakıtta egzoz gazı sıcaklıkları B5 ve D2 yakıtlarına göre daha hızlı yükselmiştir.

12.2. EGZOZ EMİSYONLARI

12.2.1. CO(Karbon Monoksit) Emisyonları

Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersizliğidir. Hava fazlalık katsayısı(HFK) 1'den küçük olduğu durumlarda yani yakıt-hava karışımı içinde hava oranı az ise yanma işlemi yetersiz O₂ ortamı içinde gerçekleşecek ve yakıtın yapısında bulunan karbonun tümü CO₂'ye dönüşemeyecek ve CO olarak egzozdan dışarı atılacaktır.

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında motor devrine bağlı CO emisyonlarının değişimi şekil 19'da görülmektedir. Şekilde de açıkça görüldüğü gibi test edilen bütün biyodizel yakıtlarında CO emisyonları D2 yakıtından daha düşük çıkmıştır.

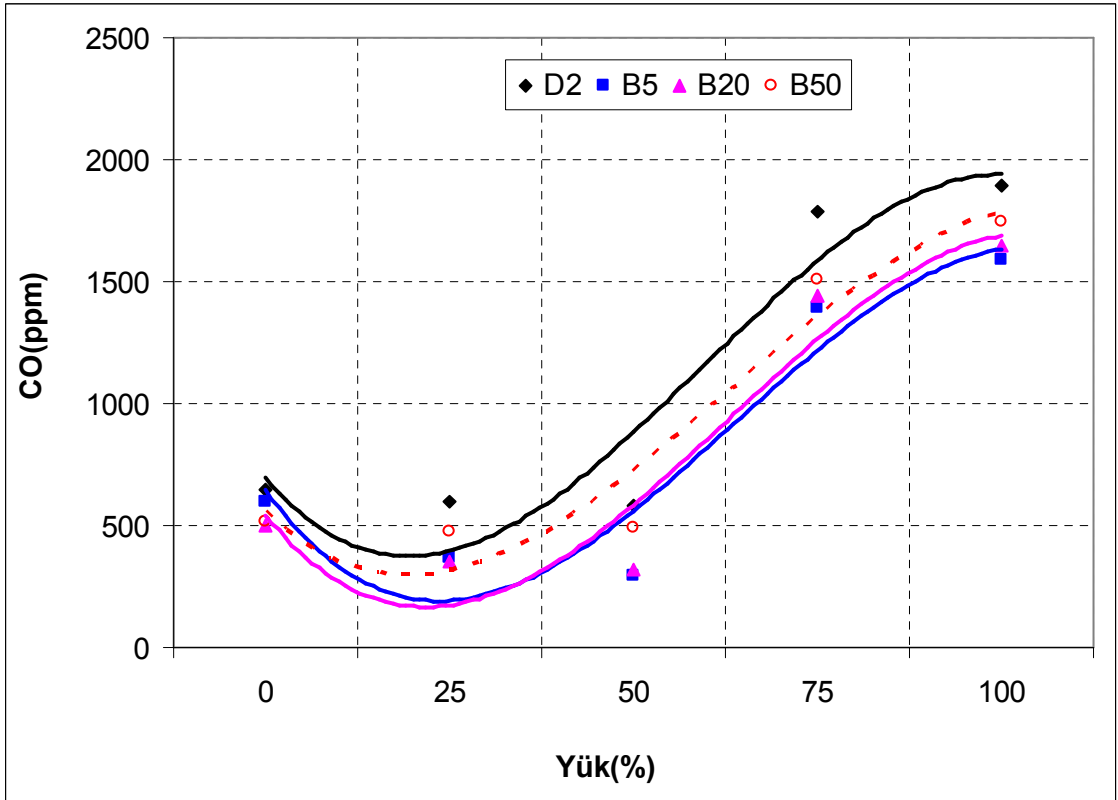


Şekil 19. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtlarında motor devrine bağlı CO emisyonları değişimi

Biyodizel yakıtlarda, HFK'ya bağlı kalmaksızın yakıtın bünyesinde oksijen oranı fazla olduğundan dolayı karbonlar yeterli oksijen ortamı bularak CO₂'ye dönüşmektedirler. Bu nedenle CO emisyonları Biyodizel kullanımında D2 yakıtına oranla az olmaktadır.

Ancak viskozitenin yüksek olması biyodizel yakıtlarda CO miktarını artırıcı bir etkidir.

CO emisyonlarının düşük devirlerde yüksek çıkması; düşük motor devirlerinde silindir cidarlarının yüksek hızlara nazaran daha soğuk olması, yanma odası basıncının düşük olması, hava hareketinin yetersiz kalması ve yanma hızının düşük değerlerde olması ile açıklanabilir.

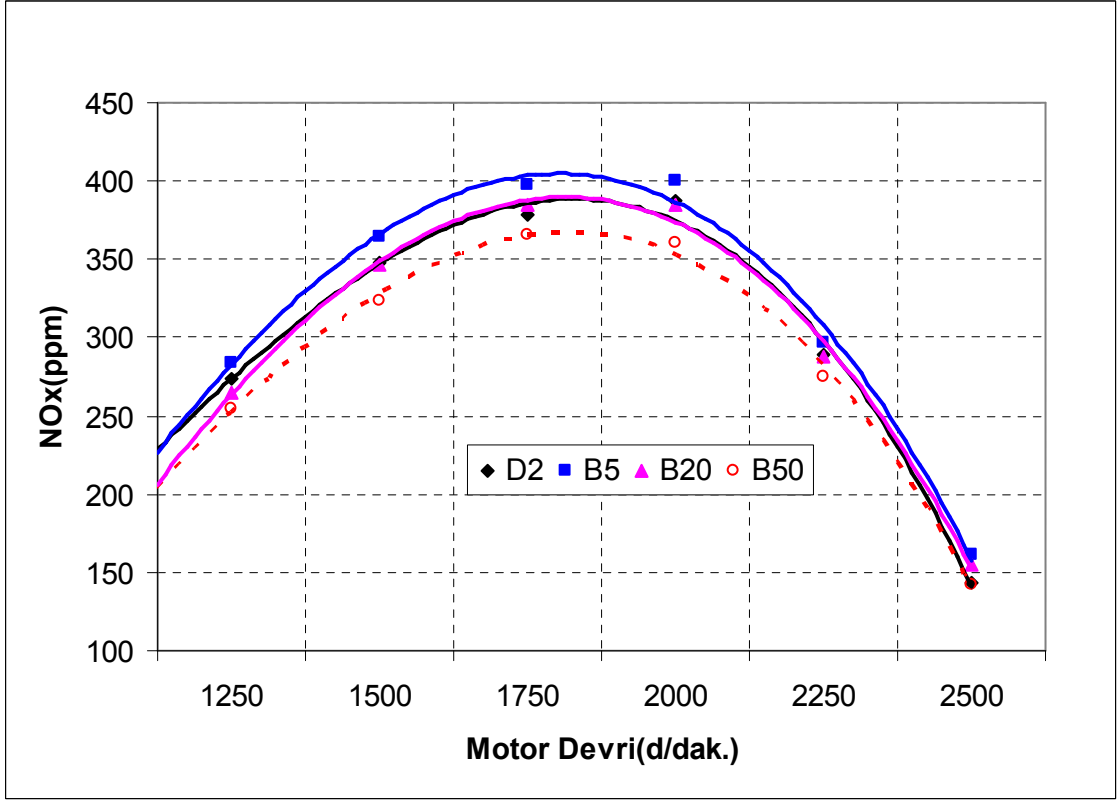


Şekil 20. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtlarında 2000 d/d sabit motor devrinde yüklemeye bağlı CO emisyonlarının değişimi

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların sabit motor devrinde yüke bağlı CO emisyonlarının değişimi şekil 20’de görülmektedir. Buna göre bütün metil ester yakıtlarda CO emisyonları D2 yakıtında daha düşük çıkmıştır. Motora uygulanan yük %50’yi aşınca egzoz emisyonları bütün yakıtlarda hızlı bir şekilde yükselişe geçmiştir. Bu yükselme D2 yakıtında normal olarak görülürse de biyodizel yakıtlarda yükselmesinin ana nedeni yüksek viskoziteden dolayı yanmanın kötüleşmesi olabileceği kanısına varılmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi en düşük CO emisyonu değerleri B5 yakıtı kullanımı sonucu elde edilmiştir.

12.2.2. NO_x (Azot Oksit) Emisyonları

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında motor devrine bağlı NO_x emisyonlarının değişimi şekil 21’de görülmektedir.

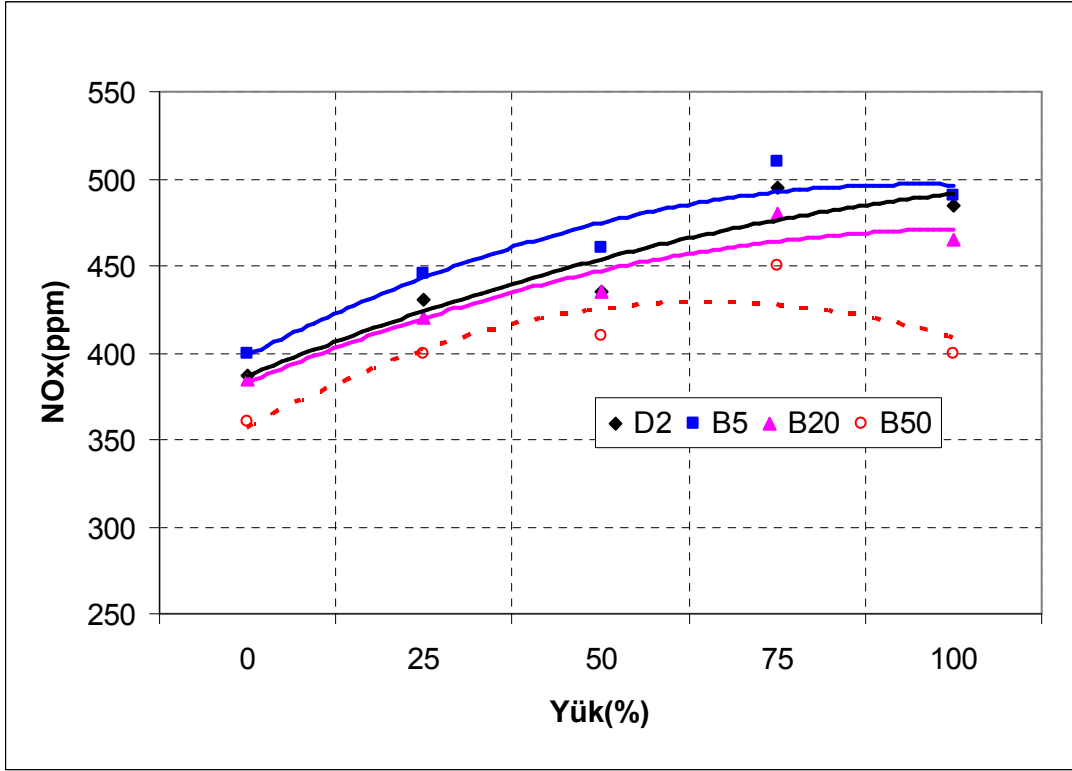


Şekil 21. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında motor devrine bağlı NO_x emisyonları değişimi

Normal şartlarda havanın içindeki azot yanma reaksiyonuna girmez. Ancak yanma odasında yanmada ulaşılan yüksek sıcaklıklar havanın içerisindeki azotun oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler meydana gelmektedir. Azot oksit oluşumunu silindir içerisindeki sıcaklık büyük ölçüde etkiler ve sıcaklık arttıkça azot oksidin hızla arttığı bilinmektedir.

Azot oksit oluşumunu etkileyen bir diğer bir parametre de HFK’ dir. HFK 1’den büyük olursa oksijen oranı arttığından azot oksit oluşumu da artmaktadır.

Şekilde de görülebileceği gibi motor devrine bağlı olarak NO_x emisyonları bütün yakıtlar için önce hızla artmış daha sonra azalma göstermiştir.



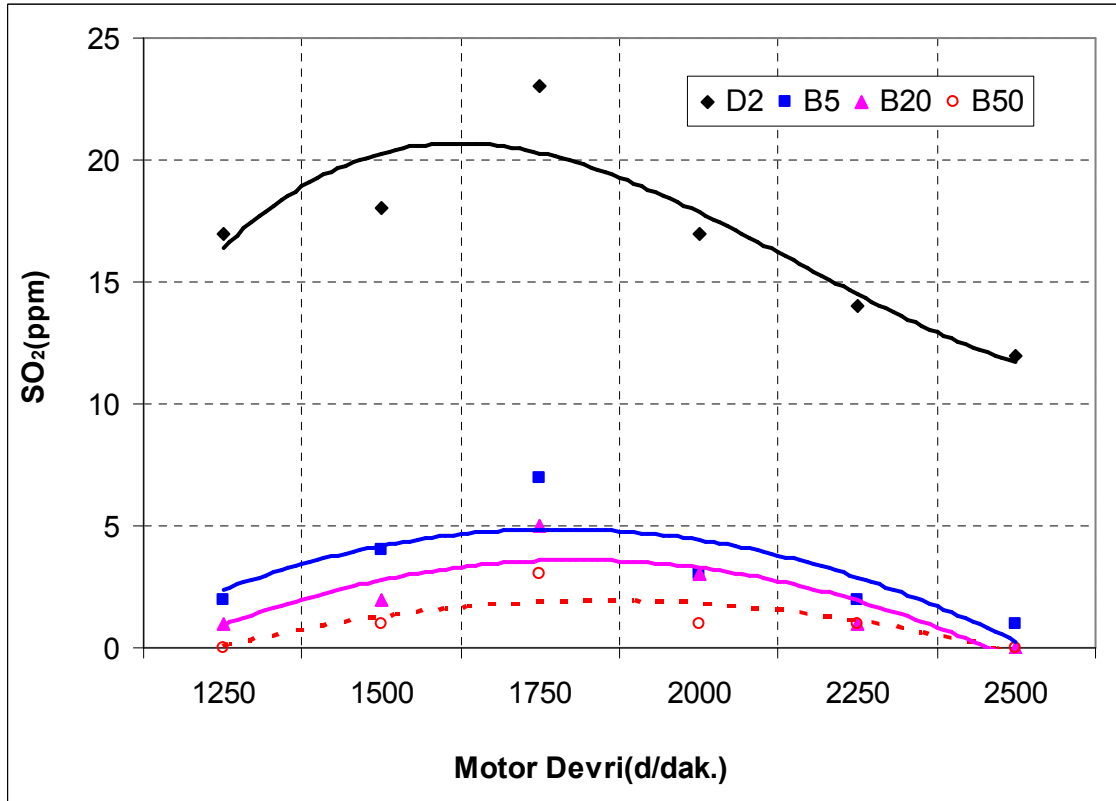
Şekil 22. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında 2000 d/d sabit motor devrinde NO_x emisyonlarının yüke bağlı değişimi

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların sabit motor devrinde yüke bağlı NO_x emisyonlarının değişimi şekil 22’de görülmektedir. Yanma sonu sıcaklıklarının motor yüklendikçe artması bütün karışım yakıtları ve D2 yakıtında NO_x emisyonunu artırmıştır. B5 yakıtında oksijen fazlalığından dolayı yanmanın iyileşmesi sonucu NO_x oluşumu en yüksek değerlerde seyretmiştir. Bütün yüklerde B5 yakıtından kaynaklanan NO_x emisyonu daha yüksek çıkmıştır. Bu durum oksijen sayesinde yanmanın iyileşmesi ve dolayısıyla yanma sonu sıcaklığının artmasıyla ilişkilidir(N. Usta, 2004).

B20 ve B50 yakıtlarında viskozitenin yüksek olması yanma sonucu yüksek sıcaklıklara ulaşımı geciktirmiş ve bunun sonucunda daha az NO_x meydana gelmiştir.

12.2.3. SO₂ (Kükürt dioksit) Emisyonları

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında motor devrine bağlı SO₂ emisyonlarının değişimi şekil 23’te görülmektedir.



Şekil 23. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtlarında motor devrine bağlı SO₂ emisyonları değişimi

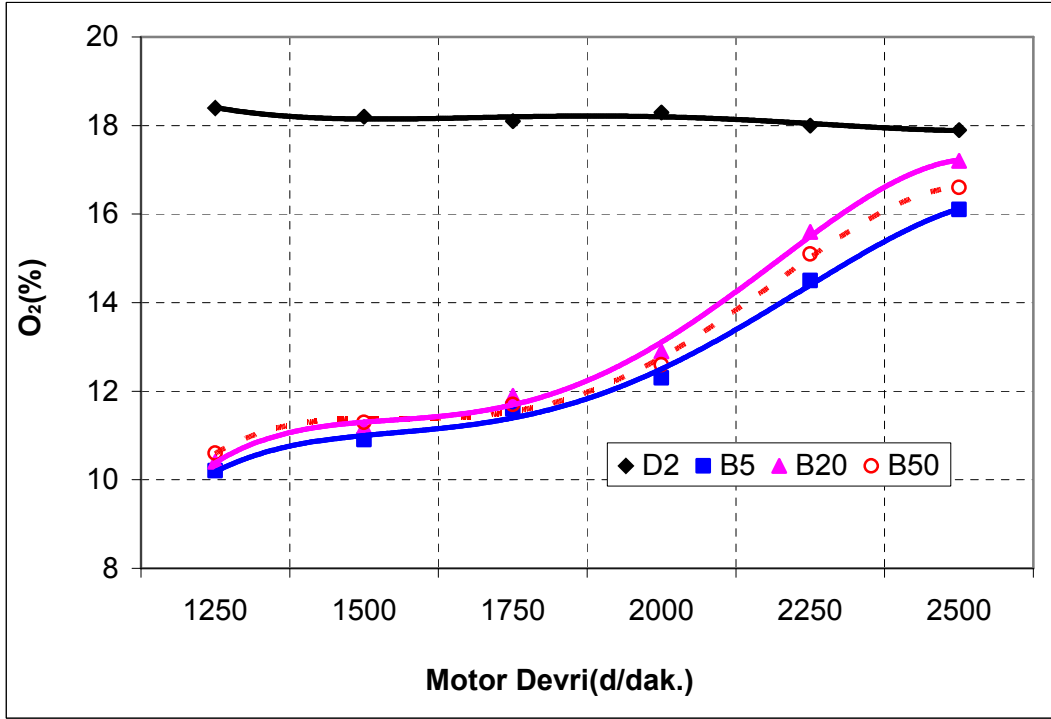
Biyodizel yakıtlar kükürt içermediklerinden dolayı SO₂ emisyonları bütün biyodizel yakıtlarda motorun bütün devirlerinde ve tüm yük durumlarında D2 yakıtından daha düşük çıkmıştır.

Pamuk yağı metil esteri dizel yakıtından çok daha az sülfür içermektedir. Beklendiği gibi karışımlar motorinden daha düşük SO₂ emisyonu üretmiştir.

12.2.4. O₂ (Oksijen) Emisyonu

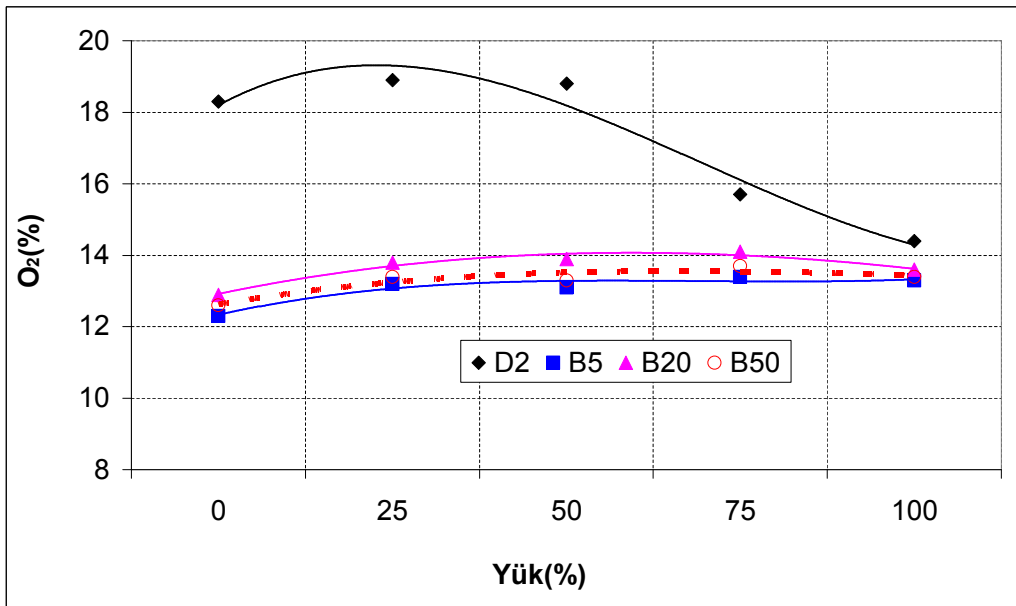
Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında motor devrine bağlı O₂ emisyonlarının değişimi şekil 24'te görülmektedir.

Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların sabit motor devrinde yüke bağlı O₂ emisyonlarının değişimi şekil 25'te görülmektedir.



Şekil 24. D2 ve D2-metil ester karışımı yakıtlarında motor devrine O_2 emisyonlarının bağlı değişimi

Düşük devirlerde yanma zamanının artması ve biyodizel yakıtlarda fazla O_2 ile yanmanın iyileşmesi O_2 emisyonunu düşürmüştür.



Şekil 25. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında 2000 d/d sabit motor devrinde yüke bağlı O_2 emisyonlarının değişimi

Motoru binen yük arttıkça biyodizel yakıtlar için yanma işlemi kötüleştiğinden O₂ emisyonu artış göstermiş, D2 yakıtında ise motor yüklendikçe O₂ miktarında düşüş gözlenmiştir.

SONUÇ

Deneylerden elde edilen sonuçlar benzer konulardaki literatür ile uyum içerisindedir. Biyodizel-D2 karışım yakıtları ile yapılan tüm çalışma koşullarında elde edilen egzoz emisyonları D2 yakıtının egzoz emisyonlarına göre daha düşük çıkmıştır. Özellikle biyodizel ve biyodizel-D2 karışımlarının SO_x bileşikleri açısından D2 ile karşılaştırması ile D2'ye nazaran büyük avantaj sağladığı görülmektedir.

Buna karşın, bütün motor devirlerinde ve bütün yüklerde D2 yakıtına ait güç değerleri dizel yakıtı-PYME karışımlarından elde edilen güç değerlerinden daha yüksek çıkmış ve karışımdaki metil ester oranı arttıkça bu fark daha da belirginleşmiştir. Viskoziteden dolayı yüksek devirlerde atomizasyonun kötüleşmesi sonucu yanma biyodizel yakıtlarda kötüleşmektedir. Bu yüzden motor gücü düşüş eğilimi göstermektedir.

Motor devri arttıkça B20 yakıtında moment değerinin diğer yakıtlara oranla daha hızlı arttığı görülmüştür. Moment değeri B50 yakıtı için bütün devirlerde en düşük seviyede kalmıştır.

Karışım yakıtların viskozitelerinin yüksek olmasından dolayı pompaya yakıt dolmasının zorlaşması B50 yakıtında moment değerinin düşük düzeyde kalmasına neden olmuştur.

B20 yakıtında moment değerinin belirli bir devirden sonra diğer yakıtlardan yüksek çıkması setan sayısının yüksek olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Yüksek devirlerde ise viskozite ve yoğunluktan dolayı pompadan gönderilen yakıt miktarının azalmasından dolayı biyodizel yakıtlarda döndürme momenti düşüş göstermiştir.

Pamuk yağı metil esterinin ısı değerinin düşük olması birim güç başına tüketilen yakıt miktarının artmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak özgül yakıt tüketimi artmaktadır.

Karışımında metil ester oranı arttıkça ÖYT'nin arttığı ve bu farkın gittikçe daha hızlı arttığı tespit edilmiştir. Bu farkın nedeni ise yüksek viskozite ve düşük ısı değerinden dolayı aynı gücü elde edebilmek için daha fazla yakıt yakılması gereğinden olduğu kanısına varılmıştır.

Yüksek viskoziteden dolayı yüksek devirlerde atomizasyonun kötüleşmesi sonucu yanma alternatif yakıtlar için kötüleşmektedir. Yakıtın viskozitesinin yüksek olması enjektörden daha iri tanecikler halinde püskürtülmesine ve iyi atomize olamamasına neden olmaktadır. Bu durum püskürtmeden sonra yakıtın geç tutuşmasına yani tutuşma gecikmesi periyodunun uzamasına neden olmaktadır. Tutuşma gecikmesi periyodunun uzaması yanmayı kötüleştirmekte ve dizel vuruntusuna sebebiyet vermektedir. Bu sorunların (enjektör basıncının yükseltilmesi, viskozite ve yoğunluğun düşürülmesi vb.) giderilmesi için bilimsel çalışmalar yapılmaktadır.

Motor yüklendikçe B20 ve B50 yakıtlarında yanmanın kötüleşmesi ve egzoz manifolduna sarkması sonucu bu iki yakıtta egzoz gazı sıcaklıkları B5 ve D2 yakıtlarına göre çok daha hızlı yükselmiştir. En düşük egzoz gazı sıcaklık değerleri B20 yakıtında elde edilmiştir. Bu düşüşün nedeni biyodizel yakıtlarında ısı değerinin D2 yakıtına göre daha düşük olmasıdır. Küresel ısınmada kuşkusuz motorlu taşıtların da payı büyüktür. B20 yakıtının yakılması sonucu taşıt egzozundan daha düşük sıcaklıkta atmosfere egzoz gazları verileceğinden D2' göre avantaj sağlamaktadır.

B20 ve B50 yakıtlarında viskozitenin yüksek olması yanma sonucu yüksek sıcaklıklara ulaşımı geciktirmiş ve bunun sonucunda daha az NO_x meydana gelmiştir. Bütün yüklerde B5 yakıtından kaynaklanan NO_x emisyonu daha yüksek çıkmıştır. B5 yakıtında oksijen fazlalığından dolayı yanmanın iyileşmesi sonucu NO_x oluşumu en yüksek değerlerde seyretmiştir. Yanma sonu sıcaklıklarının motor yüklendikçe artması bütün karışım yakıtları ve D2 yakıtında NO_x emisyonunu artırmıştır.

Biyodizel yakıtlar kükürt içermediklerinden dolayı SO₂ emisyonları bütün biyodizel yakıtlarda motorun bütün devirlerinde ve tüm yük durumlarında D2 yakıtından daha az çıkmıştır. Beklendiği gibi karışımlar motorinden daha düşük SO₂ emisyonu üretmiştir.

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

Ozon tabakasına olan olumsuz etkiler biyodizel kullanımında dizel yakıta nazaran % 50 daha azdır. Asit yağmurlarına neden olan kükürt bileşenleri biyodizel yakıtlarda yok denecek kadar azdır.

Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, ülkemizde de fosil kökenli yakıtların kullanımının tedrici olarak azaltılması ve buna alternatif olarak yenilenebilir ve çevre dostu olan bitkisel kökenli yakıtların araştırılması, üretilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması politikalarının geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

A.C. Hansen, Q. Zhang and P.W.L. Lyne, Ethanol–diesel fuel blends a review, *Bioresour Technol* 96 (2005), pp. 277–285.

A. Demirbas, Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey, *Energy Convers Manage* 44 (2003), pp. 2093–2109.

A. Demirbas, Current advances in alternative motor fuels, *Energy Explor Exploit* 21 (2003), pp. 475–487.

Advanced Motor Fuels Information (AMFI). AMFI Newsletter, Issue no. 1 (2004). Available from: www.vtt.fi/virtual/amf/pdf/amfinewsletter2004_october_2.pdf www.vtt.fi/virtual/amf/pdf/amfinewsletter2004_october_2.pdf

Biofuels situation in the European Union. Prepared by: Karin Bendz, Global Agriculture Information Network (GAIN) Report–2005.

C. Carraretto, A. Macor, A. Mirandola, A. Stoppato and S. Tonon, Biodiesel as alternative fuel: experimental analysis and energetic evaluations, *Energy* 29 (2004), pp. 2195–2211.

C. Carraretto, A. Macor, A. Mirandola, A. Stoppato and S. Tonon, Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations, *Energy*, 29 (2004), pp.2195–2211

C. Kaya, Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi, D.Ü., F.B.E. Kimya A.B.D. (2006) Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.

C.R. Ferguson, *Internal Combustion Engines*, Wiley, New York (1986).

D.A. Wardle, Global Sale Of Green Air Travel Supported Using Biodiesel, *Renew Sust Energy Rev* 7 (2003), pp. 1–64.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı veriler,(2005).

<http://www.enerji.gov.tr>.

European Commission (EC). Promoting Biofuels in Europe. European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, B-1049 Bruxelles, Belgium 2004. Available from: http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/index_en.html. http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/index_en.html.

F. Ma and M.A. Hanna, Biodiesel production: a review, *Bioresour Technol* 70 (1999), pp. 1–15.

Fort, E. F., Blumberg, P. N., "Performance and Durability of a Turbocharged Diesel Fueled with Cottonseed Oil Blends", *Vegetable Oil Fuels Proceedings of The International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*, ASAE Publication 4.82, Michigan, 374–383, 1982.

Geyer, S.M., Jacobus, M.J., Lestz, s.s.1984. Comparison of Diesel Engine Performance and Emissions from Neal and Transesterfied Vegetable Oils. *ASAE* 27 (2) p.375–384

Hofman V, Biodiesel Fuel. NDSU Extension Service, North Dakota State University of Agriculture, Applied Science and US Department of Agriculture cooperating. Fargo, North Dakota 2003.

Humke, A.L., Barsic, N.J. 1982. Performance and Emission Charecteristics of a Naturally Aspireted Diesel Engine with Vegetable Oil Fuels, SAE 0096 – 736X/82/9003-2925

Ilkılıç, C., Yücesu, H.S., "Pamuk Yağı Metil Esteri ile Dizel Yakıtı Karışımının Bir Dizel Motoru Performansına Etkisi", *F.Ü. Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), s199-205, 2002.

International Energy Agency (IEA). Biofuels For Transport: A International Perspective. 9, rue de la Fédération, 75739 Paris, cedex 15, France 2004. Available from: www.iea.org

International Off-Highway & Powerplant Congress and Exposition. Society of Automotive Engineers. Warrendale, PA, 9–12 Sept. 1991: SAE Paper No. 911764

Jansen JC, Policy Support for Renewable Energy in the European Union. Energy Research Centre of the Netherlands (ECN) 2003. Available from: www.ecn.nl/docs/library/report/2003/C03113.pdf

J.B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, New York (1988).

J. Jitputti, B Kitiyanan, P. Rangsunvigit, K. Bunyakiat, L. Attanatho and P. Jenvanitpanjakul. Transesterification Of Crude Palm Kernel Oil And Crude Coconut Oil By Different Solid Catalysts. Chemical Engineering Journal Vol.116, N. 1 Pp- 61–66. 2006.

K. Bozbaş, Biodiesel As An Alternative Motor Fuel: Production And Policies in The European Union. Renewable and Sustainable Energy Reviews, june, 2004, article in pres.

L. Fulton, T. Howes and J. Hardy, Biofuels for Transport: an International Perspective, International Energy Agency (IEA), Paris (2004).

Martini N and Schell S, Plant Oils As Fuels: Present State Of Future Developments. In: Proceeding Of The Symposium, Berlin: Springer, p.6., Potdam, Germany 1997.

Mazed, M. A., "Test of Vegetable Oil as Fuel in Direct and Indirect Injection Diesel Engine", Ph.D. Thesis, Oklahoma State University, 1984.

M. Cardone, M.V. Prati, V. Rocco and A. Senatore, Experimental Analysis Of Performances And Emissions Of A Diesel Engines Fuelled With Biodiesel And Diesel Oil BLENDS. In: (1998), pp. 211–225 [in Italian] .

Mittelbach, M., Tritthart, P., Junek, H. 1985, Diesel Fuel Drived from Vegetale Oils, II Emission Tests Using Rape Oil Metyl Esters. ENERGY AGR. vol.4 p.208–215

Nas. S, Gökalp. H.Y., Ünsal. M., Bitkisel Yağ Teknolojisi

N. Chand, Plant oils - Fuel of the Future, J Sci Ind Res 61 (2002), pp. 7–16.

Nestor U. Soriano Jr, Veronica P. Vigo, Masotoski Matsumura, Ozonized Vegetable Oil As Pour Point Depressant Neat Biodiesel, Fuel Vol:85(2006) 25–31.

N. Usta An Experimental Study On Performance And Exhaust Emissions Of A Diesel Engine Fuelled With Tobacco Seed Oil Methyl Ester, Energy Conversion and Management 46(2005), pp.2373–2386.

N. Usta, Use Of Tobacco Seed Oil Methyl Ester İn A Turbocharged İndirect İnjektion Diesel Engine, Biomass Bioenergy 28 (2005), pp. 77–86.

Oblaender K, Kollmann K, Kraemer M, Kutschera I. The İnfluence Of High Pressure Fuel İnjektion On Performance And Exhaust Emissions Of A High Speed Direct İnjektion Diesel Engine. SAE Paper no. 890438, 1989.

O. Borat, M. Balçı, A. Sürmen. İçten Yanmalı Motorlar, Cilt I. Ankara (1992).

Perkins, L.A., Auld, D.L., Peterson, C.L., 1991. Durability Testing of Transesterified Winter Rape Oil (*Brassica Napus L.*) as Fuel in Small Bore, Multi-Cylinder, DI, CI Engines,

Peterson, C.L., Reece, D.L., Cruz, R., Thompson, J. 1992 A Comparition of Ethyl and Methyl Esters of Vegetable Oil as Diesel Fuel Substitutes. ASAE Proceedings of alternative Energy Conferance. Nasville, TN December 14–15 1992

Pryor, R. W., Hanna, A.M., Schinstock, J. L., Bashford, L. L., "Soybean Oil Fuel in a Small Diesel Engine", *Transaction of the ASAE*, 333-337, 1983.

Raymond R. Tan, Avlin B.Culaba, Michael R. I. Purvis, Carbon Balance Implications Of Coconut Biodiesel Utilization In The Philippine Automotive Transport Sector. *Biomass and Bioenergy*, vol. 26(2004) pp.579–585.

R. Brand, Networks In Renewable Energy Policies in Germany And France, Berlin Conference On The Human Dimension Of Global Environmental Change: Greening Of Policies - Policy Integration And Interlinkages, Berlin, 3-4 December (2004).

Schumacher, L.G., Peterson, C. L., Gerpen, J. V. 2001, Engine Oil Analysis of Diesel Engines Fueled with Biodiesel Blends, ASAE, 2001 Annual International Meeting Sacramento Convention Center Sacramento, CA, July 29 - August 1, 2001

Schumacher, L., "Fueling Diesel Engines on Esterified Soybean Oil", Soybean Research Documents Online, <http://stratsoy.ag.uiuc.edu/stratsoy/research/usb9.html>, internet, 1999.

Schwab, A.W., Bagby, M.O., Freedman, B. 1987 Preparation and Properties of Diesel Fuels from Vegetable oils. *FUEL*, 1987, vol.66, October

S. Kerschbaum and G. Rinke, Measurement Of The Temperature Dependent Viscosity Of Biodiesel Fuels, *Fuel* 83 (2004) (3), pp. 287–291.

Statistics prepared by General Director of Petroleum Affairs, to be found at <http://www.pigm.gov.tr>.

T. Muruyama, M. Zheng, T. Chikahisa, Y.-T. Oh, Y. Fujiwara and S. Tosaka et al., Simultaneous Reductions of Smoke and NO_x from a DI Diesel Engine with EGR and Dimethyl Carbonate, *Trans SAE, J Fuels Lubr* 104 (1995), pp. 1887–1896.

Ulusoy, Y. Ayçiçeği, Kolza, Pamuk Ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü-Doktora Tezi:1999

United States Department of Agriculture (USDA). Production Estimates and Crop Assessment Division Foreign Agricultural Service. EU-25 Oilseeds and Products

United States Department of Agriculture (USDA). Production Estimates and Crop Assessment Division Foreign Agricultural Service. EU: Biodiesel Industry Expanding Use of Oilseeds. September 20, 2003, pp.1-7. Available from: biodiesel.Org/resources/.../reports/gen/20030920_gen330.pdf.
biodiesel.Org/resources/.../reports/gen/20030920_gen330.pdf.

Vellguth, G., Performance of Vegetable Oils and Their Monoesters as Fuels for Diesel Engines", SAE Paper, 831358, 1098-1108, 1984.

Ventura, L.M., Nashimento, A.C. , Bandel, W.1982, First Result With Mercedes –Benz DI Diesel engines,Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels. Fargo ND. Aug. 1982

Worgetter, M. 1991, Pilot Project “Biodiesel” Summary, Austrian Institute of Agricultural Engineering, 1991

Y. He, Y.D. Bao Study on cottonseed oil as a partial substitute for diesel oil in fuel for single-cylinder diesel engine Renewable Energy ,Vol. 30, Num. 5 , 2005, pp.805-813

Yücesu, H. S. ,Altın, R. Çetinkaya, S. 2001, Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi, TUBİTAK, Turk J. Engin. Environ. Sci. 49 (2001), 39-49

Yücel, H.L. 1998, Dizel Yakıtına Belirli Oranlarda Karıştırılmış Pamuk Yağının Motor Performansı ve Emisyon Karakteristikleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Elazığ,1998

TABLolar DİZİNİ

Tablo.1. Idaho üniversitesinde yapılan emisyon testi sonuçları.....	2
Tablo 2. Bitkisel Yağların bazı Fiziksel ve Kimyasal özellikleri.....	5
Tablo 3. Biyodizellerin Yakıt Özellikleri.....	6
Tablo.4 Bitkisel yağların dizel motorlarında olduğu gibi kullanılmasında Bilinen problemler ve olası çözümler [F. Ma and M.A. Hanna, 1999].....	10
Tablo 5. EU-25 ülkelerinin biyodizel üretimi (ton) [EC,2004 ve USDA,2005].....	12
Tablo 6. Avrupa komisyonu raporuna göre biyodizel katma zorunluluğu.....	14
Tablo 7. Türkiye'nin Benzin ve Dizel Yakıtı İhtiyacının Yıllara Göre Değişimi.....	14
Tablo 8. Türkiye'nin Ham Petrol Üretimi ve İthalatı.....	15
Tablo 9. Türkiye'nin yıllık biyodizel üretim kapasitesi(Kasım 2005).....	15
Tablo 10.Yağ bitkilerinin ekiliş alanları, yağ oranları, üretim verimleri ve miktarları.....	15
Tablo 11. Türkiye'nin ekilebilen, nadasa bırakılan ve toplam arazi varlığı (ha).....	16
Tablo 12. Pamuk yağı ve Dizel yakıtının bazı özellikleri	18
Tablo 13. İki farklı çalışma durumunda, özgül yakıt tüketiminin karışımdaki pamuk yağı oranına göre değişimi.....	18
Tablo 14. Deney Motorunun Teknik Özellikleri.....	25
Tablo 15. Motor test cihazının teknik özellikleri.....	26
Tablo 16. Motor test tezgahı (Bremze) izleme/kontrol cihazı teknik özellikleri.....	27

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil 1. Süper Kritik Yöntem ile Biyodizel Üretimi.....	4
Sekil 2. Trigliceridlerin alkollerle Transesterifikasyonu. (J. Jitputti ve ark., 2005).....	5
Şekil 3. Pamuk yağı metil esteri ve Dizel Yakıtı (D:2)'nın viskozitelerinin sıcaklıkla değişimi	18
Şekil 4. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların $\frac{1}{2}$ yükte motor devrine bağlı moment değişimleri.....	31
Şekil 5. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların tam yükte motor devrine bağlı moment değişimleri sekil...de görülmektedir.....	33
Şekil 6. Dizel yakıtı ve B20 yakıtların tam yükte ve $\frac{1}{4}$ yük durumunda motor devrine bağlı moment değişimleri.....	34
Şekil 7. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtların $\frac{1}{2}$ yükte motor devrine bağlı güç değişimi.....	35
Şekil 8. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında motor gücünün tam yükte motor devrine bağlı değişimi.....	35
Şekil 9. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında $\frac{1}{2}$ yükte motor devrine bağlı ÖYT değişimleri.....	36
Şekil 10. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında tam yükte motor devrine bağlı ÖYT değişimi.....	37
Şekil 11. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında $\frac{1}{2}$ yükte motor devrine bağlı Isıl Verim değişimi.....	38
Şekil 12. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında tam yükte motor devrine bağlı Isıl Verim değişimi.....	39
Şekil 13. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında $\frac{1}{2}$ yükte motor devrine bağlı Efektif Verim değişimi.....	40
Şekil 14. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında tam yükte motor devrine bağlı efektif Verim değişimi.....	41
Şekil 15. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında $\frac{1}{2}$ yükte motor devrine bağlı ortalama efektif basınç değişimi.....	42
Şekil 16. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında tam yükte motor devrine bağlı ortalama efektif basınç değişimi.....	43
Şekil 17. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında motor devrine bağlı egzoz gazı sıcaklığı değişimi.....	44

Şekil 18. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında 2000 d/d sabit motor devrinde yüke bağlı egzoz gazı sıcaklığı değişimi.....	45
Şekil 19. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında motor devrine bağlı CO emisyonları değişimi.....	46
Şekil 20. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında 2000 d/d sabit motor devrinde yüke bağlı CO emisyonlarının değişimi.....	47
Şekil 21. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında motor devrine bağlı NO _x emisyonları değişimi.....	48
Şekil 22. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında 2000 d/d sabit motor devrinde NO _x emisyonlarının yüke bağlı değişimi.....	49
Şekil 23. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında motor devrine bağlı SO ₂ emisyonları değişimi.....	50
Şekil 24. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında motor devrine O ₂ emisyonlarının bağlı değişimi.....	51
Şekil 25. Dizel yakıtı ve dizel yakıt-metil ester karışımı yakıtlarında 2000 d/d sabit motor devrinde yüke bağlı O ₂ emisyonlarının değişimi.....	51

RESİMLER DİZİNİ

Resim 1. Egzoz gazı analiz cihazı.....	26
Resim 2. Deneylerde kullanılan BT-140 model hidrolik dinamometre.....	27
Resim 3. Yakıt tüketimi ölçüm ünitesi.....	28

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Hüseyin AYDIN

Doğum Yeri: BATMAN

Doğum Yılı:22.03.1982

Eğitim

İlköğretim:1988–1996, Bağlar İlköğretim Okulu, BATMAN

Lise: 1996–2000, Batman Teknik Lisesi, BATMAN

Lisans: 2000–2004, D.Ü. Batman Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü,
Otomotiv Öğretmenliği A.B.D. BATMAN

Yüksek Lisans:2005-.... D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi ABD,
DİYARBAKIR

Yabancı Dil: İngilizce