T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BÜTANOL KATKISININ BİR DİZEL MOTORDA YAKIT OLARAK BİYODİZEL KULLANIMINA ETKİLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Yahya ÇELEBİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs - 2017
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Yahya ÇELEBİ tarafından hazırlanan "Bütanol katkısının bir dizel motorda yakıt olarak biyodizel kullanımına etkilerinin deneysel araştırılması" adlı tez çalışması 18/05/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/~~oy çokluğu~~ ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Doç. Dr. Bahattin İŞCAN	.....
Danışman Doç. Dr. Hüseyin AYDIN	.....
Üye Doç. Dr. Asım BALBAY	.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN
FBE Müdür V.

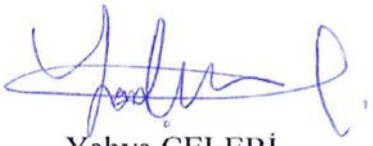
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ 1923 BATMAN ÜNİVERSİTESİ

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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



Yahya ÇELEBİ

18/05/2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BÜTANOL KATKISININ BİR DİZEL MOTORDA YAKIT OLARAK BİYODİZEL KULLANIMINA ETKİLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Yahya ÇELEBİ

Batman Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin AYDIN

2017, 87 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Hüseyin AYDIN
Doç. Dr. Asım BALBAY
Doç. Dr. Bahattin İŞCAN

Artan enerji ihtiyacı ile birlikte fosil yakıtların rezervleri hızla tükenmekte olduğundan içten yanmalı motorlarda kullanılabilecek alternatif yakıtlar ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Alkollerden ve yağlardan elde edilen biyodizel yakıtı alternatif dizel yakıtları olarak kullanılabilmektedir. Bu çalışmada bütanol ilaveli aspir biyodizeli hacimsel olarak farklı oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak bir dizel motorunda analizi gerçekleştirilmiştir. Transesterifikasyon yöntemiyle aspir yağından biyodizel elde edilmiş ve bütanol ile hacimce %10 ve %20 oranında karışımlar hazırlanmıştır. Deneyler dört zamanlı, dört silindirli bir dizel motorunda sabit devirde ve sabit yük şartlarında yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda bu yakıtların kullanımından emisyon, performans ve yanma paremetlerindeki değişimler ortaya konmuştur. Bu sonuçlara göre; toplam ısı transferi, kütlesel yanma oranı ve vuruntu değerlerinde önemsiz ölçüde değişimler meydana gelmiş, silindir basıncı, ısı salınım oranı, ortalama gaz sıcaklığı ve yanma hızı değerlerinde olumsuzluklar gerçekleşmiştir. Üçlü yakıtların emisyonlarında azalmalar oluşmuş ve verimde %1,5'e kadar iyileşme gerçekleşmiştir. Bununla birlikte kütlesel yakıt tüketiminde %6'ya kadar ve özgül yakıt tüketiminde ise %5'e kadar artış olmuştur. Diğer yakıtların emisyon, yakıt tüketimi ve veriminde olumsuz etkiler gözlemlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Alternatif yakıt, aspir biyodizeli, bütanol, dizel motor, transesterifikasyon.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF BUTANOL ADDITION TO BIODIESEL USAGE AS FUEL IN A DIESEL ENGINE

Yahya ÇELEBİ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING

2017, 87 Pages

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Jury
Assoc. Prof. Dr. Hüseyin AYDIN
Assoc. Prof. Dr. Asım BALBAY
Assoc. Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

As our world demands more energy day by day and fossil fuel sources are running out, searches on finding alternative fuels in internal combustion engines are increasing. Alcohols and biofuels obtained from oils can be used as an alternative diesel fuel. The present work investigated the effects of n-butanol addition to safflower biodiesel usage in a diesel engine. Safflower biodiesel obtained by using transesterification method and ultra low sulfur diesel-biodiesel–butanol blends were 5%, 10%, and 20% butanol in volume basis. The tests were carried out on a four-cylinder, four-cycle turbocharged direct-injection diesel engine at half load with stable engine speed. Experimental test results of combustion characteristics, emission and performance of the fuels were investigated. According to test results, total heat transfer, average gas temperature and combustion rate were slightly changed. The ternary blends showed lower emission and increased brake thermal efficiency up to 1,5%. Besides, mass fuel consumption up to 5% and brake specific fuel consumption up to 6% were increased. For the other fuels, emission and brake thermal efficiency were deteriorated.

Keywords: Alternative fuel, butanol, diesel engine, safflower biodiesel, transesterification.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma için tüm bilgi birikimini benim paylaşan ve tezimin her aşamasında bana rehberlik eden, hem lisans hem de yüksek lisans çalışmalarımda desteğini her zaman gördüğüm değerli danışmanım Doç. Dr. Hüseyin AYDIN'a, her durumda yardımımıza gelen ve bu çalışmanın gerçekleşmesi için gerekli koşulların oluşmasında yardımcı olan Dr. M. Zerakki IŞIK'a, bu çalışmanın yapılması esnasında bana her zaman yardımcı olan Ahmet AYDIN ve Hüseyin AZİ, zamanını ayırıp beni dinleyen jüri üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, her türlü ihtiyacımda yanımda olan aileme çok teşekkür ederim. Bu çalışmanın herkese hayırlı olmasını dilerim.

Yahya ÇELEBİ

BATMAN-2017

İÇİNDEKİLER TABLOSU

ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **ix**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **x**
SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xi**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Dizel yakıtlar 4
1.1.1. Dizel yakıtlarının özellikleri 5
1.1.1.1. Setan sayısı 5
1.1.1.2. Viskozite 5
1.1.1.3. Yoğunluk 5
1.1.1.4. Isıl değer 6
1.1.1.5. Akma noktası 6
1.1.1.6. Destilasyon 6
1.1.1.7. Alevlenme ve parlama noktası 6
1.1.1.8. Adyabatik alev sıcaklığı 7
1.1.1.9. Korozif etkisi 7
1.1.1.10. Kül miktarı 7
1.1.1.11. Anilin noktası 7
1.2. Dizel motorınlarda yanma olayının safhaları 8
2. BİYODİZEL **11**
2.1. Dünyada biyodizel üretimi ve kullanımı 11
2.2. Türkiye'de biyodizel 13
2.3. Biyodizelin avantaj ve dezavantajları 14
2.4. Motor yakıtı olarak biyodizel 15
2.5. Biyodizelin fiziksel özellikleri 17
2.5.1. Viskozite 17
2.5.2. Yoğunluk 18
2.5.3. Setan sayısı 18
2.5.4. Isıl değer 19
2.5.5. Akma ve bulutlanma noktaları 20
2.5.6. Akış özellikleri 20
2.5.7. Parlama noktası 20
2.5.8. İyot sayısı 21
2.6. Aspir bitkisi 21
2.6.1. Aspir bitkisi ve tarihçesi 21
2.6.2. Aspir bitkisi ve botanik özellikleri 21
2.6.3. Aspir çeşitleri 23
2.6.4. Aspir bileşenleri ve kullanım alanları 24
2.6.5. Aspir tohumu 24
2.6.6. Aspir yağı 25
2.6.7. Aspir küspesi 26
2.6.8. Aspir çiçekleri ve sap-samanı 27
2.7. Biyodizel ile ilgili standartlar 28
3. BÜTANOL **30**
3.1. Bütanolün kimyasal özellikleri 30
3.2. Bütanol izomerleri 30

4. LİTERATÜR ÇALIŞMASI 32
4.1. Biyoyakıt olarak bütanol 39
5. MATERYAL VE METOT 40
5.1. Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri 40
5.2. Aspir yağından biyoyakıt üretimi 47
5.3. Deney yakıtları 49
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 50
6.1. Motor yanma sonuçları 50
6.1.1. Silindir basıncı 50
6.1.2. Isı salınım oranı 51
6.1.3. Toplam ısı salınımı 52
6.1.4. Ortalama gaz sıcaklığı 53
6.1.5. Kütlesel yanma oranı 54
6.1.6. Vuruntu yoğunluğu 54
6.1.7. Isı transferi oranı 55
6.1.8. Toplam ısı transferi 56
6.2. Motor performans değerleri 56
6.2.1. Özgül yakıt tüketimi 56
6.2.2. Isıl verim 57
6.2.3. Egzoz gaz sıcaklığı 58
6.2.4. Kütlesel yakıt tüketimi 59
6.3. Motor emisyon değerleri 60
6.3.1. Karbonmonoksit (CO) emisyonunun değişimi 60
6.3.2. Karbondioksit (CO_2) emisyonunun değişimi 61
6.3.3. Hidrokarbon (HC) emisyonunun değişimi 62
6.3.4. Azot oksit (NOx) emisyonunun değişimi 63
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 65
8. KAYNAKLAR 68
9. ÖZGEÇMİŞ 75

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. DIN-51601'e göre dizel yakıtından istenen özellikler ---------- 4
Tablo 1.2. Türkiye motorin standardı---------- 8
Tablo 2.1. 2015'te Dünyada en fazla biyodizel üretimi yapan ilk 16 ülke----------13
Tablo 2.2. İllere göre biyodizel üretim lisansı alan firma sayısı----------14
Tablo 2.3. Biyodizel üretiminde kullanılan doymuş yağ asitlerin formülleri----------16
Tablo 2.4. Bitkisel yağların yağ asidi içerikleri----------16
Tablo 2.5. Uluslararası standartlarda yakıtların kinematik viskozite sınır değerleri-----17
Tablo 2.6. Uluslararası standartlarda yakıtların yoğunluk sınır değerleri ----------18
Tablo 2.7. Dizel indeks ile Setan sayısı arasındaki sayısal ilişki ----------19
Tablo 2.8. Uluslararası standartlarda dizel için parlama noktası sınır değerleri----------20
Tablo 2.9. Dünya genelinde aspir çeşitleri ve genel özellikleri----------23
Tablo 2.10. Türkiye aspir çeşitleri ve özellikleri----------24
Tablo 2.11. Aspir tohumunun özellikleri ----------25
Tablo 2.12. Aspir yağının yağ asitlerinin diğer yağ asitleri ile karşılaştırılması ---------26
Tablo 2.13. Aspir küspesinin özellikleri ----------27
Tablo 2.14. Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartları ----------29
Tablo 3.1. Dizel yakıtı ve n-bütanol' ün özellikleri ----------30
Tablo 3.2. Bütanol izomerlerinin molekül yapıları ve temel uygulamaları ----------31
Tablo 3.3. Bütanol izomerlerinin karşılaştırılması----------31
Tablo 4.1. n-Bütanol yakıt özellikleri ----------40
Tablo 5.1.Deneyde kullanılan motorun teknik özellikleri ----------41
Tablo 5.2. CAPELEC CAP 3200 Gaz analiz cihazın teknik özellikleri----------47
Tablo 5.3. Karışımların adı ve yüzdelikleri----------49
Tablo 5.4. Test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri ----------49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dizel motorlarında yanma diyagramı ---------- 8
Şekil 2.1. Aspir bitkisi ---------- 22
Şekil 2.2. Aspir tohumu ---------- 24
Şekil 2.3. Aspir küspesi ---------- 25
Şekil 2.4. Aspir çiçekleri ---------- 27
Şekil 5.1. Deneylerin yapıldığı dizel motorlu jeneratör ---------- 40
Şekil 5.2. Deney test düzeneği şematik diyagramı ---------- 41
Şekil 5.3. Deney düzeneği ---------- 42
Şekil 5.4. FEBRİS programı yanma verileri ---------- 45
Şekil 5.5. Yakıt tüketimi hesaplamada kullanılan elektronik terazi ---------- 46
Şekil 5.6. Egzoz gazı analiz cihazı ---------- 46
Şekil 5.7.Aspir yağının metil alkol ile karıştırılması ---------- 47
Şekil 5.8.Aspir yağınındaki gliserolün çökmesi ---------- 48
Şekil 5.9.Aspir biyodizelin yıkanma işlemi ---------- 48
Şekil 6.1. Silindir basıncının krank açısına bağlı değişimi ---------- 51
Şekil 6.2. Isı salınım oranının krank açısına bağlı değişimi ---------- 52
Şekil 6.3. Toplam ısı salınımın krank açısına bağlı değişimi ---------- 53
Şekil 6.4. Ortalama gaz sıcaklığının krank açısına bağlı değişimi ---------- 53
Şekil 6.5. Kütlesel yanma oranın krank açısına bağlı değişimi ---------- 54
Şekil 6.6. Vuruntu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi. ---------- 55
Şekil 6.7. Isı transfer hızının krank açısına bağlı değişimi. ---------- 55
Şekil 6.8. Toplam ısı transferinin krank açısına bağlı değişimi. ---------- 56
Şekil 6.9. Özgül yakıt tüketiminin değişimi ---------- 57
Şekil 6.10. Isıl verimin değişimi ---------- 58
Şekil 6.11. Egzoz manifold sıcaklığının değişimi ---------- 59
Şekil 6.12. Kütlesel yakıt tüketiminin değişimi ---------- 60
Şekil 6.13. CO emisyonunun değişimi ---------- 61
Şekil 6.14. CO_2 emisyonunun değişimi ---------- 62
Şekil 6.15. HC emisyonunun değişimi ---------- 62
Şekil 6.16. NOx emisyonunun değişimi ---------- 63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ºC : Santigrad derece
K : Kelvin sıcaklık değeri
d/dak : Dakikadaki devir sayısı
ε : Sıkıştırma oranı
ºF : Fahrenayt sıcaklık değeri
m : Metre
% : Yüzde
kg : Kilo gram
kPa : Kilo paskal
s : Saniye
mm : Milimetre
cm : Santimetre
gr : Gram
kJ : Kilojoule
kmol : Kilomol
rpm : Dakikadaki devir sayısı
be : Özgül yakıt tüketimi
F : Kuvvet
J : Joule
kW : Kilo-Watt
M : Döndürme momenti (Tork)
m : Metre
n : Motor devri
P, Pe : Güç
ρ : Özgül ağırlık
T : Sıcaklık
V : Hacim
λ : Hava fazlalık katsayısı
% : Yüzde
γ : Özel sıcaklık oranı
θ : Krank açısı
r : Yarıçap
D : Silindir çapı
h_c : Isı transfer katsayısı
V_c : Strok hacmi
C_m : Ortalama piston hızı
Qw : Sıcaklık transfer katsayısı
b : Genlik düzeltme faktörü
m : Biçim katsayısı
Δθ : Yanma süresi
Pme : Ortalama efektif basınç
F : Krank milinin bir turundaki yanma frekansı
m_y : Kütlesel yakıt debisi

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devleti
ABE	: Aseton-Bütanol-Etanol
ASTM	: Amerikan Test ve Materyalleri Birliği
API	: Amerikan Petrol Endüstrisi
APİ	: APİ özgül ağırlık
AÖN	: Alt ölü nokta
BYME	: Bitkisel yağ metil esteri
CO	: Karbon monoksit
CO_2	: Karbon dioksit
C_4H_9OH	: Bütanol
DIN	: Alman Standartları
EGR	: Egzoz gaz sirkülasyonu
EN	: Avrupa Birliği Standartları
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
HC	: Yanmamış hidrokarbonlar
ISO	: Uluslararası Standartlar Örgütü
ONORMC	: Avusturya Standartları
PM	: Partikül madde
KMA	: Krank mili açısı
KOH	: Potasyum hidroksit
$KOCH_3$	: Potasyum nitrat
N_2	: Azot gazı
NaOH	: Sodyum hidroksit
$NaOCH_3$	: Sodyum metoksit
NOx	: Azot oksitler
M.Ö.	: Milattan önce
ÜÖN	: Üst ölü nokta
TG	: Tutuşma gecikmesi
TSE	: Türkiye Standartlar Enstitüsü
YAME	: Yağ asidi metil esteri
D100	: %100 Dizel yakıtı (Düşük kükürtlü dizel)
ULSD	: %100 Dizel yakıtı (Düşük kükürtlü dizel)
B100	: %100 Aspir biyodizeli
D50B50	: %50 Dizel yakıtı ile %50 Aspir biyodizeli
B90Bu10	: %90 Aspir biyodizeli ile %10 Bütanol
B80Bu20	: %80 Aspir biyodizeli ile %20 Bütanol
D45B45Bu10	: %45 Dizel yakıtı, %45 Aspir biyodizeli ve %10 Bütanol
D40B40Bu20	: %40 Dizel yakıtı, %40 Aspir biyodizeli ve %20 Bütanol

1. GİRİŞ

Sanayi devriminden bu yana makine kullanımı hızla artmaktadır. Bu artış petrol türevli yakıtların da kullanımını her geçen gün arttırmaktadır. Öyle ki, şuan dünyada kullanılan enerjinin %80'i fosil yakıtlardan sağlanmakta ve bunun da %58'i taşımacılık sektörünün ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır. Fakat sahip olduğumuz fosil yakıtlar hızla tükenmekte ve bunun yan etkileri olarak da sera gazı emisyonları artmakta ve bunun bir diğer sonucu olarak da küresel ısınma, iklim değişikliği, buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi ve biyolojik çeşitliliğin azalması gibi birçok olumsuz sonuca neden olmaktadır. Petrol talebine artış ile birlikte petrol fiyatları da giderek artmaktadır ve bu da küresel ekonomiyi doğrudan etkilemektedir. Bu nedenlere ek olarak dünya petrol rezervlerinin yoğun olarak bulunduğu coğrafik bölgelerde yıllardır süren savaşlar ve olumsuz koşullar bu yakıta olan ilginin kaybolmasına neden olmakta ve dünya genelinde devletlerin ve bilim adamlarının petrol yakıtına alternatif bir yakıt bulma arayışına sokmaktadır (Avcı ve Dönmez, 2011). Bu amaçla son yıllarda dizel motorlarında petrol türevli yakıtlara karşı kullanılabilecek alternatif yakıtlar üzerine araştırmalar büyük önem kazanmıştır.

İçten yanmalı motorlarda benzinli araçlarla birlikte en çok kullanılan motorlardan olan, dizel motorları termik verimleri % 40'lar düzeylerine kadar ulaşabilen en verimli termik makinelerdir. Dizel motor verimlerini arttırmak ve çevre kirliliğini azaltmak için çalışmalar yapılmaktadır. Yanma reaksiyonun optimizasyonuna yönelik çalışmalar bunların en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Yanma reaksiyonun optimizasyonu motor veriminde artışa neden olur ve dolayısıyla çevre kirliliği de azaltılmış olacaktır. Son yıllarda dizel motorunda verimi arttırmak amacıyla hem motor dizaynında hem de yakıt bileşenleriyle ilgili çalışmalar sürdürülmektedir. Motor verimini arttırmak için yapılan yapısal değişiklerin bazıları; yanma odasının şeklinin geliştirilmesi, supap sayısının ve supap kesit alanlarının arttırılması, püskürtme sistemde değişiklikler, turboşarj donanımlarının kullanımı vb. şeklindedir. Kullanılan yakıtlara ilişkin çalışmalara ise; mevcut yakıtların daha ekonomik kullanımı çalışmaları ve değişik alternatif yakıt çalışmaları örnekler olarak verilebilir (Şahin ve Durgun, 2009).

Yapılan araştırmalarda elde edilmesi amaçlanan yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanabilmesi için çevre kirliliğine etkisi az ve yakıt tüketimi düşük, ham madde stoğunun yeterince geniş olması en önemli parametrelerdendir. Bunun yanı sıra kullanılacak alternatif yakıtların modern yakıtlar gibi iyi kullanım özelliğine sahip

olması, çok soğuk, çok sıcak ve yüksek nem gibi sert iklim koşullarında sorunsuz kullanılabilir olmaları gerekmektedir. Ayrıca mevcut motor donanımlarına ve yakıt sistemiyle de yüksek performanslı çalışması da gerekir (Zöldy ve Ark., 2010).

Rudolf Diesel dizel motorunu icat ettikten sonra 1900'de Paris'teki bir sergide yakıt olarak yer fıstığı yağını kullanmıştır. Bu çalışma bize motorun bitkisel yağlarla çalışabileceğini pekala göstermiştir. Rudolf Diesel çalışmayı petrol ve türevlerinin bol miktarda ve ucuz olduğu bir dönemde yapmıştır. Bu nedenle o dönemde alternatif yakıt arayışı pek anlamsız kalmaktaydı. Geçen süre zarfında birçok petrol krizi yaşanmış olup ve bu krizlerin de etkisiyle dizel motorlarında kullanılabilecek biyoyakıtlar ile ilgili bir çok çalışma yapıldı ve yakın tarihte de bu yakıtlar üretilerek dizel motorlarında kullanılmaya başlandı. Önceleri biyoyakıtların doğrudan motorlarda kullanılması amaçlansa da, daha sonra ön ısıtma, farklı bir yakıt ile karıştırma ve biyodizele dönüşme gibi bazı uygulamalarla problemler aşılmıştır. Bitkisel yağlardan transesterifikasyon(ester transferi veya yeniden esterleşme) reaksiyonu ile elde edilen biyodizel temelli yakıtlar motorlarda rahatlıkla kullanılabilmektedir. Bu reaksiyonla elde edilen yakıta biyodizel denilmektedir. Buna ek olarak bu yakıta biyomotorin veya yeşil dizel olarak adı verilmektedir. Biyodizel yakıtı sadece bitkisel yağlardan değil, ayrıca hayvansal ve atık yağlardan da elde edilebilmektedir (Vermeersch, 2000).

Biyodizel dizel motorlarında, dizel yakıtıyla oluşturulan karışımlarda herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan kullanılabilir (Özsezen ve Çanakçı, 2008).

Biyodizel geleneksel yakıtlar gibi kükürt, aromatik hidrokarbonlar ve ham petrol atıklarını içermediğinden dizel motor yanma verimini ve emisyon oluşumunda sorun teşkil etmez. Bu nedenle biyodizel oldukça çevreci bir yakıt özelliği taşımaktadır (Yücel, 2008).

Aspir biyodizeli önceki araştırmaları göz önünde alarak yapılabilecek bir çıkarımla genel olarak dizel yakıtına göre CO, CO_2, HC, PM emisyonlarında önemli miktarda azalmalar görülürken diğer yandan NO_X emisyonlarında biraz artış görülmekte, motor açısından ise motor torku, gücü, ortalama efektif basıncı ve verimlerinde azalmalar olduğu gözlemlenmiş.

Alkoller de içten yanmalı motorlarda herhangi bir değişiklik yapmadan kullanılabilecek alternatif yakıtlar olarak görülmektedir. Alkoller genel olarak petrol türevli yakıtlara göre yapısında daha fazla oksijen, daha düşük karbon ve sülfür bulundurmaktadır. Bu yüzden içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanıldığında çevreye daha az zarar vermektedirler. Alkoller ayrıca petrol türevli yakıtlar ile

kıyaslandığında daha fazla oktan sayısına sahiptirler ve petrol yakıtları oktan sayısını arttırmak için kullanılabilirler. Buna ek olarak fosil yakıtlara göre daha yüksek buharlaşma ısısına sahip olduğu için silindir içine alınan taze dolguyu soğutma gibi bir ek etkiye neden olur. Bu özellik sayesinde motorların hacimsel verimlerinin artmasına yardımcı olmaktadır. Fakat alkollerin petrol türevli yakıtlara oranla ısıl değerlerinin düşük olması özgül yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır (Keskin ve ark., 2009; Doğan, 2011).

Alkoller bir asırdır motorlarda tek başına veya petrol türevli yakıtlarla karıştırılarak kullanılmaktadırlar. Geçmişte alkollerin maliyetinin petrol türevli yakıtlara göre daha yüksek olması alkollerin kullanımını kısıtlamıştır. Günümüzde ise petrol fiyatlarının yüksek olması ve daha da artacağının öngörülmesiyle alkollerin alternatif yakıt olarak içten yanmalı motorlarda kullanması üzerine araştırmaların artmasına sebep olmuştur. Başta ABD, Brezilya, Kanada olmak üzere bir çok ülkede alkollerin motor olarak kullanılması amacıyla yasal değişiklik yapılmış ve kullanılması için teşvikler verilmiştir. Buna ek olarak birçok büyük şirket bu alanda büyük yatırımlar yapmaya başlamıştır. Birçok araştırmacı petrol türevli yakıtlara alternatif olabilecek, çevreci, maliyeti düşük, yenilenebilir yakıt üzerine araştırmalar yapmaktadır. Bu araştırmalar ile birlikte pazarda yer edinecek ilk yakıtlardan birinin bütanol olacağı düşünülmektedir (Keskin ve ark., 2009; Chen ve ark., 2012).

Bütanol biyokütle kökenli yenilenebilir bir alkol çeşididir ve biyokütlenin fermantasyonu yardımıyla elde edilebilir. Biyokütle yeşil bitkiler tarafından güneşin enerjisini alarak, daha sonra bu enerjiyi fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek ve depolanmasıyla meydana gelen biyolojik kökenli madde kütlesidir. Ana yapısını, karbonhidrat bileşikleri oluşmaktadır ve bitkisel veya hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise, biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Enerji üretiminde kullanılan biyokütle; aspir, fındık, şeker kamışı, mısır, patates, şeker pancarı gibi çeşitli bitkisel kaynaklardan, hayvansal atıklardan, şehir ve endüstri atıklarından elde edilebilmektedir (Keskin ve ark., 2009; Doğan, 2011).

Bütanolün kimyasal formülü C_4H_9OH'dir ve 4 karbon, 10 hidrojen ile 1 oksijen atomundan oluşmaktadır. Ayrıca bütanolün 4 izomeri vardır. Bunlar; n-bütanol (1-bütanol) $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$ (normal bütanol), 2-bütanol $CH_3CH_2CHOHCH_3$ (ikincil bütanol), i-bütanol $(CH_3)_2CH_2CHOH$ (izobütanol), ve t-bütanol $(CH_3)_3COH$ (ter-bütanol) dür. Bu 4 izomer aynı kimyasal formüle ve aynı ısıl değere sahiptir fakat moleküler

yapıları farklı olduğunda dolayı yanma özellikleri farklı olmaktadır. Ayrıca mol kütleleri ve kapalı formüleri de birbirlerine benzer olmasına karşın çözünürlükleri de birbirinden farklıdır (Doğan, 2011).

Bu çalışmada aspir biyodizeli ve bütanolün düşük emisyonlara sahip olması, içten yanmalı motorlarda herhangi bir modifiyeye gerek kalmadan hem emisyon hem de motor performansı değerlerinde olumlu sonuçlar vereceğini düşünmekteyiz. Bu çalışmada, aspir biyodizeli ile n-bütanol farklı oranlarla dizel yakıtı ile karıştırılarak en uygun yanma, emisyon değeri ve motor performansı sonuçları elde edilmeye çalışılmıştır.

1.1. Dizel yakıtlar

Dizel yakıtı ham petrolün destilasyon işleminde, destilasyon kulesinde yaklaşık olarak 160 ^{o}C'de başlayıp tamamı 391 ^{o}C'de buharlaşan ve genel olarak içten yanmalı motorlarda kullanılan bir yakıttır. Karbon atom sayısı 8 ile 16 arasında değişmektedir ve bünyesinde sıvı HC bileşenlerini bulundurur. Ayrıca bünyesinde kükürt, azot, kül ve su bulundurur. Türkiye'de genel olarak mazot veya motorin olarak isimlendirilmektedir. Mazotun kapalı formülü $C_{12.226}H_{23.29}S_{0.0575}$'dir. Kapalı formüle göre dizelin kütlesel bileşimi C=0.8538 kg, H=0.1355 kg, S=0.01071 kg'dır. DIN-51601 standartlarına göre dizel yakıtından istenen minimum özellikler Tablo 1.1'de gösterilmiştir (Borat ve ark., 1995).

Tablo 1.1. DIN-51601'e göre dizel yakıtından istenen özellikler (Borat ve ark., 1995).

	Değerler	Deney Normu
Hacimsel su miktarı	%0,1	DIN 51777
15^{o}C'de özgül ağırlık	0.820-0,860 g/ml	DIN 51757
Kaynama olayı hacimsel olarak 360^{o}C'ye kadar en az	%90	DIN 51752
20^{o}C'de viskozite	1.8-10 mm^2/s	DIN 51550
Parlama noktası	55 ^{o}C	DIN 51755
Filtrasyon	Yazın 0^{o}C/Kışın -12^{o}C	DIN 51770
Kükürt'ün maksimum kütlesel yüzdesi	%1,0	DIN 51768
Koklaşma artığının kütlesel maksimum yüzdesi	%0,1	DIN 51551
Kütlesinde değişiklik olarak çinkoya karşı davranışı	4 mg	DIN 51779
Tutuşma kabiliyeti (en küçük setan sayısı olarak)	45 SS	DIN 51773
Kül miktarı, kütlesel yüzde olarak maksimum	%0,02	DIN 51575

1.1.1. Dizel yakıtlarının özellikleri

1.1.1.1. Setan sayısı

Dizel yakıtının sınıflandırılmasında en önemli parametrelerden biri setan sayısıdır. Setan sayısı yakıtın dizel motorunda sıkıştırma işlemine maruz kaldıktan sonra ısınan havanın kendiliğinden tutuşma özelliğini belirler. Setan sayısının yüksek olması tutuşma gecikmesinin süresini kısaltır ve yanma odasında biriken dolgunun aniden yanması ile oluşabilecek hızlı basınç artışını yani vuruntuları engellemektedir. Setan sayısının düşük olması durumunda yakıt daha geç tutuşmaya başlayacaktır. Buna bağlı olarak da sıkıştırma devam ettiğinden dolayı silindir içi sıcaklık ve buna bağlı da NOx oluşumu artacaktır. Bu nedenden dolayı yanma başlamadan hemen önce yakıt daha az püskürtülmelidir. Dizelin yakıtının optimum setan sayısı en az 45 civarında olmalıdır.

1.1.1.2. Viskozite

Viskozite basit olarak sıvıların akmaya karşı direnci olarak ifade edilebilir. Başka bir ifadeyle iki sıvı tabakasının izafi hareketlerinin bu tabakaya karşı oluşturdukları öteleme hareketinin iç direncidir. Viskozitenin değeri, yakıt taneciklerinin büyüklüğünü kontrol ettiğinden, iyi bir yanma için gerekli hava-yakıt karışımı elde etmek için en önemli faktörlerden atomizasyon ve dağılma derecelerini etkilemektedir. Enjekte edilen yakıtın yanma odasına nüfuz ettiği mesafe, yakıt zerrelerinin büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Yanmanın isli oluşmasının nedenlerinden biri de viskozitesi büyük olan yakıtlar tam atomizasyon olmadan yanma duvarlarına çarpıklarından dolayı gerçekleşmektedir (Heinz, 2007).

1.1.1.3. Yoğunluk

Yoğunluk, bir enerji içeriğinin ve ateşleme kalitesinin paremetresidir. Araştırmalara göre, yoğunluk ile NOx emisyonları arasında bir bağ bulunmaktadır; yoğunluk arttıkça NOx emisyonunda da artış oluşmaktadır (Hossain ve Davies, 2013).

1.1.1.4. Isıl değer

Yanma sonucunda oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütlesine bölünmesiyle elde edilen değer olarak ifade edilmektedir. Yakıtların ısıl değeri ne kadar yüksek olursa, yanma sonucu elde edilecek enerji miktarı da o düzeyde artar. Isıl değer, yakıtın yoğunluğuna ve yakıtın kimyasal bileşimine göre değişim göstermektedir. Bir Yakıtın bilemişinde bulunan karbon ve hidrojen içeriğinden dolayı yüksek ısıl değere sahip olma eğilimindedir (Hossain ve Davies, 2013).

1.1.1.5. Akma noktası

Akma ya da katılaşma noktası motorun düşük sıcaklıklardaki çalışma koşullarında önemli olmaktadır. Katılaşmanın olduğu durumlarda yanma odasına yeterli yakıt akışı olmayacağından dolayı motor çalışmayacaktır. Akma noktasının sıcaklığı motorun çalışmasını garantiye almak için ortam sıcaklığının 5 ile 10 derece altında olması gerekmektedir.

1.1.1.6. Destilasyon

Uçukluğun ölçüsü olan destilasyon değeri azaldıkça yanma daha düzenli ve hızlı gerçekleşir. Ayrıca uçukluk, dizel motorlarında kullanılan yakıtların yanmasını ve çalışmasını kolaylaştırmak ve dumansız bir yanma için gerekli olan iyi bir karışımı elde etmek için gerekli bir parametredir. Düşük uçukluk değerine sahip olan yakıtlar, oluşan dumanı azaltmak ve daha yüksek güç vermek için yüksek devirli motorlarda tercih edilmektedirler.

1.1.1.7. Alevlenme ve parlama noktası

Bir yakıtın parlama noktası, bir kapta ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşma halinde bulunan yakıt buharının taşıdığı en düşük sıcaklık olarak tanımlanır. Alevlenme noktası, tutuşma buharının sönmeden devam etme sıcaklığına denir. Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığından biraz daha yüksek olmaktadır. Dizel yakıtları benzin ile karşılaştırıldığında daha yüksek buharlaşma sıcaklığına sahip olduğundan dolayı daha emniyetli yakıt olarak tanımlanır.

1.1.1.8. Adyabatik alev sıcaklığı

Yanma işleminde ulaşılabilecek maksimum sıcaklığa adyabatik alev sıcaklığı denir (URL13).

1.1.1.9. Korozif etkisi

Dizel yakıtların içeriğinde bulunan kükürt hem korozif hem de partikül madde açısından oldukça tehlikelidir. Yakıt içesinde su, tuz ve tortular bulundurması istenmez.

1.1.1.10. Kül miktarı

Yanmadan sonra oluşan atıklar segman yuvaları ve supap tablası sapında toplanır. Bu nedenden dolayı dizel yakıtın en önemli problemlerinden birisi önemli miktarda karbon ve kül ortaya çıkarmasıdır. Setan sayısının belli bir değere kadar bu atıkların miktarı azalır. Fakat bu değerin aşılmasıyla, setan is oluşumuna olumsuz etki etmektedir. Bu özellik, yakıtların konvansiyonel dizel yakıtı olarak kabul edilebilmesi için öncelikli olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

1.1.1.11. Anilin noktası

Anilin noktası, numuneye aynı hacimde anilin eklenilerek, numunenin minimum kritik çözünme sıcaklığıdır. Anilin aromatik hidrokarbonları her zaman, fakat parafiniklerde ise sadece sıcakta eritik bir özelliği bulunan bir eritgendir. Anilin ile dizel yakıtı karıştırılır ve ısıtılır. Sıcaklık altında dizel yakıtı, anilin içinde tamamen erir fakat erimiş halde bulunan karışım soğumaya bırakıldığında parafinlerin yavaş yavaş ayrışmaya başladığı görülür. Bu gerçekleşen ayrışmanın görüldüğü ve sonuçlandığı sıvı kabında iki ayrı tabaka görülür, tam bu esnadaki sıcaklığa anilin noktası denilmektedir. Ayrıca anilin noktası, dizel indeksinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Böylece kolayca setan sayısı da hesaplanabilmektedir. Burada APİ: APİ özgül ağırlık olarak tanımlanmaktadır.

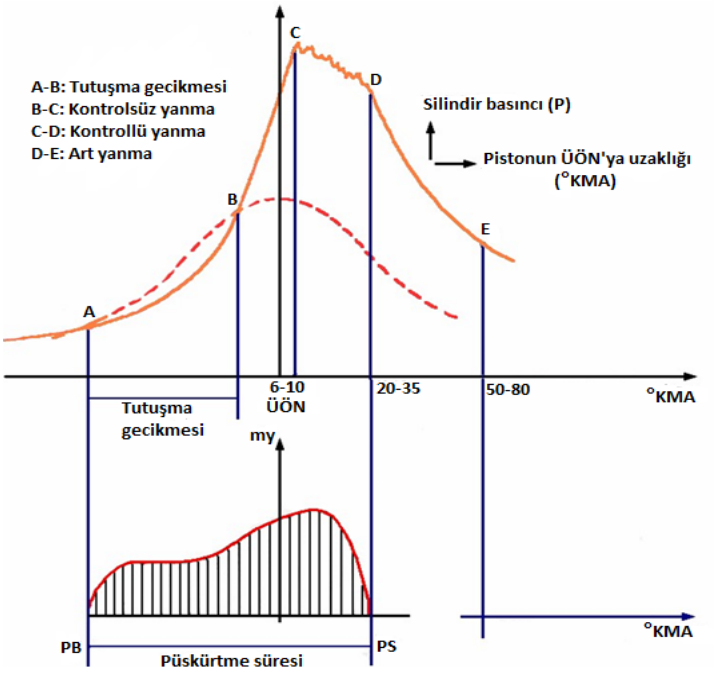
$$Dizel\ indeksi = Anilin\ noktası(°F) \times APİ\ Gravite\ (60\ °F)\ /\ 100 \qquad (1.1)$$

Tablo 1.2. Türkiye motorin standardı (Heywood, 2004).

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yönetimi
		En az	En çok	
Setan sayısı		51	-	EN ISO 5165
Setan indisi		46	-	EN ISO 4264-12185
Yoğunluk (15°C'de)	kg/m^3	820	845	EN ISO 3675-12185
Polisilik aramotik hidrokarbonlar	% (m/m)	-	11	EN ISO 12916
Kükürt	mg/kg	-	350	EN ISO 20846
Parlama noktası	°C	55	-	EN ISO 22719
Karbon kalıntısı	% (m/m)	-	0,3	EN ISO 10370
Kül	% (m/m)	-	0,01	EN ISO 6245
Su	mg/kg	-	200	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN ISO 12662
Bakır Şerit korozyonu	derece	1		EN ISO 2160
Oksidasyon kararlığı	g/m^3	-	25	EN ISO 12205
Yağlama özelliği	gM	-	460	EN ISO 12156-1
Viskozite	mm^2/s	2	4,5	EN ISO 3104

1.2. Dizel motorınlarda yanma olayının safhaları

Aşağıda Şekil 1.1'de dizel motorınlarda yanmanın diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Dizel motorlarında yanma diyagramı (Safgönül ve ark., 1999).

Yanma olayı;

1-Tutuşma gecikmesi

2-Kontrolsüz yanma (ani yanma)

3- Kontrollü yanma

4-Art yanma olmak üzere dört aşamada gerçekleşir.

1.2.1. Tutuşma gecikmesi

Dizel motorunda silindirlere alınan hava ilk önce pistonun hareketiyle sıkıştırılır ve üzerine çok küçük damlalar halinde bulunan yakıt püskürtülür. Sıkıştırma sonunda ısınmış olan hava yakıt ısı temas ettiğinde ısınarak buharlaşır ve çok kısa süre sonra alevlenir. Bu esnada yakıtın püskürtülmesi ile alev meydana gelmesine kadar geçen süreye tutuşma gecikmesi denir. Tutuşma gecikmesi belirli bir zaman aralığı içesinde olmalıdır. Aksi takdirde bu sürenin artmasıyla motorun sesli ve vuruntulu çalışmasına etki eder (Borat ve ark., 1995). Tutuşma gecikmesini etkileyen faktörler temel olarak üçe ayrılabilir. Bunlar yakıt, yapısal ve işletme faktörlerdir (Safgönül ve ark., 1999). Tutuşma gecikmesini etkileyen en önemli işletme faktörleri; motor devir sayısı, emme hava sıcaklığı ve basıncı, motorun yük durumu ve oksijen konsantrasyonudur. Motor devir sayısı ile tutuşma gecikmesi zamanı ters orantılı olarak işler; devir sayısı arttıkça tutuşma gecikmesinin zamanı azalır. Aynı şekilde emme hava sıcaklığı ve basıncı arttıkça tutuşma gecikmesinin zamanı azalır. Motor yükü arttıkça tutuşma gecikmesi hem zamanda bir azalma hem de krank mili açısında bir azalma görülür. Yanma odasında bulunan oksijenin yoğunluğu azaldıkça tutuşma gecikmesinde artış görülür. Tutuşma gecikmesini etkileyen en önemli yapısal faktörler ise sıkıştırma oranı, motorun soğutma şartları ve püskürtme kalitesidir. Sıkıştırma oranının artması, sıcaklık ve basınç artışına neden olduğundan tutuşma gecikmesi azalmaktadır. Motorun boyutlarına bağlı olarak motorda yakıtın püskürtüldüğü bölgelerde sıcaklık değiştiği için yüksek sıcaklıkta tutuşma gecikmesi azalmaktadır. Aynı zamanda ön yanma odalı dizel motorlarda, ön yanma odası, sıcaklığı yüksek seviyede tutarak tutuşma gecikmesini azaltmaktadır. Yakıt silindir odasına püskürtüldüğünde farklı boyutlarda damlacıklar oluşmaktadır. Oluşan bu yakıt demetinin etrafında kolayca tutuşabilecek kadar küçük damlacıklar bulunsa da ortalama damlacık çapı artmasıyla tutuşma gecikmesi de artmaktadır. Setan sayısı dizel motorlarda kullanılan yakıtlarda tutuşma gecikmesini etkileyen en önemli parametrelerdendir. Setan sayısı artışıyla tutuşma gecikmesi zamanında azalma oluşur. Yakıtların setan sayısının

belirli sınırlar içerisinde olması istenir. Yüksek setan sayısı durumunda püskürtülen yakıt enjektör ucundan uzaklaşamadan, enjektör ucuna çok yakın bir yerde tutuşur. Bu da enjektörün uç kısmında koklaşma ve tıkanmaya neden olacaktır. Setan sayısının düşük olması durumunda ise tutuşma gecikmeyle gerçekleşecek ve bu da içeride yakıt birikmesine ve daha sonra ani tutuşma oluşmasına neden olacaktır, ki bu da vuruntu olarak tanımlanmaktadır. Buna ek olarak yakıtın viskozitesi de damlacıkların boyutlarını ve püskürtmenin kalitesini etkilemektedir. Yüksek viskozitenin olması durumunda ortalama damlacık çapı artacak, bu da tutuşma gecikmesini artacaktır.

1.2.2. Kontrolsüz (ani) yanma

Enjektörlerden püskürtülen yakıt ısınan hava ile birlikte yakıtın buharlaşarak tutuşması ile yanma başlar ve silindir içerisinde basınç maksimum seviyeye gelinceye kadar ani kontrolsüz yanma gerçekleşir. Tutuşma gecikmesinin biraz daha uzamasıyla silindir içerisinde fazla yakıt birikir ve bununla beraber basınç artışının meydana gelmesiyle motorda vuruntuya neden olmaktadır. Vuruntuyu önlemek için tutuşma gecikmesi kısaltılması ve bu zaman zarfında silindir içerisinde biriken yakıtın azaltılması gerekir. Genel olarak bu yanma yaklaşık olarak 6^{o} KMA civarında oluşmakta ve her bir krank mili açısında basınç artışı 200 kPa ile 300 kPa arasında olmaktadır (Safgönül ve ark., 1999).

1.2.3. Difüzyon kontrollü yanma

Kontrolsüz yanma sonucu ulaşılan basınç, yanmanın devam etmesiyle birlikte pistonu aşağı yöne hareket ederek basıncı daha fazla arttırmaktadır. Ayrıca sıcaklıktaki artış da devam etmektedir. Maksimum sıcaklığın oluştuğu zaman ile maksimum basıncın oluştuğu zaman arasındaki faza difüzyon kontrollü yanma olarak ifade edilmektedir. Bu fazda silindire püskürtülen yakıt miktarı düzenlenerek sıcaklık ve basınç değerlerinin yükselmesi kontrol altında tutulmaktadır. Bu fazda gerçekleşen buharlaşma hızı ve yakıt buharının hava ile karışma hızı yanmanın hızını belirlemektedir. Bu esnada silindire püskürtülen yakıtın ortalama damlacık çapı, silindir içindeki hava hareketleri ve hava fazlalık katsayısı oldukça önemlidir. Dizel motorlarda yakıtın buharlaşması ve tutuşması tek bir noktasal bölgede gerçekleşmez, birden fazla noktasal bölgede meydana gelir. Yanma hızına ve karışımın oluşma hızına da etki etmektedir. Yanma hızı ve karışımın

oluşum hızı yüksek seviyede tutularak yanma sıcaklığının yüksek olduğu ÜÖN civarında tamamlanması gerekmektedir. Aksi durumda yanma, yanma sıcaklığının düşüş gösterdiği ve genleşmenin meydana geldiği fazda devam eder. Bu da motorun veriminin düşmesine ve is oluşumuna neden olur (Safgönül ve ark., 1991).

1.2.4. Art yanma

Yanma aşamasında maksimum sıcaklığa ulaşıldıktan hemen sonra art yanma fazı başlamaktadır. Bu aşamada yakıtın silindire püskürtülmesi sona ermiş ve piston ÜÖN'dan AÖN'ya doğru hareket etmektedir. Yanma hızı, difüzyon hızı ve karışım oluşum hızı art yanmayı belirler. Bununla birlikte zengin karışımlarda eksik yanmış yanma ürünleri de art yanma esnasında tutuşmaktadır. Genişleme sırasında gerçekleşen art yanma ÜÖN'dan hemen sonra 70-80^{o} KMA'na kadar sürmektedir. Art yanma prosesleri egzoz zamanına geçilmeden tamamlanması gerekir (Safgönül ve ark., 1999).

2. BİYODİZEL

2.1. Dünyada biyodizel üretimi ve kullanımı

Son dönemlerde gelişmiş ülkeler enerji politikalarının kapsamını genişleterek alternatif enerji kaynaklarının kullanımını arttırma uğraşındalar. Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel diğer yakıtlara göre en fazla ilgiyi toplamaktadır. Ticari amaçla ilk defa biyodizel Avusturya'da 1988'de üretilmiştir. Yine aynı amaçla ilk sanayi tesisi ise 1991'de kurulmuştur.

Yenilenebilir enerjinin 2015'te, ulaşımdaki kullanımı tüm yakıtların %4'üdür. Alternatif sıvı yakıtların yenilenebilir enerji kaynağı olarak, ulaşımdaki rolünün giderek arttığı gözlemlenmiştir.

Hemen hemen tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynağı olan biyodizelin ulaşımda kullanımını arttırmak için devletler mevcut politikalarında değişikler yapmıştır. Politikalar biyodizelin direk veya kısmen kullanımını daha da kolaylaştırmıştır. Buna rağmen biyodizelin havacılıkta, raylı ulaşımda ve gemi taşımacılığındaki gelişimi yavaş olmaktadır. 2015 yılının sonunda, biyodizel üretim yetkisine sahip ulusal ve bölgesel çapta 66 ülke vardır.

Kuzey Amerika Kıtasında en büyük biyodizel üreticisi olan A.B.D., ayrıca dünyanın en büyük biyodizel üreticisidir. 2015'te uzun ertelemelerden sonra biyodizel üreticileri biyodizel ile ilgili mevcut kanunların geliştirilmesi adına politikacılardan pozitif sinyaller aldılar. Bununla birlikte etanol (çoğunlukla mısırdan) ve biyodizel üretimi (çoğunlukla soya yağından) 2014'e göre önemsiz bir oranda azalma görülmüş. Latin Amerika kıtasında ise Brezilya, Amerika'dan sonra dünyanın en büyük ikinci biyodizel üreticisidir. Brezilya'da 2015 yılında hem biyodizel hem de etanol üretiminde artış gözlemlenmiştir. Bunun temel sebebi ise karışımlarla ilgili yasaların ve şeker kamışı hasatlarının iyi seviyede olması olarak düşünülmektedir. Bununla birlikte Arjantin, geçmiş yıllardaki en büyük biyodizel üreticilerinden, 2015 yılındaki biyodizel üretimi % 20 oranında azalma görülmüş. Kolombiya ise bölgedeki en büyük üçüncü biyodizel üreticisi, biyodizel ürünlerinin üretiminde önemsiz seviyede azalma görülmüş. Avrupa'da ise biyodizel kullanımı ile ilgili yeni kanunlar düzenlenmiştir. Böylece daha önce tarımsal kökenli biyodizel yakıtlarının ulaşımda kullanılması ile ilgili %7'ye kadar biyodizel kullanımını sınırlayan kanun değiştirilmiştir. Buna rağmen, bölgedeki biyodizel üretiminde büyük bir değişiklik görülmemiştir. Asya kıtasında ise etanol üretimi artmaya devam etmiştir. Buna rağmen biyodizel ürünlerinin üretiminde önemli oranda azalma görülmüştür. Endonezya, birkaç yıl önce dünyadaki en büyük biyodizel üreticilerinden biriyken, biyodizel üretiminde yaklaşık olarak %60 oranında azalma gerçekleşmiş. Fakat Çin'de biyodizel üretiminde geçmiş yıllara göre artış gözlemlenmiştir. Afrika kıtasında ise biyodizel üretimi hala düşük seviyede takip etmektedir (Ren21, 2016).

Biyodizelin farklı sektörlerde kullanılması ve yeni uygulamalarda yer alması 2015 yılında da devam etmiştir. Mısır, Japonya, Meksika, Hollanda ve Amerika gelecekte havacılık sektöründe biyodizel yakıtının kullanılması için araştırmalara başladığını açıklamışlardır. A.B.D.'de United Airlines, uçaklarda biyodizel kullanılması için ilk adım atan havayolu şirketi olmuştur. Buna ek olarak, 2015 yılında havacılıkta biyodizelin yakıt olarak kullanılması için ham madde ile ilgili birkaç yeniliğin duyurulmasına tanık olduk. Bunlar, odunsu biyoyakıtın direk olarak yakıt olarak kullanılması ve şehir katı atıklarının jet motorlarına yakıt olarak dönüştürme için çalışmalar başlatılmıştır (Ren21, 2016).

Tablo 2.1. 2015'te Dünyada en fazla biyodizel üretimi yapan ilk 16 ülke (milyon litre) (Ren21, 2016).

Ülkeler	**Milyon ton**	Malezya	0,7
Amerika	4,8	İspanya	0,6
Brezilya	3,9	Kolombiya	0,6
Almanya	2,8	Çin	0,4
Fransa	2,4	Belçika	0,4
Arjantin	2,1	Kanada	0,3
Endonezya	1,7	*Türkiye*	0,3
Hollanda	1,5	Hindistan	0,1
Tayland	1,2	**Toplam**	**30,1**
Singapur	1,0		

2.2. Türkiye'de biyodizel

Dizel yakıtı Türkiye'de en çok kullanılan petrol türevi yakıttır. Bununla birlikte fosil yakıtların tükeneceğine dair bilinen gerçekler Türkiye'nin bu sektöre yatırım yapma zorunluluğunu getirmiştir. Türkiye'de üretilen biyodizel 2012'de 17,729 ton ve 2013'te 21,876 ton olmuştur.

Resmi gazetede 27 Eylül 2011 tarihinde yayımlanan ve 28067 sayılı "Motorin Türlerine İlişkin Teknik Düzenleme Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ"e göre piyasaya akaryakıt olarak arz edilen motorin türlerinin, yerli tarım ürünlerinden üretilmiş yağ asidi metil esteri (YAME) içeriğinin: 1/1/2014 tarihi itibariyle en az %1, 1/1/2015 tarihi itibariyle en az %2, 1/1/2016 tarihi itibariyle en az %3 olması zorunlu kılınmıştır (URL4). Bu karardan sonra biyodizele olan ihtiyaç;

- %1 YAME içerikli karışım için 160,000t biyodizel
- %2 YAME içerikli karışım için 320,000t biyodizel
- %3 YAME içerikli karışım için 480,000t biyodizel oluşturmuştur (Eryılmaz ve Ark., 2016).

Fakat EPDK, 1 Ocak 2014'ten itibaren motorine biyodizel katılmasına ilişkin düzenlemeyi yürürlükten kaldırdı. Resmi Gazete'nin 25 Haziran tarihli sayısında yer alan değişiklikle, "Motorin Türlerine İlişkin Düzenleme Tebliği"nde yer alan ve motorine 2014'te yüzde 1, 2015'te yüzde 2 ve 2016'da yüzde 3 biyodizel ilave edilmesine ilişkin maddenin iptal edildiğini duyurdu (Sırtıoğlu, 2015).

Ülkemizdeki biyodizel tesisleri incelendiğinde; 2015 verilerine göre EPDK'ya kayıtlı 24 firmanın biyodizel üretim lisansına sahip olduğu görülmüştür. Tablo 2.2'de

Türkiye'de şehirlere göre biyodizel üretim lisansı alan firmaların sayısı verilmiştir (URL4, 2017).

Tablo 2.2. İllere göre biyodizel üretim lisansı alan firma sayısı (URL4, 2017).

Şehir	Firma Sayısı	Şehir	Firma Sayısı
Adana	2	İstanbul	2
Adıyaman	1	İzmir	2
Afyon	1	Kilis	1
Ankara	1	Kocaeli	4
Bursa	1	Mersin	2
Gaziantep	4	Şanlıurfa	1
Hatay	1	Tekirdağ	1

2.3. Biyodizelin avantaj ve dezavantajları

Dizel motorlarında modifikasyona gerek kalmadan kullanılabilen biyodizel yakıtının hem avantajları hem de bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar aşağıda ayrıntılı bir şekilde ifade edilmiştir.

Avantajları

- Yenilenebilir oldukları için küçük tesislerde üretilebilir.
- Emisyonlarında CO, partikül madde, yanmamış hidrokarbon miktarı dizel yakıtına göre daha azdır ve ayrıca hem aromatik bileşikler hem de kükürt hemen hemen hiç yoktur.
- Kolay ayrışılabilirlerdir ve zehirli değildir.
- Motorine oranla parlama noktası daha yüksektir ve bu da biyodizelin daha kolay taşınma ve güvenli kullanımını sağlamaktadır.
- Biyodizelin dizel motorlarında kullanılabilmesi için herhangi bir motor modifikasyonuna ihtiyaç duymaz ve ayrıca motorun yağlanmasını da iyileştirir.
- Motorinle ile karşılaştırıldığında CO_2 emisyonunun atmosferde toplanması ve bunun bir etkisi olarak da sera etkisine neden olmaz. Çünkü biyodizelin yanmasıyla meydana gelen CO_2, biyodizelin elde edildiği bitkiler tarafından kullanılır.

Dezavantajları

- Motorine oranla uçuculuğu daha düşüktür.
- Yüksek bozunabilirlik (ayrışabilirlik) özelliğine sahip olduğundan depolanma sorunları yaratmaktadır.
- Akma ve bulutlanma noktaları yüksek olmasından dolayı soğuk havalarda motorine göre daha çabuk etkilenir. Bu durum, soğuk iklim bölgelerinde biyodizelin kullanılmasını sınırlandırmaktadır.
- Motorine oranla viskozitesi biraz daha yüksektir.
- Motorinle kıyaslandığında yapısında çift bağ ve doymamış yağlar olduğu için iyot sayısı yüksektir (EPA, 2002).
- Motorine oranla daha düşük ısıl değerine sahip olduğundan dolayı daha fazla yakıt tüketmektedir.
- Karbon kalıntıları ve kurum oluşumuna neden olmaktadır. Piston başı, segman, segman yuvası, silindir başı, supaplar, supap kılavuzları ve enjektör memesi gibi elemanlarda karbon birikmesine neden olmaktadır.
- Karışımlara eklenmesiyle NOx emisyonlarında artışa neden olmaktadır. Sorun sadece katalitik konvertör kullanılarak veya yanma sıcaklığını azaltarak(yanmanın 1–3 KMA geciktirilmesi) çözülebilir (Zhang, 2002).

2.4. Motor yakıtı olarak biyodizel

Yapılan birçok çalışma ile biyodizelin dizel motorlarda uzun bir süre kullanılabileceği görülmüştür. Dizel yakıtına oranla biyodizel daha düşük sıcaklıklarda daha fazla kalınlaşır. Akma noktasını düşürmek için katkı maddeleri kullanmak mümkündür. Ayrıca katının akma noktasını soğuk iklimlerde belli bir seviyede tutabilmek için yakıt tankına ısıtıcı da eklenilebilir. Biyodizel ile hazırlanan karışımın akma noktası %100 biyodizelden oluşan yakıtın akma noktasından daha düşüktür. Bununla birlikte bahsedilen sorunlara önlem alınmazsa gresleşme problemi yine ortaya çıkacaktır (Alpgiray ve Gürhan, 2007).

Biyodizel; hayvansal yağlardan, bitkisel yağlardan ve geri dönüşümü yapılmış yemek yağlarından elde edilebilen bir yakıttır. Biyodizel kimyasal olarak yağ asidi metil esterlerle (YAME) çevrilmiş 14 farklı türden yağ asidi içerir (Tablo 2.3). Besin stoğunda

(Tablo 2.4) bulunan her bir yağ asidi metil esterlerin değişik parçaları yakıtın niteliğini değiştirir. Doymuşluk yüksek seviyelerde (C_{14}-C_{16}-C_{18}) olması durumunda; bulutlanma noktası yükselir, setan sayısını yükseltir, NOx'i azaltır. Daha fazla doymamışlar ($C_{18:2}$ - $C_{18:3}$) yapıda olmasıyla bunlar bulutlanma noktasını azaltacak (denge katkısı bulunmazsa) ve NOx'i yükseltecektir (Taşyürek, 2005).

Tablo 2.3. Biyodizel üretiminde kullanılan doymuş yağ asitlerin formülleri

Doymamış yağ asid adı	**Karbonların ve çift bağ numaraları**	**Kimyasal yapı(çift bağların yerini gösterir)**
Caprylik	C8	$CH_3(CH_2)_6COOH$
Capric	C10	$CH_3(CH_2)_8COOH$
Lauric	C12	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$
Myristic	C14	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$
Palmitic	C16:0	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$
Palmitoleic	C16:1	$CH_3(CH_2)_5CH=CH(CH_2)_7COOH$
Stearic	C18:0	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$
Oleic	C18:1	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$
Linoleic	C18:2	$CH_3(CH_2)_4CH=CHCH_2CH=CH(CH_2)_7COOH$
Linolenic	C18:3	$CH_3(CH_2)_2CH=CHCH_2CH=CHCH_2CH=CH(CH_2)_7COOH$
Arachidic	C20:0	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$
Eicosenoic	C20:1	$CH_3(CH_2)_7=CH(CH_2)_9COOH$
Behenic	C22:0	$CH_3(CH_2)_{20}COOH$
eurcic	C22:1	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_{11}COOH$

Tablo 2.4. Bitkisel yağların yağ asidi içerikleri (Acaroğlu, 2003).

Yağ	**16:0**	**16:1**	**18:0**	**18:1**	**18:2**	**18:3**	**Diğer**
Pamukyağı	28,7	0	0,9	13,0	57,4	0	0
Haşhaş	12,6	0,1	4,0	22,3	60,2	0,5	0
Kolza	3,5	0	0,9	64,1	22,3	8,2	0
Aspir	7,3	0	1,9	13,6	77,2	0	0
Ayçiçeği	6,4	0,1	2,9	17,7	72,9	0	0
Susam	13,1	0	3,9	52,8	30,2	0	0
Yağ kremi	5,1	0,3	2,5	18,9	18,1	55,1	0
Buğday	20,6	1,0	1,1	16,6	56,0	2,9	1,8
Hurma	42,6	0,3	4,4	40,5	10,1	0,2	1,1
Mısır özü	11,8	0	2,0	24,8	61,3	0	0,3
Hintyağı	1,1	0	3,1	4,9	1,3	0	89,6
Tallow	23,3	0,1	19,3	42,4	2,9	0,9	2,9
Soya	13,9	0,3	2,1	23,2	56,2	4,3	0
Defne	25,9	0,3	3,1	10,8	11,3	17,6	31,0
Yer fıstığı	11,4	0	2,4	48,3	32,0	0,9	4,0
Fındık	4,9	0,2	2,6	83,6	8,5	0,2	0
Ceviz	7,2	0,2	1,9	18,5	56,0	16,2	0
Badem	6,5	0,5	1,4	70,7	20,0	0	0,9
Zeytin	5,0	0,3	1,6	74,7	17,6	0	0,8
Hindistan cevizi	9,7	0,1	3,0	6,9	2,2	0	65,7

2.5. Biyodizelin fiziksel özellikleri

2.5.1. Viskozite

Kısaca sıvıların akmaya karşı göstermiş oldukları direnç viskozite olarak tanımlanmaktadır. Sayısal olarak sıvıların ne kadar kalın veya ince olduğunu ifade etmemize yardımcı olmaktadır. Sıvılarda sıcaklık arttıkça viskozite artar, yani sıvılar sıcaklık aşında daha kolay akmaktadır. Viskozite değerinin herhangi bir durumda ifade edilebilmesi için hangi sıcaklıkta olduğu belirtilmelidir. En çok kullanılan birimleri şunlardır: Centistoke cSt. (canti stok), mm^2/s., Engler derecesi, Centipoise cp (santipuaz), Redwood seconds, Saybolt Seconds.

Dizel motorunda kullanılan yakıtın viskozite değerinin yüksek olması istenmemektedir. Yakıtın viskozitesi yüksek olması durumunda, yakıt enjektörlerden daha iri tanecikli olarak püskürtülecektir. İyi atomize olmamış bir yakıt yanmayı kötüleştirecektir ve bu da motorun veriminin azalmasına neden olacaktır. Bununla birlikte yüksek viskoziteye sahip bir yakıt pompa plancırına yeteri kadar yakıt dolmayacağından dolayı motorun volumetrik verimi düşürür ve sonuç olarak motor gücü ve momentinde bir azalma meydana getirir. Kinematik viskozite ise bir akışkanın yer çekimi etkisi altında akmaya karşı gösterdiği dirence denir. Belirli bir hidrostatik kolon basıncı altında yerçekimi ile akış, sıvının kolon basınç yoğunluğu ile orantılı olarak değişikmektedir. Herhangi bir akışkanın viskozitesi, belirli bir hacimdeki sıvının akış süresi, sıvının kinematik viskozitesi (v) ile doğru orantılı olarak değişir (URL3).

Uluslararası standartlarda dizel yakıtları için kinematik viskozite sınır değerleri Tablo 2.5'te gösterilmiştir (URL3).

Tablo 2.5. Uluslararası standartlarda dizel ve biyodizel yakıtları için kinematik viskozite sınır değerleri (URL11; URL12).

Standart adı	Standart no	Birim	Dizel değer aralığı	Biyodizel değer aralığı
ASTM	D6751	mm^2/s	1.9–6.0	1.9–6.0
DIN	E51606	mm^2/s	3.5–5.0	3.5-5.0
EN	14214	mm^2/s	3.5–5.0	3.5-5.0

2.5.2. Yoğunluk

Biyodizel yakıtı için yoğunluk en önemli değişkenlerden biridir. Biyodizel yakıtlarının yoğunluklarının yüksek olması durumunda, oluşum işlemi esnasında gliserinin yeterince yakıttan ayrıştırılmadığının bir göstergesidir (URL3).

Bitkisel kökenli yağlardan elde edilen biyodizel yakıtlarının yoğunlukları dizel yakıtı yoğunluğuna yakın olmakla birlikte, bu değer biraz daha fazladır. Biyodizel yakıtının daha yüksek yoğunluk değerine sahip olması; pompadan gönderilen yakıt miktarının azalmasına neden olur ve bu da motorun termik veriminin düşmesine sebep olur. Uluslararası Standartlarda dizel yakıtları için yoğunluğun sınır değerleri aşağıda Tablo 2.6'te gösterilmiştir.

Tablo 2.6. Uluslararası standartlarda dizel ve biyodizel yakıtları için yoğunluğun sınır değerleri (URL11; URL12).

Standart adı	Standart no	Birim	Dizel değer aralığı	Biyodizel değer aralığı
ASTM	D6751	kg/m^3	820–845	860-900
DIN	E51606	kg/m^3	860–900	875-900
EN	14214	kg/m^3	820–845	860-900

2.5.3. Setan sayısı

Yakıtın kendi kendine tutuşma kabiliyetlerini ifade eden değerin ölçüsüdür. Bu değer dizel motorlarda yanmaya etki eden en önemli değerlerden biridir. Yakıtın vuruntu ile olan ilişkisini gösterir ve ölçülebilen bir özelliktir. Setan sayısı yüksek olması durumunda, tutuşma gecikmesi periyodu kısalır ve yanma düzgün bir şekilde devam eder. Setan sayısı düşük olması durumunda, tutuşma gecikmesi periyodu uzar. Buna bağlı olarak da silindire alınan yakıtın tamamı bir anda yanmaya başlar. Bu da silindir içerisinde ani basınç artışı oluşturacaktır. Bu artış öyle büyüktür ki, motor parçalarına etki ederek gürültülü çalışmasına neden olarak, yanmayı kötüleştirecektir. Bu olaya dizel vuruntusu adı verilmektedir. Vuruntulu çalışan bir motor; ilk harekette zorlanma, fazla yakıt tüketimi, karbon birikintisi, güç kaybı, motorun geç ısınması gibi motora zarar verecek veya motor maliyetini arttıracak olumsuzluklara neden olmaktadır.

Dizel yakıtının setan sayısının ölçülmesi kolay olmadığından dolayı bunun yerine aynı anlamı ifade eden Dizel indeksi kullanılmaktadır. Dizel İndeksi ya formüller

vasıtasıyla hesaplanır ki bunun için anilin noktası ve API gravite gibi ifadelerin bilinmesi gereklidir. Formül 1.1'de dizel indeksi ile anilin noktası ve API gravite arasındaki ilişki verilmiştir.

Tablo 2.7. Dizel indeks ile Setan sayısı arasındaki sayısal ilişki verilmiştir.

Tablo 2.7. Dizel indeks ile Setan sayısı arasındaki sayısal ilişki (URL10).

Dizel indeks	Setan Sayısı
0	16
5	20
10	24
15	28
20	30
25	34
30	37
35	40
40	43
45	46
50	50
55	53
60	56
65	59
70	62
80	65
85	68
90	71
95	75
100	78

2.5.4. Isıl değer

Bir yakıtın ısıl değeri direk olarak enerji ile bağlantılıdır. Yakıtın ısıl değeri ne kadar yüksek olursa elde edilen enerji de o kadar yüksek olmaktadır (Heywood, 1988).

Bitkisel yağlardan elde edilen biyodizellerin ısıl değeri, genel olarak petrol türevli yakıtların ısıl değerinden daha düşüktür. Bu yüzden biyodizelden aynı miktarda enerji elde edebilmek için dizel yakıtı miktarına oranla daha fazla biyodizel yakıtı gerekir. Yani biyodizel yakıtı özgül yakıt tüketimini arttırmaktadır. Ayrıca ısıl değerin düşük olması motorun termik veriminin düşmesine de neden olmaktadır. Biyodizel aynı motor koşullarında dizel yakıtına göre daha düşük güç ve tork değerlerine sahiptir (Karahan, 2006).

2.5.5. Akma ve bulutlanma noktaları

Akma noktası bir akışkanın akmaya devam edebildiği en düşük sıcaklık değerinin parametresidir. Bu değerin tam zıt ifadesi olarak da, yakıtın jele dönüşmesini ifade eden sıcaklık noktasıdır. Bu parametreler yakıtın hangi soğuk iklimlerde kullanılabileceğinin ölçüsünü gösterir. Elde edilen biyodizel yakıtlarının akma ve bulutlanma noktaları, dizel yakıtına oranla daha yüksektir. Bu da biyodizellerin kış aylarında kullanımını zorlaştırmaktadır. Akma ve bulutlanma noktası belirlenmesinde kullanılan cihaz ile yapılan soya metil esteri analizlerinde, soya biyodizelinin -8 ˚C'de akıcılığını kaybetmeye başladığı tespit edilmiştir (URL3).

2.5.6. Akış özellikleri

Biyodizelin akma noktası dizel yakıtın akma noktasından daha yüksektir. bu olumsuzluk motorun kış aylarda kullanımını sınırlandırmaktadır. Soğuk akış özellik değerleri iyi olmayan yakıtlarda, yakıtlar motorun beslenme elemanlarına hasar verir ve ayrıca motorda ilk hareketinde problemler yaratır (Akyarlı, 2004).

2.5.7. Parlama noktası

Parlama noktası değeri yanmaya önemli derecede bir etki etmez. Yanmadan daha ziyade, yakıtın depolama ve taşınma emniyetini gösteren bir özelliktir. Biyodizel yakıtının parlama noktası dizel yakıtı değerine oranla daha yüksektir. Bu durum biyodizeli taşınma ve depolanma bakımından daha emniyetli yapmaktadır. Parlama noktası bir sıvının alev ile teması olduğunda alev almaya başladığı noktadır. Parlama noktasının uluslararası standartlarda dizel yakıtları için en düşük değerleri Tablo 2.8'de gösterilmiştir (URL3).

Tablo 2.8. Uluslararası standartlarda dizel yakıtları için parlama noktası sınır değerleri (URL3).

Standart adı	Standart no	Birim(en az)
ASTM	D6751	130^{o}C
DIN	E51606	100^{o}C
EN	14214	120^{o}C

2.5.8. İyot sayısı

Bitkisel yağların özelliğine ve çift bağ sayısına göre iyot sayısı değişiklik göstermektedir. Yüksek iyot sayısına sahip yakıtlar, enjektör püskürtme deliklerinin tıkanmalarına neden olmaktadır veya yanma odası hasarlarına yol açmaktadır (Akyarlı, 2004).

2.6. Aspir bitkisi

2.6.1. Aspir bitkisi ve tarihçesi

Aspir bitkisi Latincede Charthamus Tinctorius L. olarak bilinmektedir. Binlerce yıldır doğada bulunan ve birçok amaç için kullanılan bir bitkidir. Ayrıca yalancı safran, Amerikan safranı ve boyacı safran gibi isimlerle de bilinen, tek yıllık, geniş yapraklı bir yağ bitkisi olan aspirin, ilk olarak Asya Kıtasının güneyinde, Ortadoğu Bölgesinde ve Akdeniz ülkelerinde ekildiği bilinmekte ve tüm dünyaya bu bölgeden yayılmış olduğuna inanılmaktadır. Diğer bir görüş ise Mısır, Fas, Çin ve Hindistan'da, M.Ö. 4500 yıllarından bu yana ekildiği ve buradan yayıldığı düşünülmektedir. Anadolu'da ise uzun yıllardır kullanılan ve hem bir yağ olarak hem de bir boya farklı uygulamaları bulunmaktadır. Bu ülkelerde ise başlarda tıbbi amaçlarla ve çiçeğindeki boya maddesinin gıda ve kumaş boyacılığında kullanılması amacıyla yetiştirilmiş, daha sonraları ise, tohumundaki yağı kullanmak için yetiştirilmeye başlanmıştır (Esendal, 2001).

Eski Mısır'lılar aspir çiçeklerini kültür bitkisi olarak yetiştirmekte ve mumyaların sarıldığı papirüs şeritlerinin üzerine çiçekleri saçıyorlarmış. Yaklaşık 100 yıl önce Mısır ve Hindistan'da aspir tohumları yağ kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır (URL5).

2.6.2. Aspir bitkisi ve botanik özellikleri

Aspir, botanik olarak Campanulatae takımından, Compositae familyasından, Charthamus cinsindan, Charthamus Tinctorius L. türüdür (Işığıgür, 1992).

Şekil 2.1.'de görülen aspir bitkisi kazık köklüdür ve kök toprak yapısına göre 100-150 cm derine kadar inebilmektedir. Sap kısmı yuvarlak olmaktadır ve 0,5-0,3 cm arasında kalınlaşır. Bitki boyu ise genellikle 30 ile 100 cm kadar uzamaktadır. Çiçekleri 2-5 cm çapında bir tabla üzerinde bulunmaktadır. Taç yaprakları 5 uçlu bir boru şekline

benzemektedir. Çiçeklerin taç yaprakları sarı ve sarı-kırmızı renkte olabilmektedir ve bileşiminde Charthamin adlı boya maddesini içerir. Bu nedenle yaprakları genel olarak boya üretiminde kullanılmaktadır. Tohumların yüzü düz ve yumurta şeklinde olmakta, renkleri ise beyaz veya krem olmaktadır. Tohumu ayçiçeği tohumuna oldukça benzemekte fakat ondan daha küçük, sert ve kalın kabukludur. Her bir tane çiçeklenmeden sonra olgunlaşmaya başlar. Aspir tohumunda 1000 tane ağırlığı 35-40 gr ağırlığındadır. Tohum kabuk oranı %50 civarında olmaktadır. İnce kabuklu aspir çeşitlerinin tane/kabuk oranı tespit edilip kabuk oranı düştükçe yağ oranının arttığı tespit edilmiştir. Tohumda kabuklu halde %20-25, kabuksuz halde %45 yağ miktarı bulunmaktadır. Kabuklu halde ise %12 ile 15 arasında protein içermektedir (Akpınar, 1999).

Aspirin dikenli ve dikensiz formları vardır. Dikenli formları dikensiz göre içeriğinde daha fazla yağ bulundurmaktadır. Dikensiz formlarının yapraklarının ve meyvelerinin üzerinde diken bulunmamaktadır. Bu da bakımını, hasatını ve harmanını daha kolaylaştırmaktadır. Aspir bitkisinin ekimi için en uygun dönem, ilkbahar başlangıcı ve kuru hava şartlarıdır. Ekim derinliği toprak nemine bağlı olmakla beraber az nemli topraklar için 8-10 cm derinlik yeterli olduğu kabul edilir. Bitki hem kurağa hem de soğuğa karşı dayanıklıdır. Ancak sulamanın mümkün olduğu bölgelerde 230-260 kg/dekar gibi ayçiçeğine eşdeğerde yüksek verim elde etmek mümkündür. Aspir, yabancı döllenmesi hakim olan bir bitki olduğundan dolayı, çeşitlerin birbirine karışması veya aynı çeşidin zaman içerisinde iyi özelliklerini yitirme olasılığı oldukça yüksek görülmektedir. Bu nedenle bitki devamlı ıslah ve seleksiyona ihtiyaç duyar. Islah yapılması durumunda tohum verimi yüksek, yağ miktarı fazla, tohum iç oranı yüksek, çevre koşullarına daha iyi uyum sağlayabilen, hastalıklara dayanıklı, özellikleri değişik olan yeni çeşitler elde edilebilmektedir (Işığıgür, 1992).



Şekil 2.1. Aspir bitkisi.

Aspir bitkisi kurak mevsim şartlara iyi adapte olabilen bir bitki olması, mekanizasyona uygun olması, yetiştirilmesi önerilen yerlerde önemli hastalık ve zararlısının olmamasından dolayı kıraç alanlarda tarımı yapılabilecek bir bitkidir. Ayrıca, aspir kurak alanlarda nadas alanlarının değerlendirilmesinde ekilebilecek bir çapa bitkisidir (Ağsakallı ve ark., 2001).

Aspir tarımının yapılmasındaki en büyük kolaylıklardan biri de buğday-arpa tarımında, toprak hazırlığından ürünün depoya alınmasına kadar geçen sürede kullanılan tüm tarımsal alet ve ekipmanların bu bitkinin tarımında da kullanılabilmesidir (URL3).

2.6.3. Aspir çeşitleri

Dünyada her bölgede farklı iklim koşullarının oluşması aspir bitkisinin de birçok çeşidinin olmasını sağlamıştır. Dünyada 17 ülkede genetik olarak farklılık gösteren toplam 89 çeşit aspir bitkisi olduğu biliniyor (Zhang, 2001). Belirli bölgelerde yetiştirilen aspir tohumu ve genel özellikleri Tablo 2.9'de verilmiştir.

Ülkemizde ise yetiştirilen ve ıslahı yapılan 3 aspir çeşidi bulunmaktadır. Bu aspir çeşitlerden 2 tanesi tescilli, 1 tanesinin ise sadece üretim izini vardır. Yenice ve Dinçer çeşitleri tescilli aspir çeşitlerinden olup, 5-154 hattı ise üretim izinlidir. Bu aspir çeşitleri Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. Bu çeşitlere ait bazı tarımsal özellikler Tablo 2.10'de verilmiştir (Can, 1998).

Tablo 2.9. Dünya genelinde aspir çeşitleri ve genel özellikleri (Armah-Agyeman ve ark., 2002).

Çeşit	**Yetiştirildiği bölge**	**Kabuk rengi**	**Yağ tipi**	**Yağ verimi**
S-541	Uluslararası Tohum Ens.	Mor-çizgili	Linoleik	Çok iyi
S-208	Uluslararası Tohum Ens.	Beyaz	Linoleik	İyi
Hartman	Montana, Kuzey Dakota	Mor-çizgili	Linoleik	Kötü
Oker	Montana, Kuzey Dakota	Mor-çizgili	Linoleik	İyi
Girard	Montana, Kuzey Dakota	Mor-çizgili	Linoleik	İyi
Finch	Montana, Kuzey Dakota	Beyaz	Linoleik	Kötü
Safire	Kanada	Beyaz	Linoleik	Kötü
Centennial	Montana, Kuzey Dakota	Mor-çizgili	Linoleik	Çok iyi
Mt. 3697	Montana, Kuzey Dakota	Mor-çizgili	Oleik	İyi
Montola 2000	Montana, Kuzey Dakota	Beyaz	Oleik	İyi

Tablo 2.10. Türkiye aspir çeşitleri ve özellikleri (Can, 1998).

Özellikler	Çeşitler		
	YENİCE	**DİNÇER**	**5-154**
Dikenlilik	Dikensiz	Dikensiz	Dikenli
Çiçek rengi	Kırmızı	Turuncu	Sarı
Bitki boyu (cm)	100-120	90-110	60-80
Tane rengi	Beyaz	Beyaz	Beyaz
Kabuk oranı (%)	49	46	40
Yağ oranı (%)	24-25	25-28	35-40
Protein oranı (%)	13	14	14
1000 Tane ağ. (gr)	38-40	45-49	46-50

2.6.4. Aspir bileşenleri ve kullanım alanları

Aspir tek yıllık bir yağ bitkisi olarak ekilmektedir. Temel olarak bu bitkinin tohumundaki yağdan yararlanılmaktadır. Ayrıca yan ürün olarak küspesinden, saplarından ve çiçeklerinden de yararlanılmaktadır. Ayrıca aspir tohumu, kuşlara yem olarak da verilebilmektedir (Armah-Agyeman ve ark, 2002).

2.6.5. Aspir tohumu

Aspir tohumu biçim itibariyle ayçiçeği tohumunu andırmaktadır (Şekil 2.2). Fakat tane ağırlığı, ayçiçeğinin yarısı kadardır. Aspirin dış kısmında bulunan kabuğun yoğunluğu dikkat çekmektedir. Bu kabuk, hem tohumun yağ yüzdesini hem de protein miktarını düşürmektedir. Aspirin dışında bulunan kabuğun oranı %30-70 arasında değişmektedir. Kabuğun kalın olması; mekanik toplama, tohum yağının alınması, depolama ve işlemede sorunlara neden olmaktadır. Dünya genelinde bazı bölgelerde ve Türkiye'de yetiştirilen aspir tohumunun özellikleri Tablo 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Aspir tohumu.

Tablo 2.11. Aspir tohumunun özellikleri (Akpınar, 1999)

BÖLGE	Nem (%)	Yağ (%)	Protein (%)	Kül (%)
Hindistan	7	32	15	17
Kenya	6	22	18	---
Rusya	5	15	14	3
Somali	4	29	24	2
Sudan	---	37	---	---
USA	6	33	13	3
Türkiye	7-8	25-35	14-17	2-4

Aspir tohumunun yağ içeriği %34'ün altında olması durumunda, bu tohumlar yağ elde edilebilmek için uygunsuz olarak bulunmaktadır. Bu tohumlar kuş yemi olarak kullanılmaktadır (Armah-Agyeman ve ark, 2002).

2.6.6. Aspir yağı

Aspir yağının özgün bir kokusu ve tadı vardır. Bu yüzden yemeklerde kullanılabilmektedir. Bununla birlikte yarı kuruyan yağ olma özelliğine sahip olmasından dolayı boya yapımında, vernik, cila ve sabun yapımında da kullanılmaktadır (Stanford ve ark., 2001).

Aspir yağının en büyük özelliği oleik ve linoleik gibi doymamış yağ asitleri oranının yüksek olması ve palmitik ve stearik gibi doymuş yağ asitlerinin oranlarının düşük seviyelerde olmasıdır. Diğer bitkisel yağlara göre daha fazla linoleik asit içermesi (yaklaşık %70) dolayı insanlarda besin olarak önemi artmıştır. Aspir yağının sağlık olarak kalp ve damar hastalıklarına iyi geldiği belirtilmiştir ve romatizma ilacı olarak da kullanılmaktadır. Aspir tohumunda linoleik asitin yüksek oranda bulunması, bu yağın hidrojenerasyonu ile elde edilecek margarinin de yüksek kalitede olmasını sağlamaktadır. Bu nedenlerden dolayı aspir yağı yemeklerde yağ olarak rahatlıkla kullanılmakta ve insan sağlığına da herhangi bir zararı bulunmamaktadır (URL6).

Aspir yağının içeriğinde bulunan yağ asitleri dağılımı ve diğer yağlı tohumların yağ asitleri ile karşılaştırılması Tablo 2.12'de verilmiştir (URL6).

Tablo 2.12. Aspir yağının yağ asitlerinin diğer yağ asitleri ile karşılaştırılması (URL6).

Yağ asitleri		**Aspir**	**Kolza**	**Soya**	**Mısır**	**Ayçiçeği**
Sınıf	**İsim**					
14:0	Miristik	-	0,75	0,1	-	-
16:0	Palmitik	5-7	4,0	10,8	11,4	6,0-7,0
18:0	Stearik	2	1,6	4,0	1,9	4,0-5,0
20:0	Arasidik	-	0,5	-	-	-
22:0	Risinoleik	-	0,4	-	-	-
Toplam doymuş yağ asitleri		10,4	6-9	15,1	13,3	10,8
16:1	Palmitoleik	-	0,25	0,2	-	-
18.1	Oleic	15	61,0	23,8	25,3	17-20
20:1	Eikosenoik	-	1,5	0,2	-	-
22:1	Dihidrokdistearik	-	0,2	-	-	-
Toplam tekli doymamış yağ asitleri		15	61-64	24,3	25,3	20,4
18:2	Linoleic	77	19-26	53,3	60,7	68,8
18:3	Linolenic	-	8-13	7,1	0,7	-
Toplam çoklu doymamış yağ asitleri		77	27-35	60,6	61,4	68,8

2.6.7. Aspir küspesi

Aspir tohumunun yağı çekildikten sonra arta kalan küspe kısmı havyanlar için yem olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Aspir küspesi

Küspe kabuklu ve kabuksuz olarak ayrılmaktadır. Kabuksuz küpe; yaklaşık olarak %45 ham protein ve %20 karbonhidrat içerdiğinden besin değeri daha yüksektir. Kabuklu küspede bu oranlar daha düşük olduğundan dolayı besin değeri düşüktür. Küspenin tadı acı olduğundan dolayı diğer yemler ile karıştırılarak hayvanlara verilmektedir. Küspe genellikle büyük baş hayvanlara yem olarak verilmekte ve bu şekilde beslenen hayvanların gebelik dönemleri ve doğumları sağlıklı bir şekilde geçmektedir. Ayrıca

küspeyi besin olarak alan süt hayvanlarının sütlerindeki yağ asitlerinin bileşimi de farklılık göstermektedir (Encinias ve ark., 2001).

Tablo 2.13'de kabuklu ve kabuksuz olmak üzere aspir küspesinin özellikleri verilmiştir (Akpınar, 1999).

Tablo 2.13. Aspir küspesinin özellikleri (Akpınar, 1999).

Özellikler (%)	Kabuklu pres küspesi	Kabuksuz pres küspesi
Nem	9,2	8,6
Kül	4,3	8,0
Ham yağ	6,9	8,6
Ham protein	17,1	45,9
Ham selüloz	33,8	9,1
Azotsuz öz maddeler	28,7	19,8
Tüm organik maddeler	86,5	83,4

2.6.8. Aspir çiçekleri ve sap-samanı

Aspir çiçeklerinin taç yaprakları sarı ve sarı-kırmızı renkte olmaktadır (Şekil 2.4). aspir çiçeğinin yapraklarında Cartamin adı verilen bir boya maddesi bulunmaktadır. Bu boya maddesi kozmetiklerin, besin maddelerinin, suni çiçeklerin ve likörlerin boyanmasında kullanılmaktadır.



Şekil 2.4. Aspir çiçekleri.

Ayrıca, aspirin çiçekleri kurutularak süs olarak kullanılmaktadır. Sap ve saman kısımları ise yakacak ve barınak malzemesi olarak kullanılmakta veya koyun gibi küçük baş hayvanlara besin olarak verilmektedir (Pinto ve ark., 2001).

2.7. Biyodizel ile ilgili standartlar

Biyodizel yakıtı çeşitli kaynaklardan elde edilebilmektedir. Üretilen biyodizellerin kullanılması ile ilgili bazı standartlar vardır. Bu standartlar ülkeden ülkeye değişmektedir. Şuan ABD'de geçerli olan biyodizel standardı ASTM 6751 (American Society for Testing and Material) uluslararası biyodizel standardı kullanmaktadır. Avusturya ise ONORMC 1191 standardını kullanılmaktadır. Ülkemizde bu konuya ilişkin standart ise olan dizel motorları için yağ asidi metil esterleri (YAME, Biyodizel) TSE 14214 biyodizel standartları Tablo 2.14'de verilmiştir. Bu standart EN 14214 Standardı baz alınarak TSE Standardı hazırlanmıştır.

Bu standartların temel amacı %20 ve daha düşük oranlarda kullanılacak karışımlarındaki biyodizelin kalitesi belirli sınırlar altında tutmaya yarar. Hazırlananan biyodizel temelli karışımlar dizel yakıtı ile karıştırılmadan önce bu TSE 14214 standardını sağlamak zorundadır. TSE'nin diğer yakıt standardında bulunduğu dizel motor güvenliği ve memnuniyeti için gerekli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin sınırları TSE 14214'da bulundurmaktır.

Motor üreticileri genelde malzemeden kaynanan veya işlemeden dolayı oluşan hatalara karşı güvence vermektedir. Bu güvenceler dış etkenler yüzünden meydana gelen hasarları kapsamamaktadır. Kullanılabilecek farklı türdeki karışımlar motor üreticileri tarafından sağlanan güvenceler arasında değildir. Eğer motorda biyodizel yakıtının kullanılması ile bir hata oluşmadı ise motor üreticileri bu problemi çözmeliler. Şuana dek motor üreticileri biyodizelin motora olan etkileri araştırmaktadırlar. (Ceviz ve ark., 2009).

Tablo 2.14'de bazı ülkelerde ve Avrupa'da geçerli olan biyodizel standartları gösterilmiştir.

Tablo 2.14. Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartları (Ceviz ve ark., 2009).

Özellikler	**AB**	**Avusturya**	**Fransa**	**Almanya**	**İtalya**	**İsveç**	**ABD**
Standart	**TS EN 14214**	**ONC 1191**	**Journal Official**	**DIN V 51606**	**UNI 10635**	**SS 155436**	**ASTM D-6751**
Tarih	2003	1997	1997	1997	1996	1996	2002
Uygulama	YAME	YAME	BYME	YAME	BYME	BYME	YAMA E
Yoğunluk, 15 ^{o}C, g/cm^3	0,86-0,90	0,85-0,89	0,87-0,90	0,8750,90	0,86-0,90	0,87-0,90	-
Kinematik Viskozite, 40 ^{o}C, mm^2/s	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	1,9-6
Distilasyon, %95, ^{o}C	-	-	≤360	-	≤360	-	≤360
Parlama noktası, ^{o}C	≥120	≥100	≥100	≥110	≥100	≥100	≥130
Soğukta Filtre Tıkama Noktası, ^{o}C	Ülkesel Özellik	0/-15	-	0/-10/-20	-	-5	-
Akma Noktası, ^{o}C	-	-	≤-10	-	≤0≤-15	-	-
Condrasson Kök Bakiyesi, Ağırlık %'si %100 %10	- ≤0,3 -	≤0,05 - -	- ≤0,3 -	≤0,05 - -	- ≤0,5 -	- - -	≤0,05 - -
Bakır Korozyon, 3h, 50 ^{o}C	1	-	-	1	-	-	≤No,3
Setan Sayısı	≥51	≥49	≥49	≥49	-	≥48	≥47
Nötralizasyon Sayısı, mgKOH/g	≤0,5	≤0,8	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,6	≤0,8
Alkalite, mg/kg	-	-	≤5	≤5	-	≤10	-
İyot Sayısı	≤120	≤120	≤115	≤115	-	≤125	-
Su İçeriği, mg/kg	≤500	-	≤200	≤300	≤700	≤300	≤0,05%
Fosfor, mg/kg	≤10	≤20	≤10	≤10	≤10	≤10	≤0,001 %mass
Belirlenememiş Bileşenler, mg/kg	≤24	-	-	≤20	-	≤20	-
Kükürt, Ağırlık %'si	≤10 (mg7kg)	≤0,02	-	≤0,01	≤0,01	≤0,001	≤0,05
C18:3 ve Yüksek Doymamış Yağ Asitleri, Ağırlık %'si	-	≤15	-	-	-	-	-
C(x:4) ve Büyük Doymamış Yağ Asitleri, Ağırlık %'si	≤1	-	-	-	-	-	-
Okside Kül, Ağırlık %'si	-	-	-	-	≤0,01	≤0,01	-
Sülfate Kül, Ağırlık %'si	≤0,02	≤0,02	-	≤0,03	-	-	≤0,02
Metanol, Ağırlık %'si	≤0,2	≤0,2	≤0,1	≤0,3	≤0,2	≤0,2	-
Linoleik Asit, Ağırlık %'si	≤12	-	-	-	-	-	-
Monogliseritler, Ağırlık %'si	≤0,8	-	≤0,8	≤0,8	≤0,8	≤0,8	-
Digliseritler, Ağırlık %'si	≤0,2	-	≤0,2	≤0,4	≤0,2	≤0,1	-
Trigliserit, Ağırlık %'si	≤0,2	-	≤0,2	≤0,4	≤0,1	≤0,1	-
Serbest Gliserin, Ağırlık %'si	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02
Toplam Gliserin, Ağırlık %'si	≤0,25	≤0,24	≤0,25	≤0,25	-	-	≤0,24
Ester, Ağırlık %'si	≥96,5	-	≥96,5	-	≥98	≥98	-
Grup I Metaller (Na,K), mg/kg	≤5	-	-	-	-	-	-
Grup II Metaller (Ca,Mg), mg/kg	≤5	-	-	-	-	-	-
Oksidasyon Kararlılığı, h, 110 ^{o}C	Minimum. 6 saat	-	-	-	-	-	-

3. BÜTANOL

3.1. Bütanolün kimyasal özellikleri

Sıvı biyoyakıtlardan olan bütanol biyokimyasal yöntemlerle üretilen ikincil biyoyakıtların ikinci nesil sıvı yakıtları olarak tanımlanmaktadır (Nigam ve ark., 2011). Bu çalışmada n-bütanol kullanmıştır.

Dizel ve n-bütanol yakıtının başlıca özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir (Doğan, 2011; Chen ve ark., 2012; Durgun ve ark., 2009; Yao ve ark., 2010).

Tablo 3.1. Dizel yakıtı ve n-bütanol'ün özellikleri.

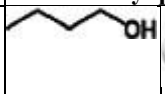
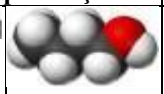
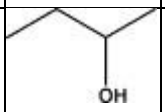
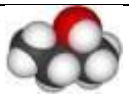
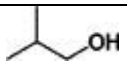
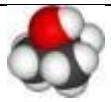
Özellikler	**Dizel**	**n-Bütanol**
Kimyasal denklem	$C_{14.342}H_{24.75}O_{0.0495}$	C_4H_9OH
Mol kütlesi [kg/kmol]	198.0017	74.123
Yoğunluk [kg/m^3]	823	816
Alt ısıl değer [kJ/kg]	42437.34	33630.8
Dizel indeksi	50	24
Buharlaşma gizli ısısı [kJ/kg]	270	581,4
Kaynama noktası [^{o}C]	180-360	118
Buharlaşma basıncı [kPa]	-	0.6
Buharlaşma sıcaklığı [^{o}C]	-	20
Parlama noktası [^{o}C]	≥55	35-37
Kinematik viskozite, 40 ^{o}C'de [mm^2/s]	3.1	2.6

3.2. Bütanol izomerleri

Bütanol, alkol yakıtları arasında en karmaşık alkoldür. $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$ açık yapısında görüldüğü gibi 4 karbonlu bir alkoldür. Bütanol, metanol ve etanole oranla daha zehirlidir. Kaynama noktası 118 ^{o}C ve erime noktası -89 ^{o}C'dir. Bütanol yoğunluğu 0.81 g/mL olup etanol ya da metanole göre daha çok, suya oranla ise yoğunluğu daha düşüktür. Bütanol, ayrıca bir çözücü görevinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Potansiyel olarak alternatif bir yakıt olmaya adaydır. Ham petrolden ve tarım ürünlerinin fermantasyonundan üretimi yapılabilmektedir (Minteer, 2006).

Bütanol dört izomere sahiptir. Bunlar, 1-bütanol (n-bütanol), 2-bütanol, iso-bütanol ve tert-bütanol'dür. Bütanol izomerlerinin özellikleri ve karşılaştırmaları Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Bütanol izomerlerinin molekül yapıları ve temel uygulamaları (Jin ve ark., 2011).

Bütanol izomerleri	Molekül yapısı ve şekli		Temel uygulamaları
1-Bütanol			*Çözücüleri – çeşitli boyalar, reçineler, vb. *Plastifiyanları – bir plastik madde işlemleriyle gelişir. *Kimyasalları – bütil esterler, bütil eterler, vb. *Kozmetikleri – göz makyajı, dudak boyası, vb. *Benzine ilave olunabilir.
2-Bütanol			*Çözücüdür. *Kimyasalları – bütan, vb. *Endüstriyel Temizleyicileri – boya silici. *Parfümlerde ya da yapay tatlarda kullanılır.
iso-Bütanol			*Çözücüdür ve boyaya eklenebilir. *Benzine eklenebilir. *Endüstriyel Temizleyicileri – boya silici. *Mürekkep yapımında kullanılır.
tert-Bütanol			*Çözücüdür. *Denatüran Etanolünde kullanılır. *Endüstriyel temizleyileri – boya silici. *Oksijen ve oktan güçlendirici olarak benzine katılır.

Tablo 3.3. Bütanol izomerlerinin karşılaştırılması (Wallner ve ark., 2009)

Özellik / İzomer	1-bütanol	2-Bütanol	tert-Bütanol	iso-Bütanol
Yoğunluk (kg/m^3)	815.8	806.3	788.7	801.8
Araştırma oktan sayısı	96	101	105	113
Motor oktan sayısı	78	32	89	94
Kaynama noktası (°C)	117.7	99.5	82.4	108
Buharlaşma ısısı (kJ/kg)	582	551	527	566
Otomatik ateşleme sıcaklığı (°C)	343	406.1	477.8	415.6
Yanabilirlik sınırı (% hacim)	1.4–11.2	1.7–9.8	2.4–8	1.2–10.9
Akışkanlık (mPa s) 25 °C'de	2.544	3.096	–	4.312

Bir süre önce n-bütanol, ABE (Aseton-Bütanol-Etanol) gibi fermentasyon aşamasıyla tarım ürünlerinden üretilirdi. Fakat günümüzde ise çoğu bütanol ham petrolden imal edilmektedir. Etanol ile kıyaslandığında daha uygun fiziksel özelliklere sahip olmasına rağmen etanole göre maliyeti daha yüksektir ve yapısında etanolden daha yüksek enerji bulundurur. Bütanolün buhar basıncı 2.27 kPa'dır ve bu etanol (13.8 kPa), metanol (31.71 kPa) ve benzine (31.02 kPa) ile kıyaslandığında bütanolün buhar basınca daha düşüktür. Bu buhar basıncının daha düşük olması, diğer yakıtlara oranla daha çevreci ve güvenilir olan bütanolün buharlaşmayla ilgili problemlerinin daha az olduğu anlamına gelir. Bütanol diğer alkol temelli yakıt olan etanol ile karıştırılma konusunda etanole tercih edilebileceği düşünülmüştür; fakat günümüzde maliyeti etanoldan daha yüksektir. Bununla birlikte direkt olarak yakıt hücresi şeklinde kullanılabileceği de düşünülmektedir (Minteer, 2006).

4. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Aydın ve ark. (2011), bir dizel motorunda aspir yağının kullanımı adlı çalışmalarında aspir yağından transesterifikasyon yöntemiyle aspir biyodizeli elde etmiş ve bu yakıtı farklı oranlarda dizel yakıtı ile karıştırarak bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmışlardır. Bu çalışma sonuçlarına göre, karışımdaki aspir biyodizelin oranı arttıkça motor performansı azalmıştır. Ayrıca biyodizel oranı arttıkça kütlesel yakıt tüketimi artmıştır ve emisyon değerlerinde önemli miktarda azalma görülmüştür.

Anwar ve Rashid (2007) yaptıkları çalışmada aspir yağından transesterifikasyon yönteminde elde edilen biyodizelin en uygun oranları üzerine çalışma yapmışlar. En uygun oranları elde etmek için metanol:yağ molar oranı 1:3, 1:6, 1:9, 1:12, 1:15 ve 1:18 oranlarında, ve 30,45 ve 60 ^{o}C olarak üç farklı sıcaklıkta karıştırıcı hızı 180, 360 ve 600 rpm'de, katalizör oranı hacimce %0.25, %0.50, %0.75, %1.00, %1.25 ve %1.50 oranında ve katalizör olarak KOH, NaOH, $KOCH_3$, ve $NaOCH_3$ kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonunda aspir yağı için kullanılacak transesterifikasyon işleminde, reaksiyon sıcaklığı 60 ^{o}C, katalizör çeşidi $NaOCH_3$, katalizör oranı %1, karıştırıcı hızı 600 rpm ve yağ:metil akol oranı 6:1 olarak belirlenmiştir. Bu proseslere uygulanan aspir yağının verimi %98 olarak gözlemlenmiş.

Khanahmadzadeh ve Khanahmadzadeh (2012), aspir biyodizeli ile yaptıkları çalışmada, aspir biyodizelinin kinematik viskozitesi (4,27 mm^2/s) D6751 ASTM standartların onayladığı sınırların içerisinde olduğunu göstermişlerdir. Buna karşın aspir biyodizelinin parlama noktası (173˚C), D6751 ASTM standartlarının üstünde ve dizel yakıtına göre ise daha yüksek bulunmuştur.

Sagar ve Raju (2016), yaptıkları çalışmaların sonucu olarak aspir biyodizel yakıtını sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda herhangi bir modifikasyon yapmadan, dizel yakıtına alternatif bir yakıt olarak değerlendirmişlerdir.

Nosheena ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada farklı katalizör, metot ve sıcaklık değerleriyle elde edilebilecek en verimli aspir biyodizel şartlarını ortaya koymuştur. Çalışmanın sonuçlarına göre, H NMR metodu ile 65°C sıcaklığında, 6:1 yağ:metanol mol oranında, % 0.5 katalizör ilavesiyle % 97.84 verimlilikte aspir biyodizeli etmek mümkündür. Bu şartlarda kırılma endeksinde önemli ölçüde azalma görülmüştür.

Rathod ve Sonare (2010) yaptıkları çalışmada immobilize enzimler kullanarak kullanılmış aspir yağının transesterifikasyon işlemleri incelemiştir. Bu yağın sülfür oksit

ortaya çıkardığından ve is partiküllerin minimum seviyede olmasından dolayı dizel yakıtı gibi dizel motorlarında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Akınerdem ve Öztürk (2015), Türkiye'deki aspir ve biyodizel kalitesi adlı araştırmalarında, Türkiye'de yıllık 2,5 milyon ton yağlı tohum ekimi yapıldığını belirtmektedir. Yağlı tohumların %95'den fazlası aspir ve pamuk tohumundan oluşmakta olduğunu belirtmişlerdir.

Karabaş (2013), yaptığı araştırmada ıslahçı çeşitlerinden Remzibey-05 aspir tohumlarından soğuk pres ve solvent ekstraksiyon teknikleri kullanılarak ham aspir yağı elde etmiş ve transesterifikasyon yöntemi kullanılarak 1:8 yağ:alkol mol oranı, % 1 KOH katalizör, 50 ^{o}C reaksiyon sıcaklığı ve 60 dakika reaksiyon süresi şartlarında biyodizel yakıtı elde etmiştir ve soğuk pres tekniğiyle elde edilen aspir yağından üretilen biyodizelin ester dönüşüm oranı % 95 olurken solvent ekstraksiyon tekniğiyle üretilen biyodizel de bu oran % 98 bulmuştur.

Işık ve Ark. (2016)'nın aspir ve kanola biyodizeli kullanarak bir turbo şarjı dizel motorunda yaptıkları çalışmalarında biyodizellerin dizel ile karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonları incelenmiş. Öncelikle ham kanola yağı ve aspir yağı transesterifikasyon işlemine tabi tutularak biyodizel yakıtı elde edilmiş. Transesterifikasyon prosesleri; kullanılan yağın hacimce %20 oranında metil alkol ve NaOH, manyetik karıştırıcıyla 2 saat, 50-55 ^{o}C sıcaklığında ve 1 saat sadece karıştırılma işlemine tabi tutulmuş. Elde edilen biyodizel yakıtlarının viskozitesi dizel yakıtına göre daha yüksek bulunmuş. Biyodizel yakıtları hacimsel olarak %50 oranında dizel yakıtı ile karışım oluşturularak daha sonra karşılaştırılmış. Bu verilere göre özgül yakıt tüketimdeki fark dizele oranla kanola biyodizelinde %4.57 aspir biyodizelinde ise %9.8 olarak belirlenmiştir. Egzoz sıcaklıklarında dizel ile kıyaslandığında önemli bir fark belirlenmemiş. AB50(%50 Aspir biyodizeli ve %50 dizel) kullanımda diğer yakıtlarla kıyaslandığında %33-40 CO artışı gözlemlenmiş fakat HC emisyonunda azalma gerçekleşmiştir. Diğer yandan CO_2 miktarında artış oluşmuş. O_2 miktarı biyodizelde doğal olarak dizele göre daha fazla miktarda bulunduğundan emisyonda artış oluşmuş. Yükün artmasıyla NOx miktarında artış beklendiği gibi olmuştur.

Özçelik ve Öğüt (2011)'ün yaptığı çalışmada aspir yağından elde edilen biyodizelin dizel motorunda çalıştırılmasıyla motor yağında olacak değişiklikleri incelemiş. Aspir biyodizeli (Aspir Yağı Metil Esteri) transesterifikasyon yöntemi ile elde edilmiş. Daha sonra elde edilen biyodizel yakıtı motorinle %2 (B2) ve %20 (B20) oranlarında ve %100 biyodizelden oluşan B100 olarak adlandırılan üç farklı karışım

hazırlanmıştır. Bu yakıtlar dört zamanlı, tek silindirli, su soğutmalı, direk püskürtmeli bir dizel motorundaki performans ve emisyon değerleri gözlemlenmiştir. Her bir yakıt için motor 100 saat boyunca çalıştırılmış ve bu esnada motordaki sonuçlar incelenmiştir. Alınan değerlerin ortalamasına göre, en yüksek tork değeri 1400 1/dk'da motorin yakıtında, en yüksek motor gücü değerleri tüm yakıt numunelerinde 2000 1/dk'da, en düşük özgül yakıt tüketimi ise 1800 1/dk'da elde edilmiştir. Maksimum CO emisyonlarında azalma %55,02 ile B100 yakıtının 1300 1/dk'da çalışırken elde edilmiştir. Biyodizel ilavesi olan tüm yakıtlarda CO_2 emisyonları motorin yakıtına göre daha yüksek gözlemlenmiştir. HC emisyonu 2300 1/dk'da minimum değer olan 1 rpm olarak gözlemlenmiştir. Diğer yandan SO_2 emisyonun en düşük değeri B100 yakıtı çalışırken elde edilmiştir. En yüksek O2 emisyonu ise motorun yakıtı 1400 1/dk'da gözlemlenmiştir. NOx emisyonları diğer yakıtlara göre %50 daha fazla gözlemlenmiştir. Motor yağından alınan örneklerde, yağlanmanın göstergesi olan veriler ışığında biyodizel yakıtları çalışırken motorun yakıtına göre daha fazla aşınma meydana gelmiş olmasına rağmen bu aşınma kabul edilebilir düzeyde olduğu belirtilmiştir.

Choi ve ark. (2015) hacimsel olarak %10 ve %20 bütanolün dizel yakıtıyla ile karışımının dizel motorundaki emisyon değerleri üzerine yaptıkları çalışmada elde ettikleri bulguları ortaya koymuşlardır. %20 bütanol kullanılan karışımınla yapılan çalışmanın sonuçlarına göre; THC ve CO emisyonlarının miktarından önemli ölçüde bir artış, HCHO ve HCOOH emisyonlarında ise diğer emisyonlarına göre az bir artmış görülmüş. Bütanol miktarı yüksek olan karışımlarda(%20>), yanma sırasında benzen ve tolüen gibi polisiklik aromatik hidrokarbonlara neden olabileceği ifade edilmiştir. BU5 olarak ifade edilen %5 bütanol ilavesiyle hazırlanan karışımda ise 50 nm altındaki nano ölçekli partiküller maddeler ve partiküller madde kütlesini azalmak için kullanılabilecek en uygun oran olarak tanımlanmıştır.

Zhang ve Balasubramanian (2014)'te hurma yağından elde ettikleri biyodizeli, farklı oranda bütanol ve ultra düşük sülfürlü dizel yakıtı ile hazırladıklarını karışımlarını sonuçlarını ifade etmişler. Bu araştırmada ultra düşük sülfürlü dizel yakıtı ile hacimce %20 hurma yağı ile B20 adını verdikleri bir karışım hazırlanmıştır. Daha sonra bu karışım yine hacimsel olarak %5, %10 ve %15 bütanol oranında karışımlar hazırlanmıştır. Daha sonra bu yakıtlar 3 farklı yükte ve sabit devirde dizel motorunda analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; %10 bütanol eklenmesine kadar orta ve yüksek yükte, kütlesel yakıt tüketimi ve fren ısıl veriminde az bir değişim meydana geldiği gözlenmiştir. B20 dizel il karşılaştırıldığında; partiküller madde, element karbon

konsantrasyonu ve toplam partikül miktarı önemli miktarda azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte 3 yakıtlı karışımdaki bütanol miktarındaki artışa bağlı olarak organik karbon miktarı artmıştır.

Han ve ark.(2016) yüksek sıkıştırma(18,2:1) oranına sahip bir dizel motorunda dizel ile n-bütanol karışımının sonuçlarını ortaya koymuştur. Yapılan çalışmaya göre; önceden karıştırılmış n-bütanol ile hava karışımı, sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda dizel yakıtına benzer verimde olduğu gözlemlenmiş ve nitrojen oksit ve duman miktarlarında azalım gerçekleşmiş. Motor yükü arttırdıkça, saf n-bütanol hızlı yanma eğilimde ve ani basınç artışlarına neden olmuştur.

Choi ve ark. (2014) dizel ile bütanol karışımlarından hazırladıkları yakıtları bir turba şarjı dizel motorunda kullanarak emisyon analizlerini incelemişlerdir. Hacimsel olarak geleneksel dizel yakıtına %10 bütanol ilave olan yakıta BU10 yakıtı adı verilmiş ve %20 bütanol ilave olan yakıta ise BU20 adı verilmiştir. Bu karışımda kullanılan bütanol çeşidi n-bütanol'dür. Daha sonra hazırlanmış yakıtlar 4 silindirli, 17.1:1 sıkıştırma oranına sahip bir turba şarjlı dizel motorunda kullanılmıştır. Yakıtların yanma özellikleri, partikül madde dağılımı, HC, CO ve NOx konsantrasyonları incelenmiştir. Bu verilere göre; tüm motor hızlarında, BU10 yakıtının torku ve gücü dizel yakıtına göre yaklaşık olarak %98, BU20 yakıtının ise %96 olarak gözlemlenmiştir. Bu verilere göre; bütanol miktarı arttıkça karışımın alt ısıl değerinin düştüğü sonucuna varılmıştır. THC emisyonları ise tüm deney sonuçlarında karışım miktarındaki artış ile yükseldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca BU20 yakıtının THC emisyonları özellikle düşük yükte çalışırken dizel yakıtı emisyonlarından daha yüksek ölçülmüş. Bunun nedeni ise karışımın düşük setan sayısı ve buharlaşma ısınının yüksek oluşuyla değerlendirilmiştir. Karışımın CO emisyonu, düşük yüklerde önemli ölçüde yüksek olduğu gözlemlenmiştir. NOx emisyonları tüm ölçümlerde daha yüksek gözlemlenmiş. 200nm altındaki partikül madde ölçümlerinde BU10 yakıtının partikül madde sayısı yüksek yükte en fazla çıkmıştır. BU20 yakıtının partikül madde sayısı 100 mn altındaki partikül madde sayısı dizel yatına göre çok az yüksek gözlemlenmiştir. Bununla birlikte dizel yakıtının toplam partikül madde miktarı hem BU10 hem de BU20 yakıtına göre çok yüksek bulunmuştur.

Ibrahim (2016) tarafından yapılan çalışmada bütanol, biyodizel ve dizel yakıtından 4 farklı karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımların kullanımında motor performansı, yanma, NOx emisyonları ve motor istikrarı incelenmiştir. Tüm testler tek silindirli, 1500 rpm motor hızında ve farklı yükler üzerinde incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan biyodizel atık mutfak yağından elde edilmiş biyodizel yakıtıdır. Hazırlanan

yakıtların oranları ve adlandırılması şöyledir; %100 dizelden oluşan yakıta B0 adı verilmiş, %100 atık mutfak biyodizelinden oluşan yakıta B100, hacimsel olarak %50 dizel ve %50 biyodizelden oluşan yakıta B50, hacimsel olarak %45 dizel, %45 biyodizel ve %10 bütanolden oluşan yakıta Bu10, hacimsel olarak %40 dizel, %40 biyodizel ve %20 bütanolden oluşan yakıta Bu20 adı verilmiştir. B50 kullanıldığında dizel yakıtına göre maksimum motor termal verimi artmış ve minimum yakıt tüketimi azaldığı görülmüştür. Diğer yandan B50 karışıma %20'e kadar bütanol eklenmesi, dizel yakıtına göre motor performansında, yanma özelliklerine, NOx emisyonları ve motor istikrarından tolere edilebilir seviyede değişiklik meydana gelmiştir. Bu da dizel motorlarında bütanolün ilave yakıt olarak büyük bir potansiyeli olduğunu gösteriyor. Yakıt çeşitlerinin değişimin, yanma zamanın başlamasında önemli bir etkisi olmamasına rağmen, oksijenli yakıtlar NOx emisyonlarını önemli ölçüde arttırmıştır. Bununla birlikte motor yüklerinin değişimi yanma zamanı etkisine yakıt çeşitlerinden daha fazla rolü olduğu gözlemlenmiştir.

Rajesh Kumar ve Saravanan (2015) farklı bütanol çeşitleri ile dizel yakıtı karışımları oluşarak, bu yakıtların dizel motorunda önkarışımlı düşük sıcaklıkta yanma motor performansı ve emisyon değerlerini analiz etmişlerdir. Bu çalışma için iki yüksek alkol-dizel oranlı karışım hazırlanmıştır. B40 (40% iso-bütanol–60% dizel) ve P40 (40% n-pentanol–60% dizel) karışımları üç farklı yüzde ile EGR oranları kullanılmış ve iki farklı enjeksiyonun püskürtme açısı (23^o ve 21^o KMA) ile yüksek yükte ve sabit motor hızında deneyler gerçekleşmiştir. Elde edilen verilere göre B40, P40 yakıtına göre daha uzun tutuşma gecikmesi, daha yüksek maksimum basınç ve daha yüksek önkarışımlı ısı salınım oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir. B40'nın P40'a göre daha yüksek EGR toleransına sahip olduğu ortaya çıkmış ve ayrıca NOx-duman dönüşümü üzerine daha olumlu etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. 21^o KMA ve %30 EGR şartlarında, B40 dizel yakıtı gibi çalışmasının yanında NOx miktarında % 41.7 ve duman miktarında %90.8 azalma görülmüştür. Diğer yandan P40 dizel yakıtı ile kıyaslandığında motor performansında ufak bir düşük meydana gelmesiyle birlikte NOx miktarında % 39.3 ve duman miktarında %15 azalma görülmüştür. Ayrıca B40, P40 ile kıyaslandığında daha iyi duman engelleme karakteristiği göstermiştir. HC ve CO emisyonları her iki yakıt için tüm EGR şartlarında düşük olduğu ifade edilmiştir.

Yılmaz ve ark. (2014) biyodizel ile bütanol karışımının dizel yakıtıyla ikinci bir karışım hazırlanarak motor ve emisyon değerleri üzerine çalışma yapmışlardır. Biyodizel yakıtı ASTM D6751 göre transesterifikasyon işlemleri uygulanarak mutfak yağından elde

edilmiştir. Motor testleri dört farklı yükte yapılmış ve bu yükler 0 ile 6 kW arasında seçilmiştir. Sırasıyla B95Bu5, B90Bu10, B80Bu20 olarak adlandırılan yakıtlara hacimsel olarak %5, %10 ve %20 bütanol eklenerek biyodizel-bütanol karışımları hazırlanmıştır. Bütanol ilaveli karışımlar, biyodizel ile karşılaştırıldığında; daha düşük egzoz gaz sıcaklığı ve nitrit oksit miktarına sahip olduğu gözlemişken, daha yüksek yanmamış hidrokarbon ve karbonmonoksit miktarı gözlemlenmiştir. Bütanolün düşük karışımlı yakıtları olan B95Bu5 ve B90Bu10, dizel yakıtına göre daha düşük CO emisyonu ve daha yüksek NOx emisyonu gözlemlenmiştir. Fakat HC emisyonlarında kayda değer bir değişlik gözlemlenmemiştir. En yüksek bütanol miktarına sahip olan B80Bu20 yakıtı dizel yakıtına göre daha yüksek CO ve HC emisyonlarına ve daha düşük NOx emisyonlarına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Karışımlarda biyodizel ve bütanol oranı arttıkça dizel yakıtına göre kütlesel yakıt tüketiminde artış gözlemlenmiştir.

Şahin ve Aksu (2014) çok düşük oranlarda n-bütanol ile dizel yakıtı ile karışımları ile yaptıkları çalışmada motor ve emisyonların değişimlerini incelemiştir. n-bütanol oranı maksimum %6 oranında kullanılmıştır. Motor karakteristiğinde ve NOx emisyonlarında gelişme gözlemlenmiştir.

Chen ve ark. (2014) n-bütanol ile dizel yakıtından oluşan yakıtların dizel motorunda emisyonları, verimlilikleri ve motora olan etkileri incelemişlerdir. n-bütanol bölümü, EGR ve enjeksiyon zamanlamasının etkileri bu çalışmada incelenmiştir. Bu çalışmada 1400 motor devrinde ve teorik ortalama efektif basıncın 1 MPa olduğu, modifiye edilmiş tek silindirli motor kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, EGR artması ile NOx emisyonları azalmış fakat duman emisyonlarında artış gözlemlenmiştir. n-bütanol oranı arttırıldıkça, NOx emisyonlarınki küçük bir artış ile duman emisyonları azalmıştır. Bununla birlikte, özellikle yüksek EGR oranlarında daha yüksek indike özgül yakıt tüketimi ile daha düşük indike termal verim artan n-bütanol miktarından dolayı gerçekleşmiştir.

Şahin ve Ark. (2015) n-bütanol/dizel karışımları ile n-bütanol fumigasyonun motor performansına, egzoz emisyonlarına, ısı salınımına ve tutuşabilirliğe olan etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışma bir turbo şarjlı dizel motorunda farklı motor hızı ve yükte gerçekleşmiştir. Bu çalışma için bir çok farklı n-bütanol/dizel karışımları ile n-bütanol fumigasyonları örnekleri hazırlanmıştır. Test sonuçlarına göre her iki metot ile hazırlanan yakıtların duman derecesi önemli bir şekilde azalmıştır. Bununla birlikte fumigasyonlu karışımların duman emisyonları diğer karışımlara göre daha yüksek gözlemlenmiştir.

Fumigasyonlu numunelerde kütlesel yakıt tüketimi tüm koşullarda artış göstermiştir. Dizel yakıtına n-bütanol ilavesiyle hazırlanan numunelerde yakıtların maliyeti artmıştır.

Yılmaz ve Ark. (2015) üç farklı oran kullanarak hazırladığı araştırmalarında, hacimsel olarak %70 dizel yakıtı, %20 biyodizel ve %10 n-bütanol kullanmışlar. Biyodizel kanola, soya fasulyesi, aspir, mısır, zeytin ve fındık yağlarından elde edilmiştir. Üçlü karışımların NO emisyonlarında artış gözlemlenmiş ve ayrıca kütlesel yakıt tüketimlerinde %21,45 ile %24,67 artış gözlemlenmiştir.

Damodharan ve Ark. (2016) atık plastik yağından piroliz ile elde ettikleri biyodizeli n-bütanol ve dizel yakıtı ile karışımlar hazırlayarak incelemişlerdir. Edinilen bulgulara göre n-bütanol ile hazırlanmış yakıtlarda dizel yakıtına göre daha düşük duman emisyonu ve daha yüksek HC emisyonunu gözlemlenmiştir.

Lapuerta ve ark. (2016)'nin n-bütanol ve etanol alkollerinin dizel veya biyodizel karışımlarından oluşan yakıtların dizel motorlarda oluşturduğu kendi kendine tutuşma zamanlaması üzerine etkileri incelemiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre karışımlarda alkol oranı arttıkça kendi kendine tutuşma zamanlamasında bir artış gözlemlenmiştir. Bu artışlar liner olarak olmamış fakat alkol oranınınca daha keskinleşmiş ve bu bulgu bütanole göre etanolde daha yüksek gözlemlenmiştir. Bütanol karışımlarından oluşan karışımlardaki gecikme zamanındaki artış, biyodizel ve dizele çok yakın olarak gözlemlenmiştir.

Atmanlı ve Ark. (2014) yaptığı çalışmada yüksek oranlarda n-bütanol ile dizel ve biyodizel karışımların motor performansı ve emisyon değerine olan etkilerini incelemişlerdir. Biyodizel pamuk yağından elde edilmiş ve maksimum %30 oranında kullanılmıştır. n-bütanol hacimce %60'a kadar farklı numunelerinde kullanılmıştır. n-bütanol miktarının artmasıyla yoğunluk, viskozite ve soğuk filtre tıkanma noktasında gelişmeler gözlemlenmiştir. Bununla birlikte setan sayısı ve ısıl değerde azalma gerçekleşmiştir.

Aydın ve Ark. (2016) n-bütanol ilavesiyle hazırlanan biyodizel ve dizel yakıtı karışımlarının düşük yükteki etkilerini analiz etmişlerdir. Bu çalışmada biyodizel olarak atık mutfak yağı biyodizeli kullanılmıştır. Bütanol dizel ile biyodizel yakıtına ilavesiyle yoğunluk ve viskoziteyi azalmak için uygun bir metot olarak tanımlamış ve bütanolün termal verimini arttırarak daha düşük NOx, CO emisyonları yardımcı olduğu vurgulanmıştır.

Aydın ve Öğüt (2017)'ün yaptıkları çalışmada transesterifikasyon yöntemiyle aspir yağından aspir biyodizel üretilmiş ve biyodizeli ile dizeli hacimsel olarak %2,5 ve

%5 oranların etanol ile iki farklı karışım hazırlanmıştır. Bu yakıtlar sırasıyla D_{100}, $B_{2.5}M_{2.5}D_{95}$, $B_5M_5D_{90}$, $B_5M_{2.5}D_{92.5}$ ve $B_{2.5}M_5D_{92.5}$ olarak isimlendirilmiş ve yakıtlar sırasıyla %100 dizel yakıtından, %2,5 bio-etanol - %2,5 biyodizel-%95 dizel yakıtlarından, %5 bio-etanol-%5 biyodizel-%90 dizel yakıtlarından, %5 bio-etanol-%2,5 biyodizel-%92,5 dizel yakıtlarından ve son olarak %2,5 bio-etanol-%5 biyodizel-%92,5 dizel yakıtlarından oluşmuştur. Tüm karışımların içerisinden, performans açısından en ideal yakıt D_{100} yakıtı, emisyon açısından en ideal yakıt ise $B_{2.5}M_5D_{92.5}$ yakıtı bulunmuştur.

Bu bilgiler ışığında, n-bütanol oranı hacimce %20 aşmayacak şekilde ilave edilmiş, aspir yağıdan biyodizel elde etmek için transferifikasyon yöntemi seçilerek ve 60^oC maksimum reaksiyon sıcaklığında KOH katalizörü kullanılarak, farklı oranlarda numuneler hazırlanmıştır.

4.1. Biyoyakıt olarak bütanol

Günümüzde kullandığımız fosil yakıtların yakın zamanda tükenecek olması, alternatif yakıtlara olan ilgiyi oluşturmuştur. Biyoyakıtlar, biyokütlelerden elde edilmektedir ve gelecekte enerji kaynaklarından birkaçı olacağı düşünülmektedir. Biyoyakıtaın temiz yanabilmesi, yenilenebilirliği ve karbon nötürlüğü gibi olumlu özelliklerinden dolayı diğer yakıtlara oranla avantajları vardır (Demirbaş, 2009).

Bütanol, yenilenebilir hammedelerdenin fermantasyonu ile elde edilen bir karbonlu alkoldür. Diğer yakıtlara oranla birçok avantajı olmasından dolayı motorlarda kullanılma potansiyeli yüksektir. Bütanol yüksek enerj yoğunluğu, dizel yakıtı ile karışabilecek uygun setan sayısına sahip olması nedeniyle, hasssas yakıt pompa sistemleri için yeterli kayganlığa sahip olması, etanolden daha düşük buharlaşma sıcaklığı özelliklerine sahip ve ayrıca hem benzin hem de dizel yakıtı ile iyi karışabilen bir biyoyakıttır. Bunların dışında ayrıca oksijen miktarı biyodizelden daha yüksektir (Rakopoulos ve ark., 2010). Yüksek oksijen miktarının olması dizel motorlarda isin azalmasına ve buharlaşma ısısının yüksek olması, NOx emisyonlarının alt seviyede olmasını sağlayan yanma sıcaklığının potansiyel bir şekilde azalmasına neden olur. Bütün bu avantajları sınırlayan etken ise bütanol üretiminin sınırlı olması ve maliyetinin yüksek olmasıdır.

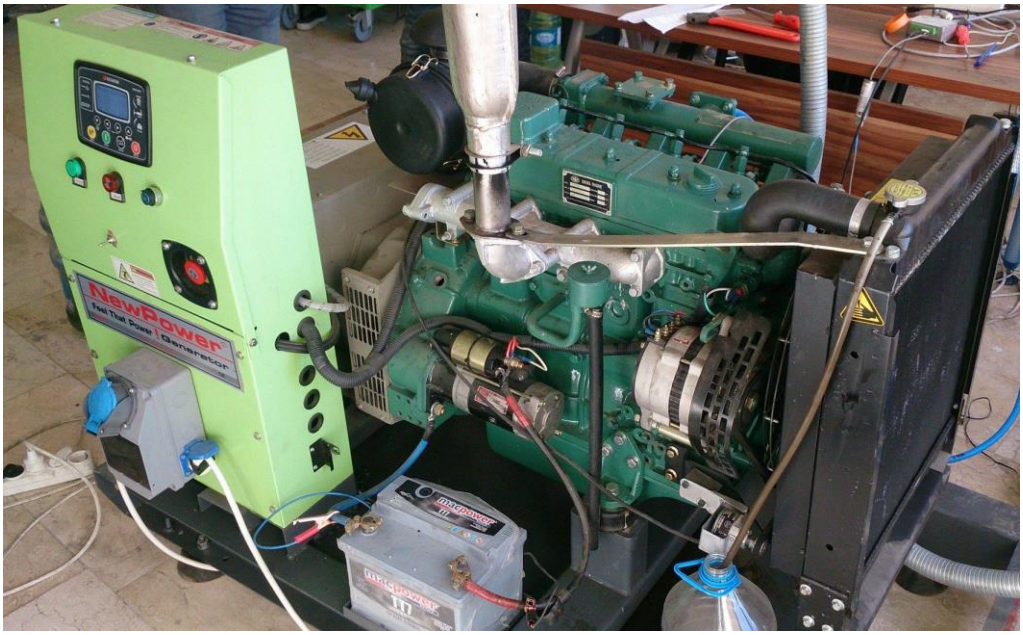
Tablo 4.1. n-Bütanol yakıt özellikleri (Lin ve ark., 2011; Demirbaş, 2008; Daggett ve ark., 2006).

Fiziksel ve kimyasal özellikleri	Değerler
Kimyasal formül	C_4H_9OH veya $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$
Molekül ağırlığı (kg/kmol)	74.12
Yoğunluk (g/cm^3-20 ^oC)	0.8158
Viskozite (mm^2/s-40 ^oC)	2.6
Alt ısıl değer (Mj/kg)	34.2
Donma noktası (^oC)	-89.5
Parlama noktası (^oC)	35
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı (^oC)	385
Kaynama noktası (^oC)	117.7
Buhar basıncı (kPa-38^oC)	2.27
Oksijen içeriği (%)	21.6

5. MATERYAL VE METOT

5.1. Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri

Deneyler bir dizel motoru olan NWK22 model, 17 kW güç çıkışlı, 4 silindirli, su soğutmalı, jeneratörlü bir dizel motorunda yapılmıştır. Deney motoruna ilişkin düzeneğin şematik diyagramı Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Ayrıca deneyde kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

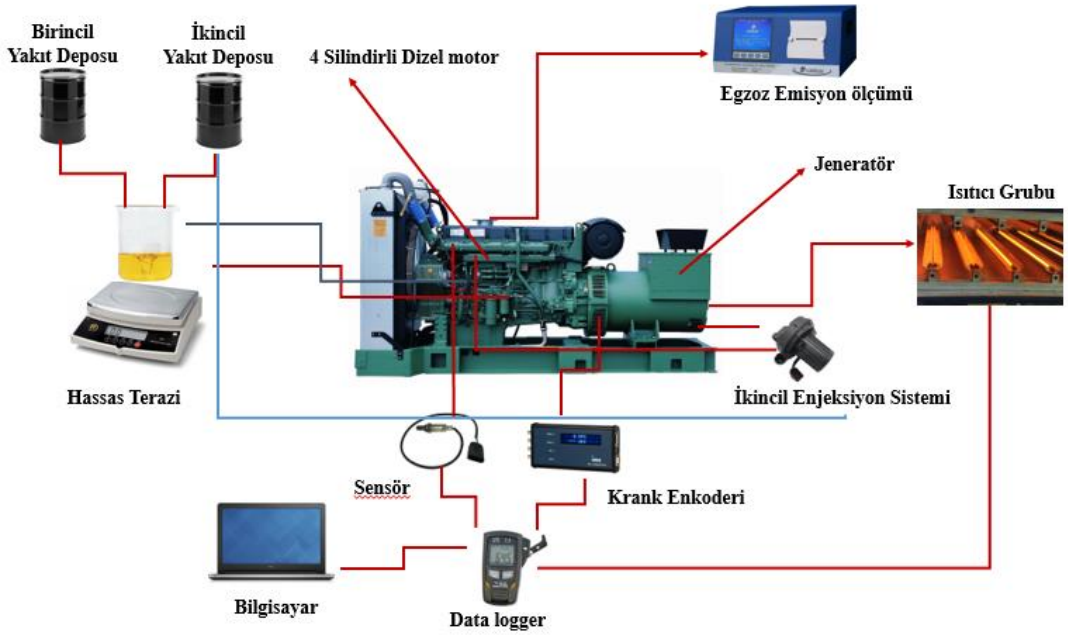


Şekil 5.1. Deneylerin yapıldığı dizel motorlu jeneratör

Tablo 5.1. Deneyde kullanılan motorun teknik özellikleri

Model	**NWK22**
Güç Çıkışı @1500 rpm	18 kW
Motor Soğutma Sistemi	Su Soğutmalı
Emme Sistemi	Doğal Emişli
Motor Modeli	4DW81-23D
Çap *x* strok (mm)	85*x*100
Silindir Hacmi (cm^3)	2400
Silindir Sayısı	4
Tutuşturma sistemi	Direkt
Sıkıştırma Oranı	17:1
Püskürtme Enjektörü sayısı	4

Şekil 5.2'de deney test düzeneğinin şematik diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Deney düzeneği şematik diyagramı

Yapılan deneylerde yanma verilerinin analizini elde etmek için FEBRİS yanma analizi yazılımdan yararlanılmıştır. Silindir içine monte edilen basınç sensörü ve krank açısının konumunu belirlemeye yardımcı olan enkonder sensörü sayesinde veriler yazılıma aktarılmaktadır. Silindir içinde bulunan basınç sensörü her 1^o lik krank açısını ve her 100 çevrim ortalaması olarak toplanmaktadır. Bu veriler FEBRİS programı ile birlikte verilerek dönüştürülüp eş zamanlı olarak bilgisayar ekranında gösterilip ve kayıt altına alınmaktadır. Verilerin FEBRİS yazılımı gerekli dönüşümleri gerçekleştirip hesaplanan verileri dışarıya aktarabilmekte ve grafikler haline dönüştürebilmektedir.



Şekil 5.3. Deney düzeneği

Aşağıdaki verilen denklem vasıtasıyla her bir krank açısı için parametreler ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Termodinamiğin birinci kanunu ve kapalı sistemlerdeki ideal gaz kanunu göz önüne alınarak ısı salınım oranı denklemi elde edilmiştir. Isı salınım oranı, yanma odasındaki enerji yayılımının geçici olarak izlediği yol olarak tanımlanır.

Isı salınım oranının integrali, toplam ısı salınımı veya yanma fonksiyonu olarak düzenlenmiştir.

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma-1} V \frac{dP}{d\theta} \tag{5.1}$$

Denklem 5.1'de toplam ısı salınımının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

$$\int dQ = \int \left(\frac{\gamma}{\gamma-1}\right) p(dV) + \int \left(\frac{1}{(\gamma-1)}\right) V(dP) \tag{5.2}$$

Burada γ , 1.32 olarak alınan özel bir sıcaklık oranı; θ, krank açısı; P, silindir gaz basıncı ve V ise silindir hacmidir.

Burada, basınç verisi basınç sensöründen ayrılmıştır. V ve $dV/d\theta$ terimleri aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır:

$$V = Vc + A.r\{1 - cos\left(\frac{\pi A}{180}\right) + \frac{1}{\lambda}\left(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 sin^2\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)}\right)\} \tag{5.3}$$

$$\frac{dV}{d\theta} = \left(\frac{\pi A}{180}\right) x\, r \left\{\sin\left(\frac{\pi\theta}{180}\right) + \frac{\lambda^2 sin^2\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)}{2x\sqrt{1-\lambda^2 sin^2\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)}}\right\} \quad (5.4)$$

Burada $\lambda = \frac{l}{r}$ ve $A = \frac{\pi D^2}{4}$ olarak hesaplanmaktadır.

Burada *r* (*krank yarıçapı*) =*H/2*; *l* rod bağlantı çubuğunun uzuluğu; *D*, silindir çapı ve *Vc* ise strok hacmidir.

Isı transfer katsayısı (*J*) Hohenberg bağıntısına dayanarak silindir duvarından hesaplanır.

$$\frac{dQ_w}{d\theta} = hA(T - T_w) \quad (5.5)$$

Aşağıdaki denklem ortalama gaz sıcaklığına bağlı olarak özgül sıcaklık oranını verir.

$$\gamma = 1{,}338 - 60\times10^{-5}T + 10^{-8}T^2 \quad (5.6)$$

Hohenberg ısı transfer katsayısı aşağıda verilen denklem ile yanma analizlerinde kullanılır.

$$h_c = C_1 V^{-0.06} P^{0.8} T^{-0.4} [C_m + C_2]^{0.8} \quad (5.7)$$

Burada h_c ısı transfer katsayısı, *V* anlık silindir hacmi, *P* anlık silindir basıncı, *T* ortalama gaz sıcaklığı, C_m ortalama piston hızı ve C_1 ile C_2 değerleri ise deneysel olarak bulunan sırasıyla $13x10^{-3}$ ve 1.4 sabitleridir.

Vuruntu yoğunluk analizi aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$dp(\theta) = \frac{[86(p_{i-4}-p_{i+4})+142(p_{i+3}-p_{i-3})+193(p_{i+2}-p_{i-2})+126(p_{i+1}-p_{i-1})]}{1118 d\theta} \quad (5.8)$$

Burada γ özgül sıcaklık katsayısıdır, *Q* belirgin ısı salınım oranı deneysel denklem ile elde edilen (*J*) ile hesaplanır. *P* Silindir basıncı (*bar*), *V* silindirin anlık hacmi

(m^3) ve Q_w sıcaklık transfer katsayısı, *J* ise Hohenberg bağıntısına dayanarak silindir duvarından hesaplanır.

Kütlesel yanma oranı (*x*) Wiebe fonksiyonu olarak bilinen aşağıdaki denklemden hesaplanmaktadır. Wiebe fonksiyonu S tipi eğri karakteristiğine sahiptir ve genellikle yanma işlemlerini nitelendirmek için kullanılmaktadır.

Kütlesel yanma oranı 0'dan 1'e kadar büyür. 0 ve 1 arasındaki konum yanma süresi olarak kabul edilmektedir.

$$x(\theta) = b[1 - e^{\left\{-a\left(\frac{\theta-\theta 0}{\Delta\theta 0}\right)^{m+1}\right\}}] \tag{5.9}$$

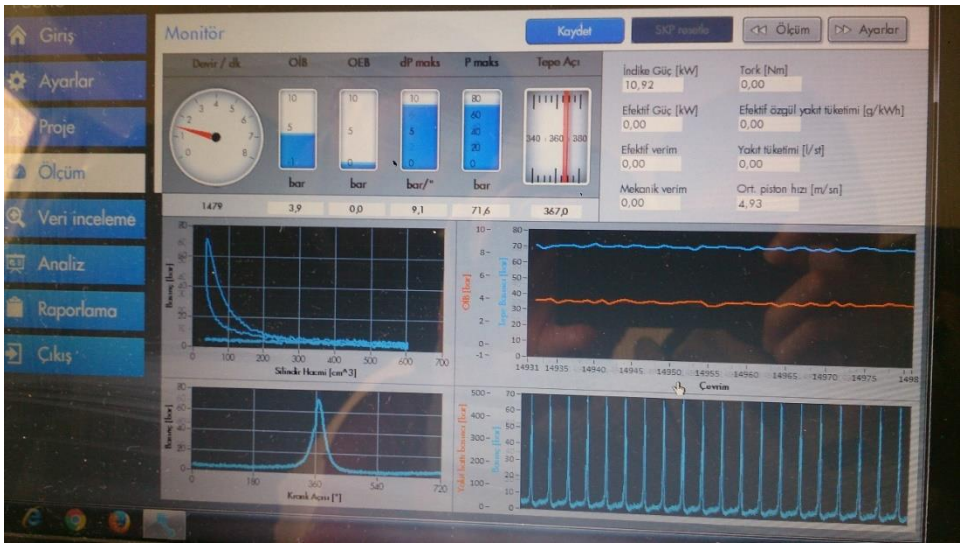
Burada, a wiebe fonksiyonunun verimlilik parametresidir, *b* wiebe fonksiyonunun genlik düzeltme faktörünü, *m* wiebe fonksiyonunun biçim katsayısını, θ krank açısını, Δ_θ yanma süresini ve θ yanma başlangıcını ifade etmektedir. Burada; *a*, 2 değerini; *m*, 5 değerini ve *b* ise *1* değerini almaktadır.

Ortalama gaz sıcaklığı sonuçları yanma odasındaki gaz sıcaklığının bölgesel ortamlarından alınmaktadır. Yanma odası sistemi genellikle ideal karışım olarak görüldüğünden ortalama gaz sıcaklığı ideal gazlar için durum denklemi ile kolaylıkla bulunur. Piston ve silindir için genellikle lokal sabit ısı kullanılmaktadır. Genleşme stroğu politropik olduğu kabul edilmekte ve sıradaki denklem kullanılarak ortalama gaz sıcaklığı hesaplanmaktadır.

$$T_i = P_i V_i \frac{T_{ref}}{P_{ref} V_{ref}} \tag{5.10}$$

Burada, T_i; ortalama gaz sıcaklığını, P_i ve V_i eşzamanlı basıncını ve silindir hacmini; T_{ref}, P_{ref} ve V_{ref} politropik genleşme eğrisinin herhangi bir noktasındaki referans parametleridir.

Her deneyin yapıldığı esnada deney verileri FEBRİS yazılımı vasıtasıyla kaydedilmiştir. Daha sonra bu veriler aynı yazılımı verileri işlenmesiyle; ortalama efektif basınç, ortalama gaz sıcaklığı, kütlesel yanma oranı, güç, verim, indikatör ve her krank açısına karşılık gelen vuruntu yoğunluğu gibi hesaplanmış birçok değerin analizi elde edilmiştir. Daha sonra bu verimlerin grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 5.4. FEBRİS programı yanma verileri

Motorun ideal çalışma koşullarına ulaşabilmek için bir süre çalıştırılarak çalışma sıcaklığına ulaşması sağlanmıştır. Yakıt değişimi sırasında ise yakıt deposunda bulunan yakıt boşaltılmaktadır ve depoya yeni yakıt ilave edilerek aynı yükte yakıtın motor tarafından kullanılması kadar bir süre beklenilmiştir. Böylece yeni yakıtın motor tarafından kullanılması sağlanmıştır. Motorun yüklenmesi jeneratöre alıcılar bağlanarak sağlanmıştır. Böylece alıcılar çalıştığında motor istenildiği yükte çalışması sağlanmıştır.

Ortalama efektif basıncın hesaplanması aşağıdaki denklem (5.11) kullanılarak yapılmıştır.

$$Pme = \frac{60 \times Pe}{V_H \times n \times f} \tag{5.11}$$

Burada *Pme*; ortalama efektif basınç (kN/m^2), V_H; silindir hacmi (m^3), *f*; krank milinin bir turundaki yanma frekansı (dört zamanlı motorlarda=*0,5*) ve *n*; devir sayısıdır (*d/dak*).

Özgül yakıt tüketiminin hesaplanmasında denklem (5.12) kullanılmıştır.

$$be = \frac{m_y}{P_e} \tag{5.12}$$

Burada *be*; özgül yakıt tüketimi(*g/kWh*), m_y; kütlesel yakıt debisi(*g/h*), *Pe*; motorun gücüdür (*kW*).

Yakıt tüketimi hesaplanması için dijital göstergeli hassas bir terazi kullanılmıştır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Yakıt tüketimi hesaplamada kullanılan elektronik hassas terazi

Motorda harcanılan yakıtı bulabilmek için elektronik süreölçer kullanılmıştır. Motora yakıt deposu yerine başka bir yakıt deposu üzerine konumlandırılmış ve boru yardımıyla yakıt hattına bağlanması sağlanmıştır.



Şekil 5.6. Egzoz gazı analiz cihazı

Her bir yakıtın egzoz gaz emisyonları ölçümü için CAPELEC CAP 3200 model egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.6).

Egzoz emisyonları ölçümünde kullanılan CAPELEC CAP 3200 model gaz analiz cihazının teknik özellikleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. CAPELEC CAP 3200 gaz analiz cihazın teknik özellikleri

Parametre	Ölçme aralığı	Hassasiyet
HC	0-20000 ppm	1 ppm
CO_2	% 0-20	% 0,1
CO	% 0-15	% 0,001
O_2	% 0-21,7	% 0,01
NO_x	0-5000 ppm	1 ppm

5.2. Aspir yağından biyoyakıt üretimi

Deneyde kullanılmak üzere temin edilen aspir yağı öncelikli olarak bir kapta karıştırıcı ile 120 ^oC sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Böylece yağın içerisinde bulunan su partikülleri buharlaştırılarak yağdan arındırılmıştır (Şekil 5.7). Aynı zamanda bu işlemle kimyasal reaksiyonların gerçekleşeceği aşamalarda sabunlaşma önlenmiştir. 120 ^oC sıcaklığında bulunan yağ, oda koşullarında soğumaya bırakılmıştır. Oda sıcaklığında bulanan yağ, 50-55 ^oC'ye kadar ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlemden daha sonra 1250 ml yağa 400 ml metil alkol ve katalizör olarak da 15 gr KOH ilave edilerek reaksiyon sabit karıştırıcı ve sıcaklıkta 1 saat boyunca işlem sürdürülmüştür.



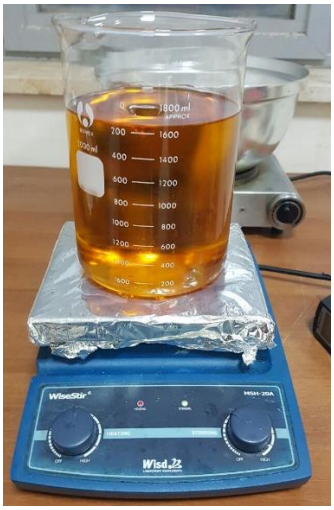
Şekil 5.7. Aspir yağının metil alkol ile karıştırılması

Reaksiyona girmiş olan yağ, 1 gün boyunca oda koşullarında bekletilmiştir. Bunun sonucu olarak, yağın dip kısmında yoğunluğu yüksek olan gliserol çökmüştür (Şekil 5.8). Meydana gelen bu heterojen karışımdan, gliserol bir huni yardımıyla farklı bir kapa alınmıştır. Daha sonra işlem yıkama işlemi olarak tanımladığımız, gliserolden arındırılmış biyodizel bu ile hacimsel olarak 1:1 oranında saf su ilave edilerek sıcaklığı 120 ^{o}C'ye kadar ısıtılmıştır. Sıcaklık 120 ^{o}C'ye ulaştığında saf biyodizel elde edilmiştir.



Şekil 5.8. Aspir yağındaki gliserolün çökmesi

Bu işlem yaklaşık olarak 6-7 saat sürmüştür. Böylece hem saf biyodizel elde edilmiş hem de karışımda bulunan partiküllerde buharlaşarak veya tortu olarak dibe çökmüştür (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Aspir biyodizelin yıkanma işlemi

5.3. Deney yakıtları

Hazırlanan yedi farklı karışımın oranları ve isimleri Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Karışımların adı ve yüzdelikleri

Karışım adı	Dizel yakıt (%)	Aspir biyodizeli (%)	n-Bütanol (%)
D100	100	-	-
B100	-	100	-
D50 & B50	50	50	-
B90 & Bu10	-	90	10
B80 & Bu20	-	80	20
D45 & B45 & Bu10	45	45	10
D40 & B40 & Bu20	40	40	20

Yakıtların yanma parametreleri Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4. Test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Demirtaş, 2008; Işık ve ark., 2016)

Test Yakıtları/ Özellikleri	D100 (ULSD)	B100	n-Bütanol	D50B50	B90Bu10	B80Bu20	D45B45Bu10	D40B40Bu20
Yoğunluk gr/cm^3 20 ºC	0.832	0.888	0.81	0.86	0.879	0.870	0.854	0.848
Kinematik viskozite mm^2/s, 40 ºC	3.1	5.8	2.6	4.45	5.48	5.16	4.26	4.08
Isıl değer kj/kg	43500	38122	34240	40811	37733	37345	40153	39497
Parlama noktası ºC	59	148	35	103.5	136.7	125.4	96.6	89.8
Dizel indeksi	50	56.82	24	53.4	53.5	50.2	50.4	47.5

Yakıtlar için yoğunluk sınır değerleri ASTM ve EN standartlarında üçlü yakıtlar dışında sınırlar içerisindedir. Üçlü yakıtların yoğunlukların minimum sınırların biraz altında kalmaktadır. Bunun nedeni n-bütanolün yoğunluğu düşük olması ve karışımlarda yüksek oranda bulunmasından dolayı karışımların yoğunlarını düşürmüştür.

Kinematik viskozite değerleri ASTM biyodizel ve dizel yakıt standartlarına göre tüm karışımlar için sınır değerleri içerisindedir. Fakat DIN ve EN standartlarına göre saf biyodizelin kinematik viskozitesi belirlenen maksimum sınırın üstündedir. Bunun ile bağlantılı olarak yüksek oranda saf aspir biyodizeli bulunduran karışımlar olan B100, B90Bu10 ve B80Bu20 yakıtlarının kinematik viskozitesi maksimum sınırın biraz üstündedir. Bunun dışında n-bütanolün kinematik viskozitesi belirlenen sınırların

altındadır. n-Bütanol üçlü yakıtlarda karışımın kinematik viskozitesine düşürücü etki yapmıştır. Bu özelliği sayesinde üçlü yakıtların kinematik viskozitesinin sınır aralığında olmasına yardımcı olmuştur.

Isıl değer dikkate alındığında biyodizel ve n-bütanolün değerleri dizel yakıtına oranla düşüktür. Bu da yanma sonrasında aynı miktardan elde edilecek enerji miktarının düşük olmasına neden olur. Bu eksikliği gidermek için daha fazla yakıt kullanılacak ve bu da diğer yakıtlar için yakıt tüketimini arttıracaktır.

Parlama noktasını göz önüne aldığımızda saf biyodizelin parlama noktası minimum yakıt standartlarının üstündedir. Bu da saf biyodizel ile oluşturulan karışımların daha emniyetli olmasını sağlamaktadır. Özellikle içeriğinde yüksek oranda saf biyodizel bulunduran yakıtlar olan B100, B90Bu10 ve B80Bu20 yakıtlar diğer yakıtlara göre taşınma ve depolanma bakımından daha güvenlidir.

Dizel yakıtları için asgari dizel indeksi 45 olmalıdır. Test yakıtları incelendiğinde bir alkol olan n-bütanol dışında tüm yakıtların dizel indeksi 47'nin üstündedir. Üçlü yakıtlardan biri olan D40B40Bu20 karışımının dizel indeksi diğer yakıtlara oranla daha düşüktür. Bunun nedeni n-bütanolün dizel indeksinin çok düşük olması ve karışımda yüksek oranda bulunmasından dolayı karışımın dizel indeksini düşürmüştür.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

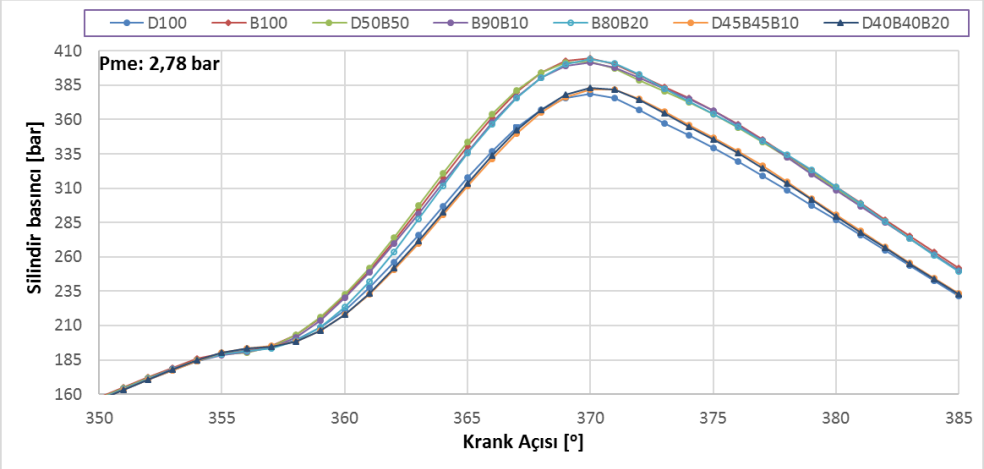
6.1. Motor yanma sonuçları

6.1.1. Silindir basıncı

Şekil 6.1'de, test yakıtlarının Pme 2,78 bar ve 1500 d/dak motor hızındaki silindir içi basınç değerlerinin krank açısına göre değişimi verilmiştir.

Silindir içi pik basıncı, tüm yakıtlar için krank açısının 369^o-370^o olduğu noktalarda görülmüştür. Yakıtın silindir içine püskürtülme anının başlangıcı ve yanmanın başlama aralığı olan 355^o ile 360^o KMA arasındaki süre tutuşma gecikmesinin periyodunu ifade eder. Bu periyotta yakıtın püskürtülmesi ile ortamdan ısı çekilmesi aynı esnada gerçekleştiğinden, basınçtaki artış eğiliminde azalma meydana gelmiştir. Yüksek oranda biyodizel içeriğini bulunduran karışımların basınçlarının düşük olması, distilasyon sıcaklıklarının yüksek ve buharlaşma ve karışım oluşturma özelliklerinin kötü olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Üçlü yakıt karışımları ve dizel yakıtının

basınçlarının diğer yakıtlara göre daha düşük olduğu grafikten gözlemlenmektedir. Bunun temel nedeninin, n-bütanolün yanma sonu sıcaklıklarının düşük olmasından dolayı düşük sıcaklıklı yanma özelliği göstermiş olmasıdır. Aynı zamanda n-bütanolün setan sayısının düşük olması tutuşma noktalarının yüksek olmasına ve yanmanın gecikmesine neden olmaktadır.



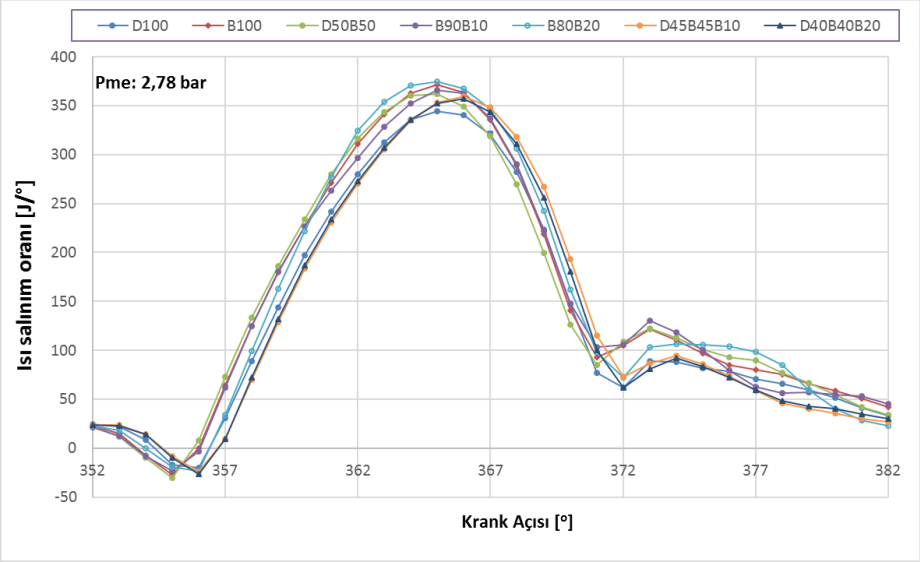
Şekil 6.1. Silindir basıncının krank açısına bağlı değişimi

6.1.2. Isı salınım oranı

Şekil 6.2'de test yakıtlarının Pme 2,78 bar ve 1500 d/dak hızındaki ısı salınım oranı değerlerinin krank açısına göre değişimi verilmiştir.

Yanma başlangıcında, ısı salınım oranı 354^{o} ile 356^{o} KMA arasında bir düşüş ile başlar. Bu düşüşün sebebi, tutuşma gecikmesi zamanı boyunca yakıt karışımının buharlaşmasından dolayı ortamda bulunan ısı çekilmesinden kaynaklanmaktadır (Heywood, 1998; Lu ve ark., 2013). B90Bu10 ve D45B45Bu10 yakıtlarının yanma karakteristikleri D100 yakıtına benzemektedir. Bunun nedeni düşük oranda n-bütanol içeren biyodizel yakıtlar ile dizel yakıtının setan sayılarının ve kendi kendine tutuşma sıcaklıklarının yansıra viskozite ve karışım oluşturma özelliklerinin benzer olmasıdır. B80Bu20 yakıtı için bu avantajın azalmaya başladığı görülmektedir. Çünkü n-bütanol oranı arttıkça setan sayısı düşmekte ve tutuşma gecikmesi süresi artmakta ve yanma kötüleşmeye başlamaktadır. Bu nedenle düşük oranlarda n-bütanol katkısı ile biyodizelin yüksek oranlarda dizel ile oldukça verimli bir şekilde kullanılabileceği öngörülmektedir. Diğer yakıtlar için ise yüksek tutuşma gecikmesi ve daha yüksek pik basıncı olması dışında yanma karakteristikleri benzerdir. Bunun nedeni; n-bütanolün viskozitesi dizel

yakıtı ile neredeyse aynı olması nedeniyle püskürtme başlangıçları aynı olmuştur fakat n-bütanolün tutuşma gecikmesinin yüksek olması pik basıncın daha yüksek olmasına neden olmuştur.



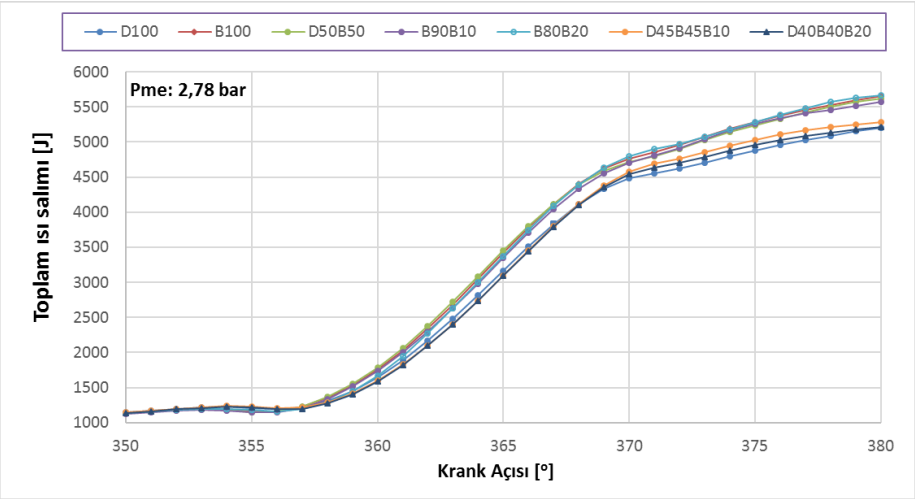
Şekil 6.2. Isı salınım oranının krank açısına bağlı değişimi

Bütün yakıtların pik ısı salınım oranı değeri D100 de oranla daha yüksek olmuştur ve en yüksek pik değer B80Bu20 yakıtı kullanılırken gerçekleşmiştir. Krank mili açısı 375^{o} civarında, art yanma olarak bilinen yakıt püskürtülme olayı bittiğinden dolayı buharlaşma olayı artık meydana gelmediğinden dolayı ısı salınım oranında bir artış oluşmuştur.

6.1.3. Toplam ısı salınımı

Şekil 6.3'de yakıtların Pme 2,78 bar ve ve 1500 d/dak hızındaki toplam ısı salınımı değerlerinin krank açısına göre değişimi verilmiştir.

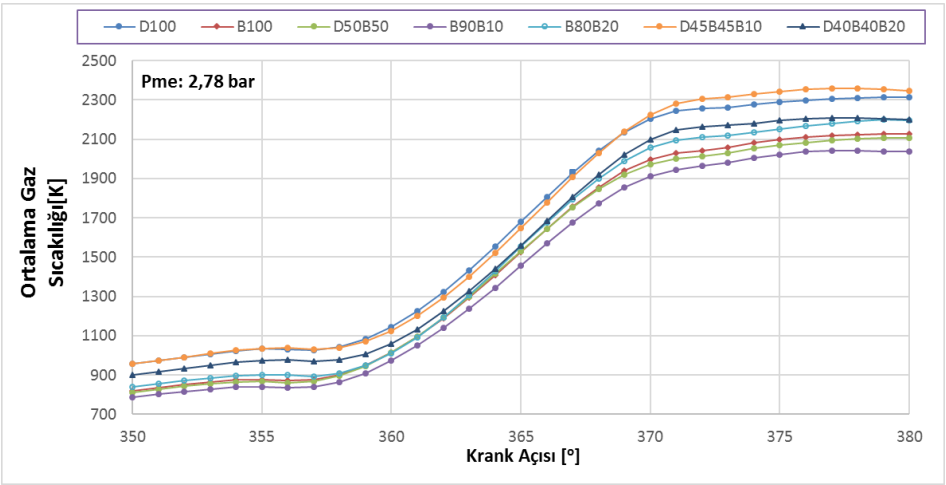
Toplam ısı salınımı parametresi, önemsenmeyecek düzeyde farklar olmasına rağmen bütün yakıtlarda benzer şekilde oluşmuştur. Bu da bu yakıtların karakteristiklerinin birbirine benzer olduğu anlamına gelmektedir. Grafiklerde görülebileceği üzere yakıtların toplam ısı salınımını etkileyecek herhangi bir önemli değişiklik meydana gelmemiştir. En yüksek toplam ısı salınımı değeri n-bütanol katkılı biyodizel yakıtlardan olan B80Bu20 karışımda görülmüştür. Bu karışımı küçük bir düşüş ile B100, B90Bu10 ve B80Bu20 karışımları takip etmektedir. En düşük değer ise sadece dizel yakıtından oluşan D100 yakıtında görülmüştür.



Şekil 6.3. Toplam ısı salınımın krank açısına bağlı değişimi

6.1.4. Ortalama gaz sıcaklığı

Şekil 6.4'de test yakıtlarının Pme 2,78 bar ve ve 1500 d/dak motor hızındaki ortalama gaz sıcaklığı değerlerinin krank açısına göre değişimi verilmiştir.



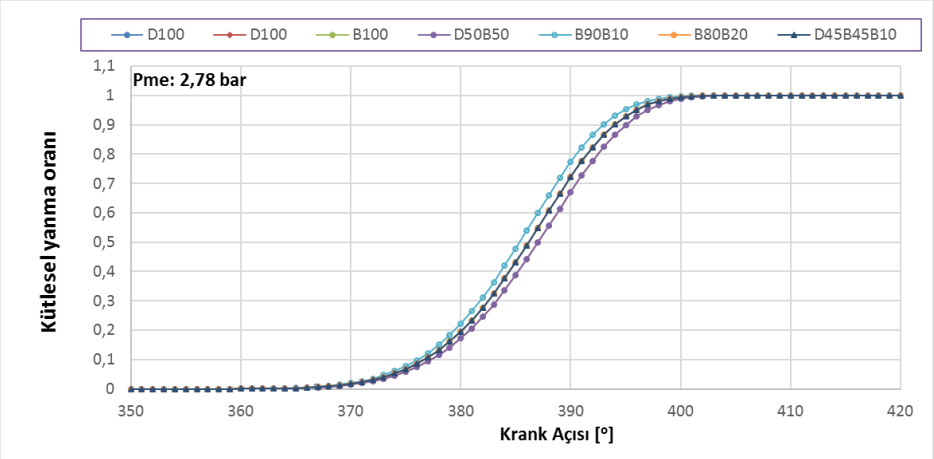
Şekil 6.4. Ortalama gaz sıcaklığının krank açısına bağlı değişimi

En düşük değer biyodizel ile n-bütanol karışımlarından olan B90Bu10 karışımda görülmüştür. Buna rağmen düşük n-bütanol içerikli üçlü yakıt olan D45B45Bu10 karışım en yüksek ortalama gaz sıcaklığına sahip olmuştur. Üçlü yakıttan hemen sonra en yüksek gaz sıcaklığı değeri ise saf dizel yakıtında gözlemlenmiştir. D100 yakıtını, yine üçlü yakıtlardan olan D40B40Bu20 karışımı takip etmektedir. Genel olarak, yüksek oranlarda n-bütanol katkısı içeren karışım yakıtları kullanımında oluşan ortalama gaz sıcaklığı

değerleri diğer yakıtlara nazaran daha düşük çıkmıştır. Bu durum yine alkol kullanımında yanmanın düşük sıcaklıklı yanma moduna geçmesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü alkol yakıtların gizli buharlaşma sıcaklıkları yüksektir. Buharlaşma sırasında ortamdan yüksek oranda ısı çekerler. Buda yanma odasında sıcaklıklarının düşük seyretmesine neden olmaktadır.

6.1.5. Kütlesel yanma oranı

Şekil 6.5'de yakıtların Pme 2,78 bar ve 1500 d/dak hızındaki kütlesel yanma oranı değerlerinin krank açısına göre değişimi verilmiştir. Kütlesel yanma oranı parametresi, bir çevrimde yanma esnasında her krank mili açısında ne kadar yakıtın yandığı gösteren parametredir. Parametrenin hesaplamaları için Wiebe fonksiyonu kullanılmıştır.



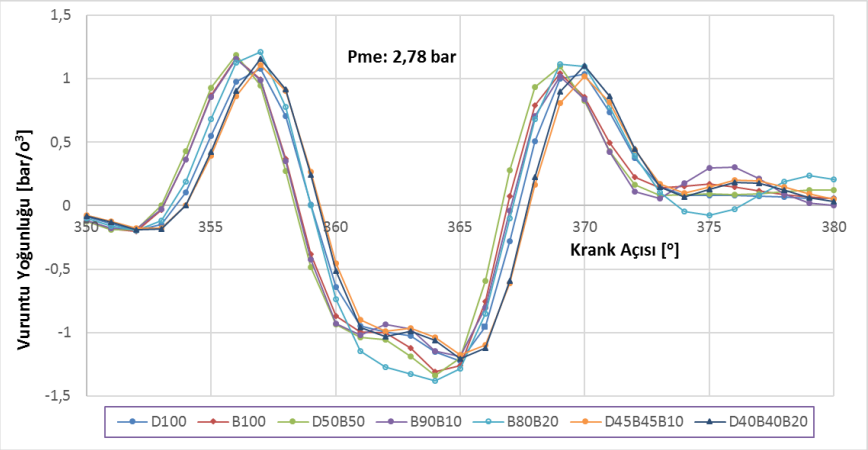
Şekil 6.5. Kütlesel yanma oranın krank açısına bağlı değişimi

Tüm yakıtların kütlesel yanma oranları birbirlerine çok benzer şekilde gerçekleşmiş, aralarındaki fark önemsenmeyecek düzeydedir. Ancak yüksek oranda alkol içeren karışım yakıtların kütlesel yanma miktarlarının daha erken oluştuğu görülmektedir. Bu durum alkol yakıtların buharlaşma ve karışım oluşturma özelliklerinin daha iyi olmasından kaynaklanmaktadır.

6.1.6. Vuruntu yoğunluğu

Şekil 6.6'de deney yakıtlarının Pme 2,78 bar ve 1500 d/dak hızındaki vuruntu yoğunluğu değerlerinin krank açısına göre değişimi verilmiştir. Şekilde görülebileceği

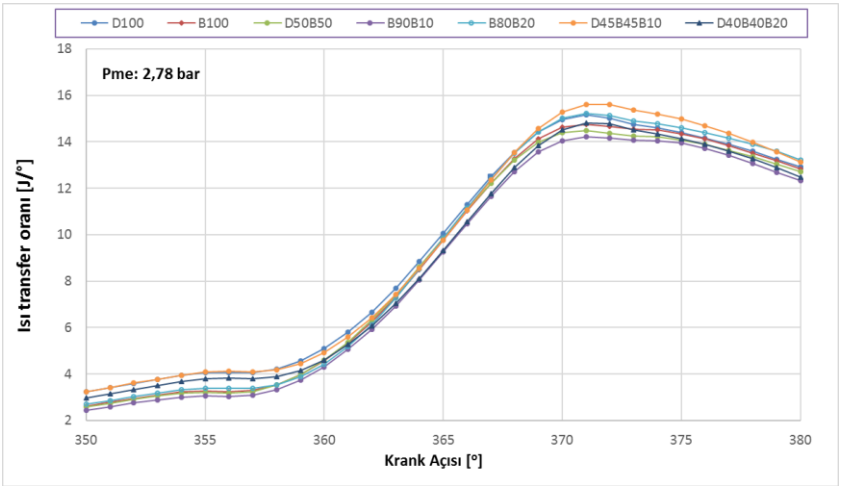
gibi herhangi bir deney yakıtı için yanma sırasında vuruntu olarak kabul edilebilecek düzeylerde bir artış durumu söz konusu değildir. Grafik üzerinde görülebileceği gibi tüm test yakıtları için vuruntu yoğunluğu değerleri 5 bar/o^3 olan vuruntu sınırı değerinden daha düşük gerçekleşmiştir.



Şekil 6.6. Vuruntu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi.

6.1.7. Isı transferi oranı

Şekil 6.7'de yakıtların Pme 2,78 bar ve 1500 d/dak hızındaki ısı transfer oranı değerlerinin krank açısına göre değişimi verilmiştir.



Şekil 6.7. Isı transfer oranının krank açısına bağlı değişimi.

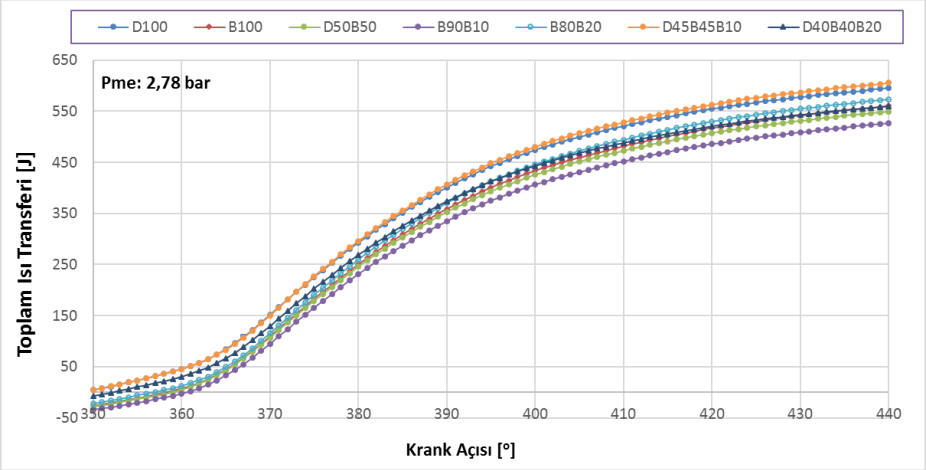
Genel olarak en yüksek ısı transfer oranı değeri D45B45Bu10 yakıtı için gözlenmesine rağmen 359^o -368^o krank mili açısında en yüksek hız B80Bu20 yakıtı için gözlemlenmiştir. En düşük değer ise n-bütanol ile dizel karışımdan oluşan B90B10

yakıtında görülmüştür. Bu yakıt için ısı transferi diğer yakıtları düşük seyretmiştir. Genel olarak yanma hızının alkol yakıtları için daha hızlı olduğu söylenebilir. Bu da yüksek oranda alkol içeren karışım yakıtlarının ısı transfer oranlarının yüksek olmasına neden olmuştur.

6.1.8. Toplam ısı transferi

Şekil 6.8'de yakıtların Pme 2,78 bar ve 1500 d/dak hızındaki toplam ısı transferi değerlerinin krank açısına göre değişimi verilmiştir.

Grafikte gözlemlendiği gibi krank mili açısına göre en yüksek toplam ısı transferi değeri üçlü karışımlardan olan D45B45Bu20 yakıtı için gözlemlenmiştir. En yüksek değere sahip D100 yakıtı ise hemen sonra gelmektedir. En düşük toplam ısı transfer değeri ise B90B10 karışımı için elde edilmiştir.



Şekil 6.8. Toplam ısı transferinin krank açısına bağlı değişimi.

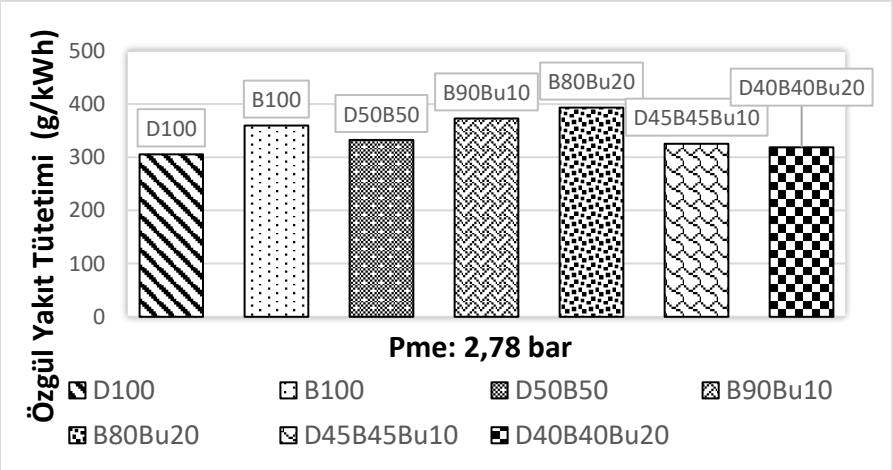
6.2. Motor performans değerleri

6.2.1. Özgül yakıt tüketimi

Şekil 6.9'de her bir yakıtın %50 yükte birim güç için saatte harcadığı yakıt miktarının kg cinsinden değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$Özgül\ Yakıt\ Tüketimi = \frac{m_{fc}}{P_e} \tag{6.1}$$

Bu denklemde m_{fc}: Kütlesel yakıt debisi (g/h) ve P_e: Güç(kW) olarak tanımlanır.



Şekil 6.9. Özgül yakıt tüketiminin değişimi.

Grafik incelendiğinde en düşük özgül yakıt tüketimi sadece dizel yakıtı olan D100 için gözlemlenmiştir. B100 yakıtı için bu oran D100 yakıtına göre artmıştır. En fazla özgül yakıt tüketimi B80Bu20 yakıtı kullandığında gerçekleştirmiştir. Bunun nedeni dizel yakıtının ısıl değerinin diğer yakıtlara nazaran daha yüksek olması ve dolaysıyla aynı gücü elde etmek için daha az yakıtın yanması gerekmesidir. Üçlü karışımlarda bu durum farklı seyretmiş olup ikili karışımlara oranla daha düşük özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir. Buda üçlü karışımlarda yanma veriminin daha yüksek olabileceğinin bir göstergesidir.

n-Bütanol ile birlikte dizel yakıtı ve biyodizel karışımlarını barındıran D45B45Bu10 yakıtında dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimde sadece %5 artış ve D40B40Bu20 yakıtında ise %4 oranında bir artış gerçekleşmiş. Bunun temel nedeni ise dizel yakıtının enerji içeriği aspir biyodizeline oranla yaklaşık olarak %9,6 ve n-bütanole oranla ise yaklaşık olarak %21,2 oranında daha yüksek olmasıdır.

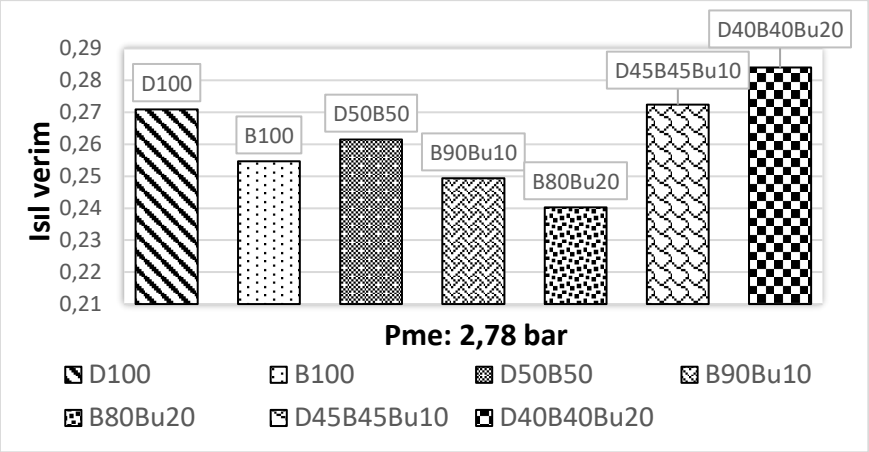
6.2.2. Isıl verim

Isıl verim yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan ısı enerjisinin ne kadarının faydalı işe dönüştürüldüğünü ifade eder. Isıl verim aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

$$Isıl\ verim = \frac{3.6 \times 10^6}{be \times Hu} \tag{6.2}$$

denklemi ile hesaplanmaktadır. Burada be: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh) ve Hu: Alt ısıl değer (kj/kg) olarak tanımlanır.

Şekil 6.10'de görülen grafiksel sonuçlara göre B80Bu20 en düşük ısıl verime sahiptir. B80Bu20 verimi %3 oranında düşüş olmuştur. Yine aynı B100, D50B50 ve B90Bu10 karışımlarının verimleri de ULSD ile kıyaslandığında düşüş gözlemlenmiş. Sadece aspir biyodizelinden oluşan B100 karışımının ısıl verim düşüklüğü %1,6 iken eşit miktarda dizel yakıtı ile biyodizelden oluşan karışım olan D50B50'nin ısıl verimi %0,9 oranında ve n-bütanol katkılı biyodizel yakıtı olan B90Bu10'nin ısıl verimi %2 oranında düşük oluşmuştur.



Şekil 6.10. Isıl verimin değişimi.

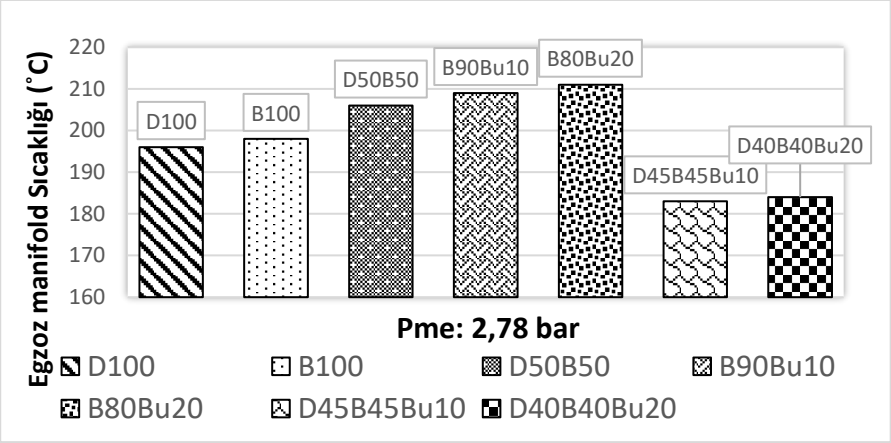
Bunlara rağmen üçlü karışımlar olan, D45B45Bu10 yakıtının ısıl veriminde %1 oranında bir artış ve D40B40Bu20 yakıtında ise %1,5 oranında bir artış gerçekleşmiştir. Bu durum üçlü karışımlarda yanma veriminin daha yüksek olduğu öngörüsünü güçlendirmektedir.

Bu sonuçlar ışığında, n-bütanolün katkısının sadece biyodizel ile kullanıldığında motorun ısıl verimini düşürmüştür. Bunun nedeni n-bütanol ısıl değeri ve dizel indeksi değerlerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte n-bütanol katkısı dizel ve biyodizel ile karışım olarak kullanıldığında ısıl verimde iyileşme olmuştur.

6.2.3. Egzoz gaz sıcaklığı

Şekil 6.11'de görülen grafiklerde egzoz manifoldundan geçen gazların sıcaklığı ifade edilmiştir.

Grafiklerdeki değişimler göz alındığında, n-bütanol ile biyodizel karışımlarının egzoz gaz sıcaklığı dizel yakıtına göre yüksek olmuştur. Bu artış hem B90Bu10 hem de B80Bu20 karışımlarında görülmüştür. Hatta yakıtın içerisindeki n-bütanol miktarı arttıkça, egzoz gaz sıcaklığında da artış oluşmuş. Fakat n-bütanol katkısının aspir biyodizeli ve dizel yakıtı ile karışım olan yakıtlarda egzoz gaz sıcaklığında önemli miktarda azalma gerçekleşmiştir. Bu azalma D45B45Bu10 karışımı için daha fazla gerçekleşmiştir. D40B40Bu20 karışımda ise egzoz gazı düşük seviyelerde olmasıyla ile birlikte D45B45Bu10 karışımına benzer egzoz gaz sıcaklığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni; karışımda biyodizel oranının düşmesi olarak kabul edilebilir. Çünkü biyodizelin adyabatik alev sıcaklığı değeri, dizel ve n-bütanole göre daha yüksektir. Bu da alev sıcaklıklarının ve egzoz gaz sıcaklıklarının yüksek oranlı biyodizel karışımları için daha yüksek çıkmasına neden olur.



Şekil 6.11. Egzoz manifold sıcaklığının değişimi

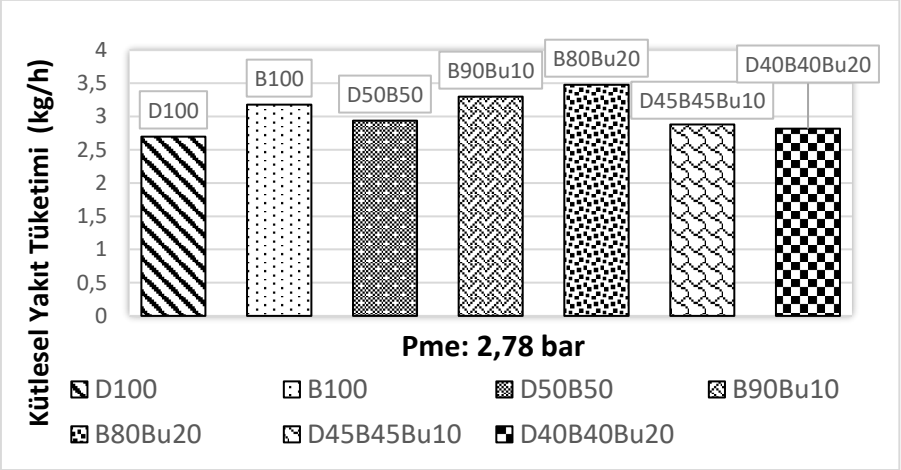
Ayrıca bu sonuç Rakopolos C. ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada n-bütanolün egzoz gaz sıcaklıklarını düşürdüğü sonucuna varmasıyla desteklenmiştir.

6.2.4. Kütlesel yakıt tüketimi

Şekil 6.12'de her bir yakıtın %50 yükte saatte harcadıkları yakıt miktarının kg cinsinden değerleri gösterilmiştir. Aşağıda kütlesel yakıt tüketiminin denklemi verilmiştir. Denklemde bulunan m_{fc}: yakıt miktarını (kg) ve P_e: güç (kW) olarak tanımlanmaktadır.

$$Kütlesel\ Yakıt\ Tüketimi = \frac{m_{fc}}{P_e}\ \text{(kg/kW)} \tag{6.3}$$

ULSD ve aspir biyodizel karışımlarına n-bütanol ilave edilmesiyle kütlesel yakıt tüketimi artmıştır. Bunun nedeni n-bütanolün ısıl değeri düşük olduğundan dolayı karışımlarında ısıl değerini düşürmesindendir. Aynı şekilde aspir biyodizelinin ısıl değeri ULSD ile kıyaslandığında daha düşük fakat n-bütanolden daha yüksektir. Bundan dolayı motorda aynı gücün elde edilebilmesi için silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarının artması gerekmektedir. Silindir içine püskürtülen yakıt miktarı artması, kütlesel yakıt miktarının artmasına neden olmuştur.



Şekil 6.12. Kütlesel yakıt tüketiminin değişimi.

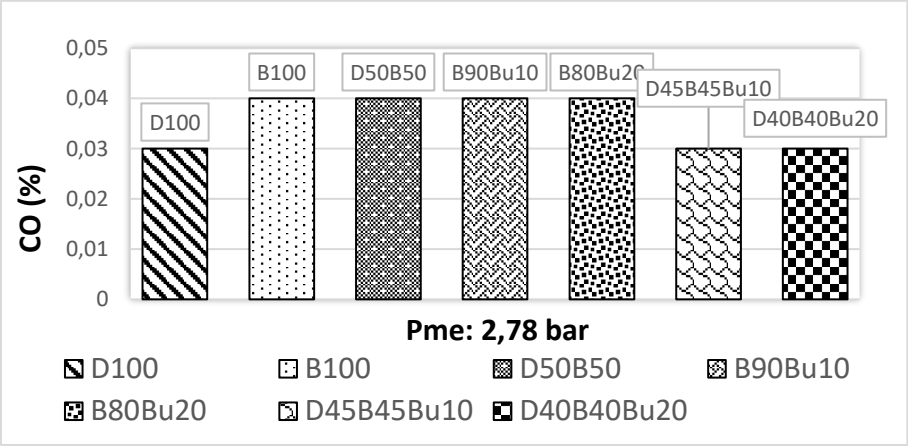
Benzer bir şekilde ULSD yakıt miktarının arttığı karışımlarda kütlesel yanma miktarında azalma gerçekleşmiş. D40B40Bu20 karışım yakıtındaki kütlesel yakıt tüketimindeki artış ULSD'ye oranla yalnızca %4, D45B45Bu10 karışımdaki artış ise %6 olarak gözlemlenmiştir. Bununla birlikte sadece biyodizel ile karışım yapılan yakıtlarda kütlesel yakıt tüketiminde artış olmuştur. Bu artış B90Bu10 yakıtında %22 ve B80Bu20 yakıtında ise %26 olarak gözlemlenmiş.

6.3. Motor emisyon değerleri

6.3.1. Karbonmonoksit (CO) emisyonunun değişimi

Yanma sırasında oksijenin az olması CO emisyonu oluşumuna neden olur. Bu araştırmada kullanılan tüm deneysel yakıtların CO emisyonlarının değişimleri Şekil 6.13' de gösterilmiştir. CO emisyonu ULSD, D40B40Bu20 ve D45B45Bu10 yakıtları için aynı seviyede çıkmış olup, aynı zamanda diğer yakıtlardan daha düşük seviyededir. Öte

yandan B100, D50B50, B80Bu20 ve B90Bu10 yakıtlarının CO emisyonları aynı seviyede çıkmıştır.



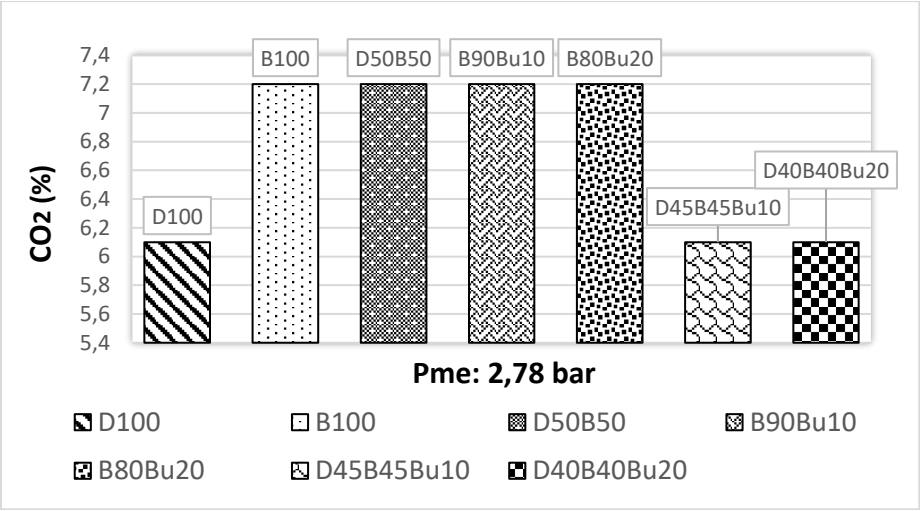
Şekil 6.13. CO emisyonunun değişimi

Tam yanmanın gerçekleşmemesinden dolayı CO emisyonu ortaya çıkmaktadır Aydın, (2013). CO emisyonların D40B40Bu20 ve D45B45Bu10 yakıtları için en düşük çıkmasının nedeni n-bütanolün yapısında bulunan oksijen içeriğinden kaynaklanmaktadır. Yanma sırasında n-bütanol yanması için gerekli oksijen verilmesine yardımcı olarak eksik yanmanın gerçekleşmesini sınırlandırarak, tam yanmanın gerçekleşmesini sağlamıştır.

6.3.2. Karbondioksit (CO_2) emisyonunun değişimi

Bu araştırmada kullanılan tüm deneysel yakıtların CO_2 emisyonlarının değişimleri Şekil 6.14' de gösterilmiştir. Yanma meydana gelirken oksijenin az olması CO emisyonuna etki eder. Egzoz emisyonlarından biri olan CO_2 tam yanmayı ifade etmektedir. Yani CO_2 emisyonun değerlerinin yüksek olması, ideal yanmanın oluştuğuna dair bilgi vermektedir.

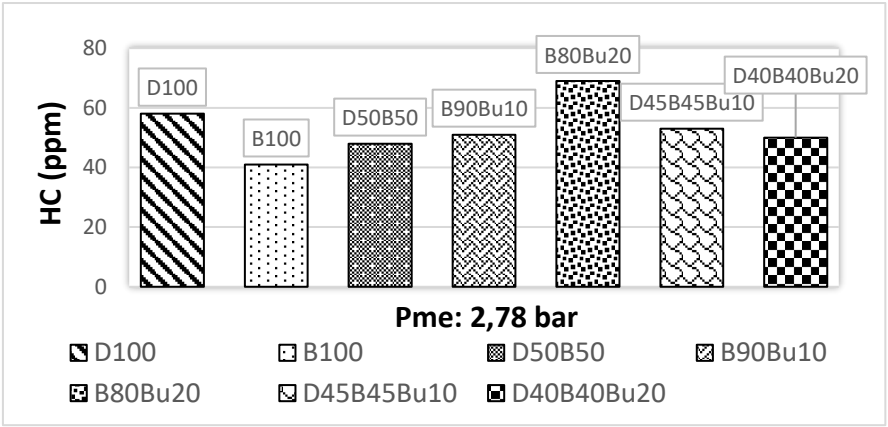
D100, D45B45Bu10 ve D40B40Bu20 yakıtlarının CO_2 emisyon değerleri aynı seviyede olup, diğer yakıtlara oranla çok düşüktür. Aynı şekilde, saf aspir biyodizel yakıtından oluşan B100 yakıtı ile aynı oranlarda biyodizel ve dizel yakıtı karışımından oluşan D50B50 ve n-bütanol katkısı ile biyodizel yakıtlarından oluşan B90Bu10 ve B80Bu20 yakıtlarının CO_2 emisyon değerleri aynı seviyede olup, dizel yakıtına göre çok yüksek gözlemlenmiştir.



Şekil 6.14. CO_2 emisyonunun değişimi

6.3.3. Hidrokarbon (HC) emisyonunun değişimi

Hidrokarbon bir organik bileşik olup emisyonu CO emisyonu gibi tam yanmanın gerçekleşmediği durumlarda egzozdan salınır. HC emisyonlarında, stokiyometrik oranın altındaki zengin yakıt-hava oranlarının gerçekleştiği durumlarda emisyonda artış oluşur. Şekil 6.15'de Hidrokarbon emisyonunun değerleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



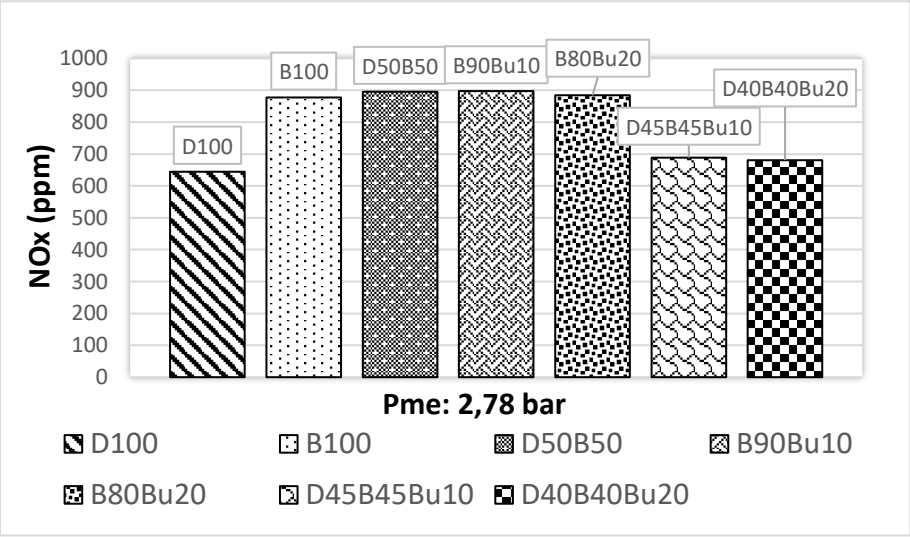
Şekil 6.15. HC emisyonunun değişimi

En düşük HC emisyonu B100 yakıtında görülmüştür. D50B50 karışımı ise B100 yakıtına oranla daha fazla HC emisyonu salınımı yapmıştır. B90Bu10, D40B40Bu20 ve D45B45Bu10 karışımlarının HC emisyonu seviyesi ise önemsenmeyecek seviyede daha yüksek ve emisyon seviyeleri birbirine yakındır. En yüksek HC emisyon seviyesi ise bir yüksek n-bütanol içeriğine sahip olan karışımlardan olan B80Bu20 ile sadece dizel yakıtından oluşan D100 yakıtlarında gözlemlenmiştir.

Birçok araştırmada biyodizel için HC emisyonun dizel yakıtınkine oranla daha yüksek çıkmıştır (Scholl ve ark., 1993; Monyem ve ark., 2001; Masjuki ve ark., 1993). Fakat bu çalışmada, HC emisyonu biyodizel karışımlarında genel olarak (B80Bu20 hariç) daha düşük oluşmuştur. Bunun nedeni HC emisyonun biyodizel ile karışım halinde olan yakıtlarda düşük olmasının nedeni, biyodizelin yapısında bolca oksijen bulundurmasına bağlanabilir. Bunun dışında yüksek setan sayısı da tutuşma gecikmesinin zamanını kısaltarak daha iyi yanma oluşmasına neden olmuştur. Burada n-bütanol katkısı yakıtın HC emisyonunu kötüleştirmiştir. Bunun nedeni setan sayısının düşük olmasından dolayı tutuşma gecikmesi periyodunun uzamasıdır. Ayrıca n-bütanolün yanma odası sıcaklığını düşürmesinden dolayı sönme bölgelerinin artması, HC emisyonlarının n-bütanol karışımlarında yeniden arttırarak biyodizelin olumlu etkisini ortadan kaldırmıştır.

6.3.4. Azot oksit (NOx) emisyonunun değişimi

NO, NO_2, N_2O, N_2O_3 ve N_2O_5 bileşikleri kısaca NOx olarak bilinirler. NOx'in yaklaşık %90'nı nitrik asit (NO), %5'ni nitrojen dioksit (NO_2) ve kalan %5 kısmını da nitrik asit (N_2O, N_2O_3 ve N_2O_5)'den oluşmaktadır. Fakat yanmada nitrik asitlerin emisyonları çok düşüktür, hatta sıfıra yakındır (Heywood, 1988). Şekil 6.16'de azot oksit emisyonlarının yakıtlara göre değerleri ve birbirine göre karşılaştırmalı olarak grafikleri verilmiştir.



Şekil 6.16. NOx emisyonunun değişimi

NOx emisyonlarının değişimi dizel yakıt ile kıyaslandığında tüm yakıtlarda bir artış gerçekleşmiş. B100, D50B50, B90Bu10 ve B80Bu20 yakıtlarının emisyon değerleri neredeyse aynı olup, aradaki farklılık önemsenmeyecek düzeydedir ve bu yakıtların NOx emisyonları, dizel yakıtı ve üçlü karışımlar ile karşılaştığında önemli ölçüde artış göstermiş. İkili karışımlarda biyodizel oranı yüksek olduğundan NOx emisyonları da yüksek olmuştur. Biyodizel yakıtların yüksek setan sayıları ve yüksek adyabatik alev sıcaklıklarından dolayı yanma sırasında sıcaklıklar yüksek olmakta ve sonuçta NOx oluşumuna neden olmaktadır. Bununla birlikte D40B40Bu20 ve D45B45Bu10 yakıtlarının NOx emisyonları aynı olup, D100 yakıtının emisyonundan önemsenmeyecek ölçüde yüksektir.

NOx emisyonları 1800 ^{o}K'den sonraki sıcaklıklarda oluşmakta oluşum miktarı sıcaklıkla artmaktadır. Hava içerisinde bulunan azot yüksek sıcaklıklarda oksijen ile reaksiyona girerek NOx emisyonları oluşturur. Şekil 6.11'de egzoz gaz sıcaklığı grafiğinde görüldüğü gibi NOx emisyonları yüksek olan B100, D50B50, B90Bu10 ve B80Bu20 yakıtlarının egzoz gaz sıcaklığı yüksektir ki bu da bu yakıtlar için NOx emisyonlarının yüksek olmasının nedenidir. Ayrıca n-bütanol ve biyodizel yakıtların karışımları olarak hazırlanan B90Bu10 ve B80Bu20 yakıtlarının oksijen içeriğinin yüksek olması NOx emisyonlarının daha yüksek olmasının bir diğer nedenidir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son yıllarda hem petrol türevli enerji kaynaklarının sınırlı olmasından dolayı hem de fosil yakıtların kirletici etkilerinden dolayı, araştırmacılar fosil yakıtlara alternatif olabilecek çevreci yakıtlar bulma arayışındadır. Bu araştırmaların büyük bir kısmı, bitkisel ve hayvansal yağlardan veya atıklardan bir alternatif yakıt geliştirmek ve bunu çeşitli takviyelerle verimli hale getirmek üzerine yoğunlaşmıştır.

Bu araştırmada Türkiye'de üretimi zor olmayan bir yağ olan aspir yağından biyodizel elde edilmiştir ve biyodizel yakıtı, dizel ve bir alkol olan n-bütanol ile takviye edilerek performans, yanma ve emisyon değerleri incelenmiştir. Biyodizel transesterifikasyon yöntemi ile aspir yağından elde edilmiştir. n-bütanol hacimce en fazla %20 oranında eklenilmiştir. Toplam 7 farklı yakıt hazırlanmıştır. Bunlar; D100, D50B50, B90Bu10, B80Bu20, D45B45Bu10 ve D40B40Bu20 olarak isimlendirilmiştir. Yakıtlar dört silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı bir dizel motorunda, sabit yük (Pme=2,78 bar) ve sabit motor hızında (1500 d/dak) test edilmiştir.

Yapılan testlerin sonuçları ışığında, üçlü yakıtların silindir basıncı daha düşük oluşmuştur. Fakat diğer yakıtların basıncı dizel yakıtıyla aynı seviyede gerçekleşmiştir. Bu da diğer yakıtların daha ideal basınç değerlerine sahip olduğu anlamına gelmektedir.

Isı salınım oranından hareketle, n-bütanol içeren yakıtların yanma karakteristiği dizel yakıtını karakteristiğine benzerlik göstermiştir. Fakat n-bütanol miktarı arttıkça bu avantajın azalmaya başladığı görülmüştür. Bu nedenle düşük oranlarda n-bütanol katkısı ile biyodizel yüksek oranlarda dizel ile oldukça verimli bir şekilde kullanılabileceği öngörülmektedir.

Toplam ısı salınımı parametresi, önemsenmeyecek düzeyde farklar olmasına rağmen bütün yakıtlarda benzer şekilde oluşmuştur. Bu da bu yakıtların karakteristiklerinin birbirine benzer olduğu anlamına gelmektedir.

Genel olarak ortalama gaz sıcaklığı ile ilgili olarak yüksek oranlarda n-bütanol katkısı içeren karışım yakıtları kullanımında oluşan ortalama gaz sıcaklığı değerleri diğer yakıtlara nazaran daha düşük çıkmıştır. Bu durum alkol kullanımında yanmanın düşük sıcaklıklı yanma moduna geçmesinden kaynaklanmaktadır.

Tüm yakıtların kütlesel yanma oranları birbirlerine çok benzer şekilde gerçekleşmiş, aralarındaki fark önemsenmeyecek düzeydedir. Ancak yüksek oranda alkol içeren karışım yakıtların kütlesel yanma miktarlarının daha erken oluştuğu

görülmektedir. Bu durum alkol yakıtların buharlaşma ve karışım oluşturma özelliklerinin daha iyi olmasından kaynaklanmaktadır.

Alınan sonuçlardan hareketle herhangi bir deney yakıtı için yanma sırasında vuruntu olarak kabul edilebilecek düzeylerde bir artış durumu söz konusu olmamıştır.

Genel olarak yanma hızının alkol yakıtları için daha hızlı olduğu söylenebilir. Bu da yüksek oranda alkol içeren karışım yakıtlarının ısı transfer hızlarının yüksek olmasına neden olmuştur.

En fazla özgül yakıt tüketimi B80Bu20 yakıtı kullandığında gerçekleştirmiştir. Bunun nedeni dizel yakıtının ısıl değerinin diğer yakıtlara nazaran daha yüksek olması ve dolaysıyla aynı gücü elde etmek için daha aza yakıtın yanması gerekmesidir. Üçlü karışımlarda bu durum farklı seyretmiş olup ikili karışımlara oranlar daha düşük özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir. Buda üçlü karışımlarda yanma veriminin daha yüksek olabileceğinin bir göstergesidir.

n-Bütanol katkısı sadece biyodizel ile kullanıldığında motorun ısıl verimi düşürmüştür. Bunun nedeni n-bütanol ısıl değeri ve dizel indeksi değerlerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte n-bütanol katkısı dizel ve biyodizel ile karışım olarak kullanıldığında ısıl verimde iyileşme olmuştur.

n-Bütanol ile biyodizel karışımlarının egzoz gaz sıcaklığı dizel yakıtına göre yüksek olmuştur. Fakat n-bütanol katkısının aspir biyodizeli ve dizel yakıtı ile karışım olan yakıtlarda egzoz gaz sıcaklığında önemli miktarda azalma gerçekleşmiştir.

ULSD ve aspir biyodizeli karışımlarına n-bütanol ilave edilmesiyle kütlesel yakıt tüketimi artmıştır. Bunun nedeni n-bütanolün ısıl değeri düşük olduğundan dolayı karışımlarında ısıl değerini düşürmesindendir. Aynı şekilde aspir biyodizelinin ısıl değeri ULSD ile kıyaslandığında daha düşük fakat n-bütanolden daha yüksektir. Bundan dolayı motorda aynı gücün elde edilebilmesi için silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarının artması gerekmektedir. Silindir içine püskürtülen yakıt miktarı artması, kütlesel yakıt miktarının artmasına neden olmuştur.

CO emisyonların üçlü yakıtlar için en düşük çıkmasının nedeni n-bütanolün yapısında bulunan oksijen içeriğinden kaynaklanmaktadır. Yanma sırasında n-bütanol yanması için gerekli oksijen verilmesine yardımcı olarak eksik yanmanın gerçekleşmesini sınırlandırarak, tam yanmanın gerçekleşmesini sağlamıştır.

Dizel ve üçlü yakıtlarının CO_2 emisyon değerleri aynı seviyededir. Fakat diğer yakıtların CO_2 emisyon değerleri, dizel yakıtına göre çok yüksek gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, HC emisyonu biyodizel karışımlarında genel olarak(B80Bu20 hariç) daha düşük oluşmuştur. Bunun nedeni HC emisyonun biyodizel ile karışım halinde olan yakıtlarda düşük olmasının nedeni, biyodizelin yapısında bolca oksijen bulundurmasına bağlanabilir. Burada n-bütanol katkısı yakıtın HC emisyonunu kötüleştirmiştir.

n-Bütanol katkı olarak biyodizel ve dizel yakıtı ile birlikte dizel motorlarda kullanılmasının olumlu sonuçları olduğu görülmüştür. n-bütanol, petrol türevli yakıtların hızla tükendiği bir dönemde mevcut yakıtlara alternatif oluşturabilecek önemli bir katkı olduğu alınan sonuçlarla ortaya konmuştur. Bu sebeple n-bütanolün diğer biyodizel çeşitleri ile yüksek oranda kullanılabileceğine dair düşünceleri güçlendirmiştir.

8. KAYNAKLAR

Acaroğlu M., 2003, Alternatif Enerji Kaynakları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 229256.

Ağsakallı A., Avcı M., Aydın N., Beşer N., Çelik A. ve Çınar M., 2001, Tarla Bitkileri 1-2, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Teşkilatlanma ve Destekleme Genel Müdürlüğü, Çiftçi Eğitimi ve Yayım Serisi, Yayın No: 39, Ankara.

Akınerdem F. ve Öztürk Ö., 2015, Safflower and biodiesel quality in Turkey, 7th International Conference.

Akpınar A., 1999, Aspir (Charthamus Tinctorius L.) tohumu yağının çözücü ekstraksiyonu ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 62s.

Akyarlı A., 2004, Biyodizelin yakıtın uluslararası standartlarda üretimi, Bioenerji Sempozyumu İzmir.

Alpgiray B. ve Gürhan R., 2007, Kanola Yağının Dizel Motorunun Performansına ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin Belirlenmesi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, 13 (3), 231-239.

Armah-Agyeman G., Loiland J., Karow R. ve Hang A. N., 2002, Safflower, Dryland Cropping Systems, EM 8792, Oregon State University, Extension Servise, 1-7.

Atmanli A., Ileri E. ve Yuksel B., 2015, Effects of higher ratios of n-butanol addition to dieselevegetable oil blends on performance and exhaust emissions of a diesel engine, Journal of the Energy Institute 88, 209-220.

Atmanli A., Ileri E., Yuksel B. ve Yilmaz N., 2015, Extensive analyses of diesel–vegetable oil–n-butanol ternary blends in a diesel engine, Applied Energy 145, 155–162.

Avcı A. ve Dönmez S., 2011, Biyoyakıt Olarak Bütanol ve Fermentasyonla Üretimi, Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi, 9,1-12.

Aydın F. ve Öğüt H., 2017, Effects of using ethanol-biodiesel-diesel fuel in single cylinder diesel engine to engine performance and emissions" Renewable Energy, vol. 103, issue C, pages 688-694.

Aydin H., 2013, Combined effects of thermal barrier coating and blending with diesel fuel on usability of vegetable oils in diesel engines, Appl. Therm. Eng. 51, 623e629.

Borat O., Balcı M. ve Sürmen A., 1995, İçten Yanmalı Motorlar, G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Matbası, Ankara.

Can Ö., 1998, Aspir Tarımı, Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Eskişehir.

Ceviz M.A., Koncuk F., Yüksel F., Küçük Ö. ve Gören A.C., 2009, Beş Farklı Bitkisel Yağdan Üretilen Biyodizeller İle Dizel Yakıtının Motor Performansı ve Emisyon Karakteristiklerinin Karşılaştırmalı Analizi, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt:50 No:588.

Chen G., Yu W., Li Q. ve Huang Z., 2012, Effects of n-Butanol Addition on the Performance and Emissions of a Turbocharged Common-Rail Diesel Engine, SAE International, 1-17.

Choi B., Jiang X., Kim Y. K., Jung G., Lee C. ve Choi I., 2010, Effect of Diesel Fuel Blend with Biobutanol on the Emission of Turbocharged CRDI Diesel Engine, Energy Procedia Volume 61, Pages 2145-2148 International Conference on Applied Energy.

Choi B., Jiang X., Kim Y. K., Jung G., Lee C., Choi I. ve Song C. S., 2015, Effect of diesel fuel blend with n-butanol on the emission of a turbocharged common rail direct injection diesel engine, Applied Energy Volume 146, Pages 20–28.

Daggett D., Hadaller O., Hendricks R. ve Walther R., 2006, Alternative fuels and their potential impact on aviation, NASA/TM-2006-214365.

Damodharan D., Sathiyagnanam A.P., Rana D., Kumar B. R. ve Saravanan S., 2017, Extraction and characterization of waste plastic oil (WPO) with the effect of n-butanol addition on the performance and emissions of a DI diesel engine fueled with WPO/diesel blends.

Demirbaş A., 2008, Biodiesel, A realistic fuel alternative for diesel engines, London: Springer-Verlag, 65-92.

Demirbaş A., 2009, Political, economic and environmental impacts of biofuels: a review. Appl Energy, 86 (1): 108–17.

Doğan O., 2011, The Influence of n-Butanol/Diesel Fuel Blends Utilization on a Small Diesel Engine Performance and Emissions, Fuel, 2467-2472.

Durgun O., Şahin Z. ve Bayram C., 2009, Dizel Motorlarında Hafif Yakıt Fumigasyonunun Etkilerinin ve Mekanik Kayıpların Deneysel ve Teorik İncelenmesi, DPT Proje Raporu, Proje No: 2003K120750, Trabzon.

Encinias H. B., Encinias A.M., Spickler J. J., Kreft B. ve Bauer M.L., 2001, Effects of prepartum high linoleic safflower seed supplementation for gestating cows on performance of cows and calves, Vth International Safflower Conference, Williston, North.

EPA., 2002, Assessment and Standards Division (Office of Transportation and Air Quality of the US Environmental Protection Agency). A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions, EPA, 420-P-02-001.

Eryilmaz T., Yesilyurt M. K., Cesur C. ve Gokdogan O., 2016, Biodiesel production potential from oil seeds in Turkey.

Esendal E., 2001, Safflower Production and Research in Turkey, Vth International Safflower Conference, Williston, North Dakota, Sidney, Montana, USA, 203207.

Han X., Yang Z., Wang M., Tjong J. ve Zheng M., 2016, Clean combustion of n-butanol as a next generation biofuel for diesel engines, Applied Energy.

Heinz G., 2007, Otto ve dizel motorları kitabı, Bilim ve Teknik Yayınları Kitap Evi, Newyork, 25-250.

Heywood B. J., 2004, Internal combustion engine fundamentals, McGraw-Hill Serias in Mechanical Engineering, Newyork, 491-681.

Heywood J. B., 1988, Internal combustion engines fundamentals. McGraw Hill Publications.

Hossain, A., Davies, P., Pyrolysis liquids and gases as alternative fuels in internal combustion engines, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21(2013),165–189

Ibrahim A., 2016, Performance and combustion characteristics of a diesel engine fuelled by butanol–biodiesel–diesel blends, Applied Thermal Engineering 103, 651–659.

Işığıgür A., 1992, Türkiye kökenli Aspir tohum yağlarının transesterifikasyonu ve dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 122s.

Işık M. Z., Bayındır H., Işcan B. ve Aydın H., 2016, The effect of n-butanol additive on low load combustion, performance and emissions of biodiesel-diesel blend in a heavy duty diesel power Generator, Journal of the Energy Institute xxx, 1-11.

İlkılıç C., Aydın S., Behçet R. ve Aydın H., 2011, Biodiesel from safflower oil and its application in a diesel engine, Fuel Processing Technology, vol.92 (3) pp.356-362.

Jin C., Yao M., Liu H., Lee C.F. ve Ji J., 2011, Progress in the production and application of n-butanol as a biofuel, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (8): 4080-4106.

Karabaş H., 2013, Soğuk Pres ve Solvent Ekstraksiyon Teknikleri ile Üretilen Aspir Yağı ve Aspir Biyodizellerinin Yağ ve Yakıt Özelliklerinin İncelenmesi, 28. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi 4-6 Eylül, KONYA.

Karahan Ş., 2006, Biyodizel Kalitesi ve Biyodizel Kalitesinin Dizel Motorlara Etkisi, Ulusal Biyodizel Sunuştayı, Ankara.

Keskin A., Reşitoğlu İ.A. ve Özcanlı M., 2009, Butanol, Etanol ve Benzin Karışımlarının Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Özgül Yakıt Tüketimi ve Emisyona Olan Etkisi, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 24, 147-156.

Khanahmadzadeh S. ve Khanahmadzadeh A., 2012, Physico-Chemical Properties of Biodiesel Produced from Safflower Oil (Isfahan Cultivar), J. Basic. Appl. Sci. Res., 2(11)11521-11525.

Kumar B. R. ve Saravanan S., 2016, Effects of iso-butanol/diesel and n-pentanol/diesel blends on performance and emissions of a DI diesel engine under premixed LTC (low temperature combustion) mode, Fuel 170, 49–59.

Lapuerta M., Hernandez J. J., Fernandez-Rodríguez D. ve Cova-Bonillo A., 2016, Autoignition of blends of n-butanol and ethanol with diesel or biodiesel fuels in a constant-volume combustion chamber, Energy xxx, 1e9.

Lin L., Cunshan, Z., Vittayapadung S., Xiangqian S. venMingdong D., 2011, Opportunities and challenges for biodiesel fuel, Applied Energy, 88, 1020-1031.

Lu X., Yang J. G., Zhang W. G. ve Huang Z., 2013, Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol–diesel blend fuel, Fuel 2000;83:20.

Masjuki H., Zaki A. M. ve Sapuan S. M., 1993, Methyl ester of palm oil as an alternative diesel fuel, Fuels for Automotive and Industrial Diesel Engines 104.

Minteer S., 2006, Alcoholic Fuels, Taylor&Francis Group, Missouri, 1-296.

Monyem A. ve Gerpen J. H. V., 2001, The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions, Biomass Bioenergy 20, 317–325.

Nigam P. S. ve Singh A., 2011, Production of liquid biofuels from renewable resources-Review, Progress in Energy and Combustion Science, 37, 52-68.

Nosheena A., Banob A. ve Alic S., 2014, Physicochemical Characterization and Authentication of Safflower Oil Biodiesel Yield by Advanced Tools, International Journal of Chemical and Environmental Engineering, Volume 5, No.4.

Özçelik A. E. ve Öğüt H., 2011, Determination Of The Effects Of Safflower Biodiesel And Its Blends With Diesel Fuel On Engine Performance And Emissions In A Single Cylinder Diesel Engine, Uluslararası Dergiler, 599-608.

Özsezen A.N., ve Çanakçı M., 2008, Atık Kızartma Yağından Elde Edilen Metil Esterin Ön Yanma Odalı Bir Dizel Motorda Kullanımının Performans Ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:23 No:2.

Pinto F., Ragni M., Caputi Jambrenghi A. M., Vicenti A., Marsico G., Zezza L. ve Vonghia G., 2001, Fatty acid composition of milk from mares fed on the diet containing safflower oil, Vth International Safflower Conference, Williston, North Dakota, Sid.

Rakopoulos C.D., Dimaratos A. M., Giakoumis E. G., et al., 2010, Investigating the emissions during acceleration of a turbocharged diesel engine operating with bio-diesel or nbutanoldiesel fuel blends, Energy 35, 5173e5184.

Rakopoulos, D. C., Giakoumis, E. G., Dimaratos A. M. ve Kyritsis D. C., 2010, Effects of butanol-diesel fuel blends on the performance and emissions of a high-speed DI diesel engine, Energy Conversion and Management, 51 (10): 1989-1997.

Rashid U. ve Anwar F., 2008, Production of Biodiesel through Base-Catalyzed Transesterification of Safflower Oil Using an Optimized Protocol, Energy & Fuels, 22, 1306–1312.

Ren21, 2016, Renewables 2016, Global status report, Fransa.

Safgönül B., Arslan, H.E, Ergeneman M. ve Sorusbay C., 1999, İçten Yanmalı Motorlar, Birsen Yayınevi, İstanbul, 218s.

Sagar S. P. ve Raju G. N., 2016, Performance and Emission Analysis of Safflower Biodiesel on VCR Engine by Varying Injection Pressure, IJMETMR Volume no:3.

Scholl K. W. ve Spencer C. S., 1993, Combustion of soybean oil methyl ester in a direct injection diesel engine, SAE paper 930934.

Sirtioglu I., 2015, Oilseeds and Products Annual, 2015 Turkey Oilseeds Annual.

Sonare N. R. ve Rathod V. K.,2010, Transesterification of used sunflower oil using immobilized enzyme." Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic 66, 142–147.

Stanford K., Wallins G.L., Lees B.M. ve Mündel H.H., 2001, Immature safflower forage as a feed for ewes, Vth International Safflower Conference, Williston, North Dakota, Sidney, Montana, USA, 29-32.

Şahin Z. ve Aksu O. N., 2015, Experimental investigation of the effects of using low ration-butanol/diesel fuel blends on engine performance and exhaust emissions in a turbocharged DI diesel engine, Renewable Energy 77, 279e290.

Şahin Z. ve Durgun O., 2009, Dizel Motorları için Klasik ve Alternatif Yakıtlar ve Kullanım Yöntemleri, ULIBTK'09 17. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Haziran, 2009, Sivas, Bildiriler Kitabı: 887-894.

Şahin Z., Durgun O. ve Aksu O. N., 2015, Experimental investigation of n-butanol/diesel fuel blends and n-butanol fumigation –Evaluation of engine performance, exhaust emissions, heat release and flammability analysis, Energy Conversion and Management 103.

Taşyürek M., 2005, Palm ve Aspir Biyomotorininde Depolama Süresi ve İartlarının Yakıt Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 14-22.

URL1: Motorin Yakıtlarının Özellikleri, Gazi Obitet Topluluğu Resmi Web Sitesi [online], Türkiye, http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/yakitlar_yaglar/motorin_.html [Ziyaret Tarihi: 4 Şubat 2017].

URL2: Biyomotorin [online], Türkiye, http://www.biyomotorin-biodiesel.com [Ziyaret Tarihi: 4 Şubat 2017].

URL3: Egebiyoteknoloji [online], http://www.egebiyoteknoloji.com [Ziyaret Tarihi: 4 Şubat 2017].

URL4: EPDK, T.C. Enerji ve Tabii Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü [online], Türkiye, http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx [Ziyaret Tarihi: 4 Şubat 2017].

URL5: Aspir tarımı [online], www.ttae.gov.tr [Ziyaret Tarihi: 4 Şubat 2017].

URL6: Safflower production [online], http://agric.ucdavis.edu [Ziyaret Tarihi: 4 Şubat 2017].

URL7: FAO, Food And Agriculture Organization FAOSTAT [online], http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor [Ziyaret Tarihi: 21 Mart 2016].

URL8: TÜİK, Bitkisel Üretim İstatistikleri [online], https://biruni.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul [Ziyaret Tarihi: 21 Mart 2016].

URL9: Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı [online], http://www.tuik.gov.tr/ [Ziyaret Tarihi: 09 Mart 2017].

URL10: Motorin hakkında herşey [online], http://www.bgbakimservisim.com/panel/upload/11122014161728.pdf [Ziyaret Tarihi: 22 Nisan 2017].

URL11: Biodiesel Quality, Standards and Properties [online], http://cdn.intechweb.org/pdfs/23666.pdf [Ziyaret Tarihi: 22 Nisan 2017].

URL12: Biodiesel Standards [online],https://www.biofuelsystems.com/specification.htm [Ziyaret Tarihi: 22 Nisan 2017].

URL13: Yanma ve yangın kavramları, Doç. Dr. Kemal ÇOMAKLI [online], http://www.ataaof.com/ow_userfiles/plugins/forum/attachment_3082_54f43d9694029_54f43d8eb682b_1.%C3%BCnite-yanma-ve-yang%C4%B1n-kavramlar%C4%B1.pdf [Ziyaret Tarihi: 20 Mayıs 2017].

Vermeersch G., 2000, Development of a Biodiesel Activity, 3. International Congress and Expo Lipids, Fats, and Oils.

Vural E., 2009, Küçük hacimli direk püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 1-50.

Wallner T., Miers S. A. ve McConnell S., 2009, A comprasion of ethanol and butanol as oxygenates using a direct-injection, spark-ignition engine, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 131 (3): 129-139.

Yao M., Wang H., Zheng Z. ve Yue Y., 2010, Experimental Study of n-Butanol Additive and Multi-Injection on HD Diesel Engine Performance and Emissions, Fuel, 2191-2201.

Yilmaz N., Vigil F. M., Benalil K., Davis S. M. ve Calva A., 2014, Effect of biodiesel–butanol fuel blends on emissions and performance characteristics of a diesel engine, Fuel 135, 46–50.

Yücel H.L., 2008, Pamuk Yağının Alternatif Dizel Yakıtı Olarak Kullanılması, Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 20 (1), 185-192.

Zhang Y., 2002, Design and Economic Assesment of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil, Ottowa, Canada.

Zhang Z. ve Balasubramanian R., 2014, Influence of butanol addition to diesel–biodiesel blend on engine performance and particulate emissions of a stationary diesel engine, Applied Energy Volume 119, Pages 530–536.

Zhang Z., 2001, Genetic diversity and classification of safflower (Charthamus tinctorius l.) germplasm by isozyme techniques, Vth International Safflower Conference, Williston, North Dakota, Sidney, Montana, USA, 157-162.

Zhu Y., Chen Z. ve Liu J., 2014, Emission, efficiency, and influence in a diesel n-butanol dual-injection engine, Energy Conversion and Management 87, 385–391.

Zöldy M., Hollo A. ve Thernesz A., 2010, Butanol as a Diesel Extender Option for Internal Combustion Engines, SAE International, 1-8.

9. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	Yahya ÇELEBİ
Doğum Yeri ve Tarihi	Batman / 1991
E-mail	yyahyacelebi@gmail.com besalix@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	Yahya Kemal Beyatlı Lisesi / Merkez – Batman	2009
Üniversite	Batman Üniversitesi / Merkez – Batman	2015
Yüksek Lisans	Batman Üniversitesi / Merkez – Batman	2017

YABANCI DİLLER

İngilizce (Orta**), İspanyolca (**Temel**)**