

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİZEL-BİYODİZEL-İZOBÜTANOL ÜÇLÜ KARIŞIMLARI
KULLANILAN BİR DİZEL MOTORDA PERFORMANS VE
YANMA KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ

YUNUS EMRE ÖZTÜRK

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİZEL-BİYODİZEL-İZOBÜTANOL ÜÇLÜ KARIŞIMLARI
KULLANILAN BİR DİZEL MOTORDA PERFORMANS VE
YANMA KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ

YUNUS EMRE ÖZTÜRK

Doç.Dr. Ali TÜRKCAN
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Prof.Dr. Cenk SAYIN
Jüri Üyesi, Marmara Üniv.

.....

Prof.Dr. Ahmet Necati ÖZSEZEN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 18.01.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....
(İmza)

Yunus Emre ÖZTÜRK
(Öğrencinin Adı Soyadı)

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- ☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....
(İmza)

Yunus Emre ÖZTÜRK
(Öğrencinin Adı Soyadı)

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Taşıtların üretimine başlandığı ilk günlerden itibaren, içten yanmalı motorlar kullanılmaktadır. Bunun sonucunda kullanılmaya başlandığı andan itibaren atmosfere zararlı gazlar salarak, çevre ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri azaltabilmek adına yapılan anlaşmalar gereği motor üreticilerine yüksek emisyon standartları getirilmiştir. Getirilen şartların sağlanabilmesi için motorlar üzerinde yeni teknolojiler ve alternatif yakıtlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Motor performansı, motor test sistemleri, yakıt, alternatif yakıtlar, özel karışımlar, yanma, emisyon ile ilgili araştırmalar ve deneysel çalışmalar bu bağlamda çok önemlidir. Gerçekleştirilen deneyler ve çalışmalar sonunda ölçülen parametreler ve verilerin güvenilirliği, ortaya konan araştırmanın sonuçlarının yorumlanmasında en önemli etkeni oluşturmaktadır. Deneyler sırasında toplanan verilerin yüksek örnekleme oranlarına sahip olması test sonuçlarının güvenilirliğini arttırmaktadır. Bununla birlikte yapılan yanma analizleri, motor performansı ve kullanılan yakıtların, yanma karakteristikleri hakkında bilgi vermekte ve motor performansını belirleyen parametreler arasındaki ilişkileri açıklamaya yardımcı olmaktadır.

Bu konuda çalışma imkanı veren, çalışmanın ortaya çıkmasında fikirleri ile yol gösteren, ve her zaman bana destek olan kıymetli saygıdeğer danışman hocam Doç.Dr. Ali TÜRKCAN'a, tezimin tüm aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve beni bir arkadaşı olarak kabul eden değerli hocam Arş.Gör. Mustafa Deniz ALTINKURT'a, ve hayatımın son 10 yılında yanımda bulunan, en büyük destek kaynağım değerli eşim Müh. Ceren ÖZTÜRK'e sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Ocak - 2022

Yunus Emre ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
4. MATERYAL VE METOT	14
4.1. Test Motorun Teknik Özellikleri.....	14
4.2. Motor Test Sistemi	15
4.3. Kullanılan Yakıtların Özellikleri.....	22
4.4. Testlerde Kullanılan Hesaplamalar	23
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
5.1. Performans Karakteristikleri	25
5.2. Yanma Karakteristikleri	28
5.3. Emisyon Karakteristikleri.....	33
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	37
KAYNAKLAR.....	39
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER.....	43
ÖZGEÇMİŞ.....	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Petrol ürünlerinin ülkemizde yıllara göre tüketimi.....	4
Şekil 4.1.	Motor test sistemi şeması.....	15
Şekil 4.2.	Test motoru.....	16
Şekil 4.3.	Hidrolik dinamotre.....	16
Şekil 4.4.	Dinamotre kontrol ünitesi	17
Şekil 4.5.	Hassas terazi ve yakıt eşanjörü	17
Şekil 4.6.	Egzoz emisyon ölçüm cihazı	18
Şekil 4.7.	Hava debisi ölçüm cihazı.....	19
Şekil 4.8.	Yanma ölçüm sistemi	20
Şekil 4.9.	Açısal enkoder	20
Şekil 4.10.	Silindir basınç sensörü.....	21
Şekil 4.11.	Akım probu	21
Şekil 4.12.	Test yakıtları	22
Şekil 5.1.	Özgül yakıt tüketiminin motor yüküne bağlı değişimi	26
Şekil 5.2.	Fren termik verimin motor yüküne bağlı değişimi	28
Şekil 5.3.	Silindir gaz basıncı & Isı dağılım oranının krank açısına bağlı değişimi.....	29
Şekil 5.4.	Yanma başlangıcını motor yüküne bağlı değişimi	30
Şekil 5.5.	Tutuşma geçikmesinin motor yüküne bağlı değişimi	31
Şekil 5.6.	P_{maks} 'ın motor yüküne bağlı değişimi.....	32
Şekil 5.7.	Maksimum basınç artış oranının motor yüküne bağlı değişimi	32
Şekil 5.8.	THC emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi	34
Şekil 5.9.	CO emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.....	35
Şekil 5.10.	NO _x emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi	36

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Yakıt türüne göre otomobil istatistikleri.....	3
Tablo 4.1. Motorun teknik özellikleri	14
Tablo 4.2. Hidrolik dinamometre teknik özellikleri	15
Tablo 4.3. FTIR emisyon cihazı teknik özellikleri	18
Tablo 4.4. Basınç sensörü teknik özellikleri	21
Tablo 4.5. Test yakıtlarının özellikleri.....	22
Tablo 5.1. Toplam yanma süresi değerleri (120 ve 160 Nm)	30



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

b_e	: Özgöl yakıt tüketimi (g/kWh)
CA10	: Yanmış yakıt kesrinin %10'a geldiği krank açısı konumu (°KA)
CA50	: Yanmış yakıt kesrinin %50'ye geldiği krank açısı konumu (°KA)
m_y	: Kütlesel yakıt tüketim miktarı (g/s)
n	: Motor devri (d/d)
η_t	: Termik verim (%)
P	: Silindir gaz basıncı (bar)
P_e	: Efektif güç (kW)
P_{maks}	: Maksimum Silindir Gaz Basıncı (MPa)
Q	: Toplam ısı dağılım oranı (kJ)
$\dot{Q}_n$	: Net ısı dağılım oranı (kJ)
T	: Ortam sıcaklığı (K)
V	: Hacim (cm ³)
λ	: Hava fazlalık katsayısı

Kısaltmalar

AID	: Alt Isıl Değer
B20	: %20 Biyodizel + %80 Dizel
B100	: Biyodizel
BSFC	: Brake Specific Fuel Consumption (Fren Özgöl Yakıt Tüketimi)
BTE	: Brake Thermal Efficiency (Fren Isıl Verimliliği)
CRDI	: Common Rail Direkt Enjeksiyon (Ortay-Ray Direkt Enjeksiyon)
D100	: Dizel
DF	: Diesel Fuel (Dizel Yakıtı)
EGR	: Egzoz Gazı Devirdaim
ID	: Tutuşma Geçikmesi
I15	: %15 İzobütanol + %85 Dizel
I15B20	: %15 İzobütanol + %20 Biyodizel + %65 Dizel
I25B20	: %25 İzobütanol + %20 Biyodizel + %55 Dizel
I35B20	: %35 İzobütanol + %20 Biyodizel + %45 Dizel
ÖYP	: Özgöl Yakıt Tüketimi

DİZEL-BİYODİZEL-İZOBÜTANOL ÜÇLÜ KARIŞIMLARI KULLANILAN BİR DİZEL MOTORDA PERFORMANS VE YANMA KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Birçok kaynaktan üretilebilir olmasından ve emisyon salınımının azaltılmasına yardımcı olduğundan dolayı biyodizel ve alkol gibi yakıtlar geniş kullanım alanına sahiptir. Bu araştırmada, dizel-biyodizel karışımlarına farklı miktarda izobütanol eklendiğinde meydana gelebilecek yanma, performans, emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Common rail enjeksiyonlu dört silindirli dizel motoru sabit devir (1800 d/d) ve farklı (40,80,120 ve 160 Nm) motor yüklerinde test edilmiştir. Saf dizel de dahil olmak üzere altı farklı kütleli yakıt karışımı kullanılmıştır. Sırasıyla %20 ve %15 oranlarındaki biyodizel ve izobütanol dizel ile karıştırılarak (B20 ve I15) test edilmiş ve artan izobütanol oranlarıyla elde edilen I15B20, I25B20, I35B20 üçlü karışımlar dizel ile kıyaslanmıştır. Düşük-orta yüklerde, biyodizel ve izobütanol eklenen karışımların özgül yakıt tüketiminde artış görülürken yüksek yüklerde is bu fark azalmıştır. Özgül yakıt tüketimi bakımından I15B20 ve I15 yakıtlarının 160 Nm yükteyken dizele benzer değerler verdiği gözlemlenmiştir. Fren termik verimi ve P_{maks} değerleri üçlü karışımlar kullanılırken yüksek yüklerde arttığı tespit edilmiştir. Karışımların tutuşma gecikmesi değerlerinin dizel göre arttığı belirlenmiştir. 160 Nm test koşullarında, karışımdaki izobütanol oranının artmasıyla maksimum basınç artış oranı artmıştır. Orta ve yüksek yüklerde, tüm yakıt karışımlarında NO_x emisyonları dizele kıyasla artarken I35B20 kullanımı ile NO_x emisyonlarının azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Dizel, Emisyon, İzobütanol, Performans.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PERFORMANCE AND COMBUSTION CHARACTERISTICS ON A DIESEL ENGINE USING DIESEL-BIODIESEL-ISOBUTANOL TERNARY BLENDS

ABSTRACT

Fuels such as biodiesel and alcohol are widely used because they can be produced from many sources and help reduce emissions. In this study, combustion, the performance and emission characteristics that can occur when different amounts of isobutanol are added to diesel-biodiesel mixtures were investigated. The four-cylinder diesel engine with common rail injection has been tested at constant speed (1800 rpm) and different (40,80,120 and 160 Nm) engine loads. Six different massively fuel mixtures were used, including pure diesel. Biodiesel and isobutanol were mixed with diesel at 20% and 15% respectively (B20 and I15) and tested, then I15B20, I25B20 and I35B20 ternary mixtures obtained with increasing isobutanol ratios were tested and compared with diesel. It was observed that an increase in specific fuel consumption of the biodiesel and isobutanol mixtures at low-medium loads while this difference is reduced at high loads. In terms of specific fuel consumption, it has been observed that I15B20 and I15 fuels give similar values to diesel at 160 Nm load. It has been observed that the brake thermal efficiency and P_{max} values increase at high loads when using ternary mixtures. It was determined that ignition delay of the test blends increased as compared with diesel. Maximum pressure rise rate increased with increase in isobutanol fraction in the blends. At medium and high load test conditions, NO_x emissions of the all test blends increased as compared to diesel, while NO_x emissions reduced with the usage of I35B20 ternary blends.

Keywords: Biodiesel, Diesel, Emission, Isobutanol, Performance.

1. GİRİŞ

Elektronik kontrollü common rail dizel motorlar yüksek tork, yüksek motor gücü, daha düşük gürültü, düşük yakıt tüketimi ve düşük Azot Oksit (NO_x) emisyonları bakımından binek ve ticari araçlarda kullanımı ciddi oranda yaygınlaşmıştır. Günümüzde küresel sera gazı emisyonlarını azaltmak için birçok bilimsel çalışmalar yapılmakta ve ülkeler yapmış oldukları anlaşmalarla birlikte emisyonlara yasal sınırlamalar getirilmiştir. Bu nedenle özellikle araç üreticileri emisyon değerlerini düşürmek ve emisyon regülasyonlarına EURO IV, V ve VI vb. gibi uymak zorunda kalmışlardır (Williams ve diğ., 2016). Üreticiler ve bilim adamları bu limitlere uyum sağlamayabilmek için yeni yanma teknolojilerinin geliştirilmesi ve alternatif yakıtların kullanılması üzerine araştırma ve geliştirme çalışmaları yapmaktadırlar. Dünya çapındaki araç sayısının artışı, yaklaşık olarak son iki senedir devam eden pandemi ile birlikte tüketimlerin artması ve buna bağlı olarakta taşımacılık faaliyetlerinin artmasıyla birlikte egzoz emisyonlarının daha da artıyor olması bu alanda yapılan araştırma ve çalışmaların kıymetini arttırmaktadır.

Yapılan tez çalışmasında, alternatif yakıt karışımlarının emisyon değerleri üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada direkt enjeksiyonlu common rail dizel motoru kullanılmış olup farklı oranlarda hazırlanan alkol-biodizel-izobütanol üçlü karışımlarının yanma, emisyon ve performans üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

Yapılan tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm giriş kısmından oluşmaktadır.

İkinci bölümde, genel bilgilendirme amaçlı olup, motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyon gazlarının çevre ve insan sağlığına tüm etkileri, ülkemizde ve dünyadaki biyodizel, izobütanol ve alkol üretim oranlarıyla ilgili genel bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, biyodizel, izobütanol ve alkoller kullanılarak oluşturulan yakıtlar ile birlikte motor performansı ve emisyon karakteristikleri üzerine yapılan literatür çalışmaları incelenmiştir.

Dördüncü bölümde testler sırasında kullanılan materyal ve metotlar açıklanarak, deneysel çalışmada kullanılan yakıt ve motor özellikleriyle birlikte, deneysel çalışma kapsamında hesaplanan parametreler sunulmuştur.

Beşinci bölümde ise deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Altıncı bölümde, çalışmanın sonucunda elde edilen sonuçlar özetlenerek öneriler sunulmuştur.

Bu çalışmanın amacı; farklı oranlarda hazırlanmış dizel, biyodizel ve izobütanol katkılı yakıt karışımlarının direkt ve kademeli enjeksiyon özelliğine sahip elektronik kontrollü common rail bir dizel motorun yanma, performans, emisyon karakteristikleri üzerindeki etkileri incelenmesi ve çevre kirliliğinin farklı alternatif yakıtlar kullanılarak azaltılabileceğine ışık tutmaktır.



2. GENEL BİLGİLER

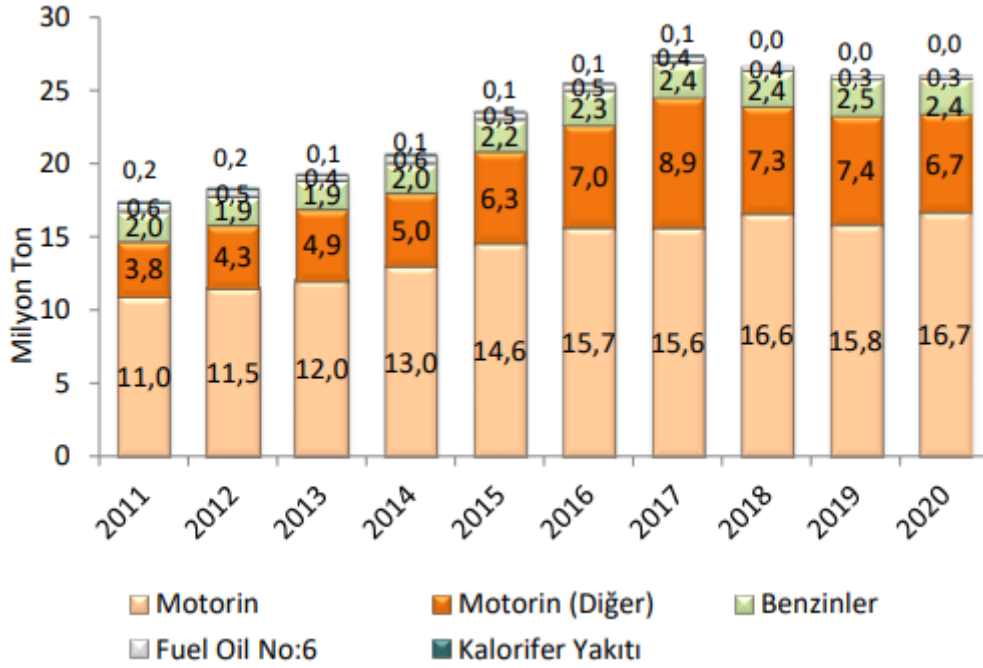
Petrolde elde edilen ürünler (yakıtlar) hayatın birçok alanında kullanılmakla birlikte, çoğunlukla taşımacılık sektöründe çok ciddi bir konuma sahiptir. Türkiye’de motorin, benzin, LPG ve elektrikli araçlara göre daha fazla kullanılmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu’nun yayınladığı araştırmaya istinaden; 2004 yılından Kasım 2021 yılına kadar dizel otomobil sayısı yaklaşık olarak 20 katına çıkarak benzinli araç sayısından %49 daha fazladır. Tablo 2.1’de görüleceği üzere, 2021 yılı verileri incelendiğinde, Türkiye’de trafiğe kayıtlı ve ulaşım sektöründe kullanılan otomobillerin %24,4’ü benzinli, %37,7’si dizel ve %36’sında sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) bulunan araçlardan oluşturmaktadır.

Tablo 2.1. Yakıt şekline göre otomobil istatistikleri

Yıl	Toplam	Benzin	(%)	Dizel	(%)	LPG	(%)
2011	8 113 111	3 036 129	37,4	1 756 034	21,6	3 259 288	40,2
2012	8 648 875	2 929 216	33,9	2 101 206	24,3	3 569 143	41,3
2013	9 283 923	2 888 610	31,1	2 497 209	26,9	3 852 336	41,5
2014	9 857 915	2 855 078	29,0	2 882 885	29,2	4 076 730	41,4
2015	10 589 337	2 927 720	27,6	3 345 951	31,6	4 272 044	40,3
2016	11 317 998	3 031 744	26,8	3 803 772	33,6	4 439 631	39,2
2017	12 035 978	3 120 407	25,9	4 256 305	35,4	4 616 842	38,4
2018	12 398 190	3 089 626	24,9	4 568 665	36,8	4 695 717	37,9
2019	12 503 049	3 020 017	24,2	4 769 714	38,1	4 661 707	37,3
2020	13 099 041	3 201 894	24,4	5 014 356	38,3	4 810 018	36,7
2021	13 634 249	3 461 663	25,4	5 143 268	37,7	4 908 948	36,0

Petrol Sanayi Derneği (PETDER) tarafından hazırlanan 2020 Sektör Raporu’nda yer alan petrol ürünleri tüketim değişimi grafiği Şekil 2.1’de yer almaktadır. Şekli incelediğimizde motorlu taşıtların sayısı her geçen gün artmasıyla birlikte petrol ürünleri tüketiminde artış yaşandığı görülmektedir. Bu sebeple hava kirliliği, çevre sağlığını olumsuz yönde etkilemeye devam etmektedir. Petrol bazlı yakıtlarda yanma sonrası açığa egzoz emisyon gazları çıkmaktadır. Bu gazlar karbonmoksit (CO), hidrokarbon (HC), azotoksit (NO_x) ve diğer partiküllerdir. Bu gazlar atmosferi kirletmekte, çevre kirliliğini arttırmakta ve sorunların daha da büyümesine neden olmaktadır. Çevre kirliliğinin yanında insan sağlığında tehdit etmekte ve bu tehdit her geçen gün büyümektedir. Tüm bunlar haricinde bu gazlar sera etkisine olumsuz etki etmektedir. Sera gazlarının artması yeryüzünün çok fazla ısınmasına ve dolayısıyla küresel ısınmanın artmasına neden olmaktadır. Sera

gazlarının bir kısmı CO₂ gazından oluşturmaktadır. Petrol bazlı yakıt kullanımından dolayı ortaya çıkan CO₂ gazı, engellenmesi pek mümkün değildir. Global anlamda oluşan ve şiddetle oluşmaya devam eden çevre kirlilikleri, araştırmacıları yenilenebilir ve çevreci yakıtlar üzerine araştırmaya yönlendirmiştir. Yeşil enerji türleri olarak bilinen enerji kaynakları, çevre dostu ve geleceğimizin enerji kaynakları olarak adlandırılır.



Şekil 2.1. Petrol ürünlerinin yıllara göre tüketiminin değişimi

Günümüzde dikkatleri üzerine çeken, birçok araştırma ve sektörde kullanılan alternatif yakıtlar biyodizel ve alkollerdir. Bu alternatif yakıtların dünyada üretimi hızla artmaktadır. Tükenmekte olan fosil yakıtlara alkol ve biyodizel gibi yakıtlar alternatif olma yolunda hızla ilerlemektedirler. Bu yakıtlar temiz yanma özellikleri sayesinde de çevre kirliliğini azaltıcı etkileri bulunmaktadır.

Alkoller mısır, şeker kamışı, pirinç samanı gibi tarımsal atıklar ve odun hamuru, kağıt fabrikası atıkları vb. gibi orman biyokütlesi ürünleri içeren lignoselülozik materyallerden oksijensiz fermantasyon sonucu elde edilir (Kumar ve diğ., 2016). Etanol ve metanolun düşük karbonlu alkoller ve oksijen içeriğinin yüksek oluşu nedeniyle dizel motorlarda emisyon gazlarını düşürme potansiyeli bulunmaktadır (Özsezen ve diğ., 2011). Bu alkollerin düşük ısı değeri, düşük setan sayısı, motorin içerisinde homojen dağılım

gösterememe ve kötü yağlayıcılık nedeniyle dizel motorda kullanımı problemlere neden olmaktadır (Karabektaş ve Hoşöz, 2009). Yüksek karbonlu alkoller (dört ve dörtten fazla karbon bulunduran), yüksek karışım imkânı, yüksek enerji, daha az su tutma özelliği ve setan sayısının fazla olan dizel motorlarda son yıllarda kullanımı bakımından tercih edilme nedeni olmuştur. Yüksek karbonlu alkoller, geçmiş dönemlerde üretim maliyetinin yüksek ve limitli üretim potansiyeli olması nedeniyle tercih önceliği yapılmazken, günümüzde iyileştirilmiş üretim prosesi ve teknikler geliştiren farklı biyoteknoloji firmaları ve araştırma grupları sayesinde üretim miktarları artırılmış ve izobütanol gibi karbon sayısı yüksek alkollerin tercih edilmesine olanak sağlanmıştır (Higashide ve diğ., 2011), (Formighieri, 2015).

İzobütanol formülü $C_4H_{10}O$ veya $(CH_3)_2CHCH_2OH$ 'dır. İzobutil alkol ya da 2 - metilpropan-1 olarak da adlandırılır. İzobütanol, vernik ve boya sanayisinde, gıda sektöründe lezzetlendirme amaçlı ve mürekkep üretiminde kullanılır. İzobütanol, otomotiv sektöründe kullanılan boyalar ve cilaların üretimi yanında karbüratör sistemindeki buzlanmayı azaltmak için kullanılan benzinin katkısında da kullanılır. İzobütanol, egzoz emisyonları ve dizel motor performansı bakımından yoğun bir şekilde çalışılmamıştır. Bunun nedeni izobütanolün daha yüksek üretim maliyeti, gıda endüstrisinde kimyasal bileşik olarak kullanılması ve petrol dışı kaynaklardan sınırlı üretimi gibi bazı özelliklerine bağlanabilir (Shamun, 2018). Ayrıca, dizel yakıt ile etanol karışımlarının stabilitesini sağlamak için yakıt katkı maddesi olarak araştırmalarda kullanılmıştır (Yeşilyurt ve diğ., 2020).

Biyodizel ise bitkisel veya hayvansal yağlardan üretilmektedir. Üretimi dünyada ve Türkiye'de hızla artmakta olan ve gün geçtikçe değerli bir hale gelen temiz yakıt türüdür. Biyodizel hayvansal ve bitkisel yağlardan üretilebildiği için sürdürülebilir yakıt olması özelliğiyle dikkat çekmektedir. Ayrıca yapısındaki yağcılık özellikli, oksijen içeriği ve çözücü olması nedeniyle, çevre kirliliğine neden olan emisyonların azaltılmasına ve yakıtlarla iyi karışabilir olması ve karışımlarda faz ayrışmasını engelleyerek yakıt karışımlarının homojen kalmasını sağlar ve sonuç olarak yakıt sisteminin korunmasına katkıda bulunur (Ogunkunle ve diğ., 2019), (Song ve diğ., 2019) ve (Saravanan ve diğ., 2017). Bununla birlikte, dizel motorlarda sistem üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir.

Avrupa Birliği (AB) ÷lkerinde biyodizel, önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. 1992 yılından günümüze kadar biyodizel endüstrisi varlığını sürdürmektedir. Global iklim değışikliği hedeflerine yönelik çalışmalar ve yasalar arttıkça buna bağlı olarak Avrupa'da biyodizel endüstrisi daha da büyümektedir. Avrupa Birliği ÷lkeleri, ulaşımda biyodizel üretimi ve ulaşım/taşımada biyodizel kullanımı bakımından dünya lideridir. Avrupa Biyodizel Kurulu (European Biodiesel Board-EBB) verilerine göre AB genelinde 200'e yakın tesis faaliyette ve yılda yaklaşık 13 milyon ton biyodizel üretmektedir. Avrupa Birliği ÷lkeleri içerisinde toplam tüketimler dikkate alındığında üçte ikisini oluşturan ÷lker Fransa, Almanya, İspanya, İsveç ve İtalya'dır. Biyodizel pazarı her ne kadar diğer pazarlara göre daha küçük olsa da büyümeye devam etmektedir. Avrupa'nın yeşil dizel üretimi, AB'nin yıllık 17 milyon tonu aşan dizel açığını azaltmaya yardımcı olurken ayrıca biyodizel endüstrisi sayesinde, sürdürülebilir istihdam kaynağı sağlayarak Avrupa biyoekonomisinin temel direğini de oluşturmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (International Energy Agency - iea) 2020 yılı verileri incelendiğinde Amerika'da yaklaşık olarak 6,8 milyar litre biyodizel üretimi gerçekteleşmiştir.

Her iki yakıtın gelecekte kullanım ve üretimlerinin artması sonucu petrol ürünlerinin tüketimin düşürölmesine neden olup, ekonomik açıdan da verim elde edilmesini sağlayacaktır.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Motorin yakıtların diğer seçenekleri olan biyodizel ve n-bütonal ile ilgili çalışmalar son yıllarda artmış ve önem kazanarak devam etmektedir. Çevresel kirliliğin azaltılması amacıyla alınmış olan önlemler dahilinde, daha düşük egzoz emisyon değerleri sunan alternatif yakıtların kullanılması gelecek için önemlidir. Son dönemde özellikle ülkemizde sürekli fiyat artışı gösteren petrol ürünleri yerine, diğer yakıtlara yönelilmesinin nedenleri arasında yer almaktadır. Bu kısımda, biyodizel, alkoller ve farklı katalizör kullanılarak elde edilen karışımlar ve etkileri üzerine literatürde yapılan çalışmalarla birlikte biyodizel, motorin ve alkollerin dizel motorlarda kullanımı sonucu egzoz emisyon karakteristikleri, yanma ve motor performansı bakımından incelenmesi üzerine gerçekleştirilen çalışmalara yer verilmiştir.

Karabektaş ve Hoşöz (2009), bu çalışmada, izobütanol-dizel yakıt karışımlarının dizel motor için alternatif bir yakıt olarak uygunluğunu araştırmak ve deneysel olarak motor performansı ve egzoz emisyonları, fren özgül yakıt tüketimi (BSFC), fren ısı verimliliği (BTE) ve CO, HC ve NO_x emisyonları üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Hacimsel bazında %5, %10, %15 ve %20 izobütanol içeren dört farklı izobütanol-dizel yakıt karışımı hazırlanmışlar ve dört zamanlı direkt enjeksiyonlu dizel motorunda tam yük koşullarında 1200 ile 2800 d/d'de arasındaki hızlarda 200 d/d aralıklarla bu karışımları test etmişlerdir. Karışımlarla elde edilen sonuçlar, dizel yakıt sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Test sonuçları göre, %10'a kadar izobütanol içeren karışımlarda fren gücünün hafifçe azaldığını ve %15 ve %20 izobütanol içeren karışımlarda önemli ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir. Karışımlardaki izobütanol içeriğiyle orantılı olarak fren özgül yakıt tüketiminde bir artış olduğu görülmüştür. Dizel yakıt en yüksek fren ısı verimliliği vermesine rağmen, %10 izobütanol içeren karışım, yüksek motor devirlerinde fren ısı verimliliğinde hafif bir iyileşme ile karşılaşılmıştır. Deneysel çalışma sonuçları, dizel yakıtla kıyasla karışımların kullanımı ile CO ve NO_x emisyonlarının azaldığını ve HC emisyonlarının ise arttığını göstermektedir.

He ve diğ. (2019), bu çalışmada dört bütanol izomerini (n-bütanol/dizel, s-bütanol/dizel, i-bütanol/dizel ve t-bütanol/dizel) hacimsel oranda %25 dizel ile karıştırarak bir yakıt karışımı hazırlamışlardır. Dört silindirli, 5,3 litre ve direkt enjeksiyonlu common rail dizel bir motorda, 1500 d/d motor devrinde farklı egzoz gazı geribesleme (EGR)

oranlarında testi gerçekleştirmişler. Dört bütanol izomer/dizel karışımının farklı EGR oranlarında t-bütanolün diğer bütanol izomerlerinden her zaman en yüksek emisyon partiküllerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Hoseini ve arkadaşları (2017) dizel motorların emisyonlarını azaltmak için önerilen stratejilerden yola çıkarak yapmış oldukları araştırma sonucu yakıt olarak izobütanol-dizel-biyodizel / etanol-dizel-biyodizel gibi üçlü karışımların emisyon değerlerinin düşürülmesi için en verimli karışım olduğunu tespit etmişlerdir. Tüm bunlardan dolayı, üçlü yakıt karışımlarına son yıllarda ilgi artmıştır.

Sastry vd. (2015) izobütanol veya etanol-dizel-biyodizel üçlü karışımlarını direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda deneysel olarak incelemişlerdir. İzobütanol ve etanol, dizel-biyodizel karışımlarına hacimsel oranda %5-10 olarak ilave edildiği ve farklı enjeksiyon basınçlarında (200, 225, 250 ve 275 bar) motorun performans ve emisyon özellikleri üzerindeki etkisinin incelendiği görülmüştür. Çalışmanın sonuçlarına göre kullanılan yakıt karışımları sayesinde yüksek termik verim elde edilmiş ve izobütanol katkısı kullanımıyla CO emisyonlarının azaldığını görmüştür. Bununla birlikte, bazı karışımlarda Azot Oksit (NO_x) emisyonları marjinal olarak azalmaktadır.

Ahmed vd. (2019) %40 biyodizel – dizel karışımına, %5 ve %10 izobütanol katkısını ekleyerek, karışımın motor performansına etkisini araştırmışlardır. Motor devri 2500 d/d'de sabitlenmiştir. %5 izobütanol ilaveli karışımında, dizele yakın motor gücü elde edildiği tespit edilmiştir. İzo-bütanol katkı maddesinin %10'a yükseltilmesi, fren özgül yakıt tüketiminin ve daha yüksek değerin elde edildiği fren ısı veriminin artmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir.

Türkcan (2018) yüksek miktarda biyoetanolün yakıt karışımlarına eklenmesiyle yanma, performans ve emisyon gazlarına etkilerini dört silindirli, direkt enjeksiyonlu ve 1,9 litre dizel bir motorda incelemiştir. Üçlü karışımlarda biyoetanol oranları kütle bazda %25 ve %35 iken biyodizel konsantrasyonu kütle bazda %20 oranında sabit tutularak üçlü karışımlar oluşturulmuştur. Test koşulları düşük yük için 40 Nm, orta yük için 80 ve 120 Nm, yüksek yük için 160 Nm olarak belirlenmiş ve motor devri 2000 d/d'de sabitlenmiştir. Orta ve yüksek yüklerde %35 biyoetanol oranına sahip yakıt karışımının, yüksek termik verim sunduğu gözlemlenmiştir. Motor yükünün yükseltilmesiyle ortaya

ıkan NO_x ve is emisyonlarının azaltılması için karışıma yüksek biyoetanol eklenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Öte yandan tüm test koşulları için l karışımlarda artan biyoetanol içeriği ile CO emisyonları artmıştır. Ayrıca termal verimlilikten ödün vermeden dizel motorunun partikül madde ve dizel gürültüsünün aynı anda azaltılması için kullanılabileceği de tespit edilmiştir.

Shamun ve diğ. (2018) l karışımları (dizel-biyodizel-etanol) geniş yük aralığında tek silindirli dizel motordaki verim ve emisyonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yüksek yüklerde etanol oranının fazla olduğu karışımlarda net indike verimin arttığı, düşük yüklerde ise HC ve CO emisyon gazlarının oranının yükseldiği grlmştir.

Emiroğlu ve şen (2018) bu çalışmada, petrol bazlı dizel yakıtına (DF) biyodizel ve çeşitli alkol ilavelerini farklı motor yüklerinde tek silindirli bir dizel motorun yanması, performansı ve emisyonları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Dizel ile %20 biyodizel ve %10 oranında karıştırılan bütanol, etanol ve metanol ile birlikte l karışımların etkileri üzerinde çalışmışlardır. Biyodizel ve alkol karışımlarının düşük setan sayıları nedeniyle tutuşma gecikmesinin (ID) DF'den daha uzun olduğunu gözlemlemişler. İkili karışıma (biyodizel-dizel) kıyasla, l karışımların daha yüksek ısı dağılım oranı ve maksimum silindir gaz basıncına (P_{maks}) sahip olduğunu görmüşlerdir. %20 biyodizel ve alkol karışımları, duman ve karbon monoksit (CO) emisyonlarını azaltırken, nitrojen oksit (NO_x) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarında düşük oranda bir artışa neden olduğu grlmştir. Alkollerin eklenmesiyle, alkollerin yüksek oksijen içeriği ve düşük C/H'si nedeniyle tüm motor yüklerinde NO_x emisyonlarında önemli bir azalma elde etmişlerdir.

Yang vd. (2016) yaptıkları çalışmada bir dizel motorda, dizel-biyodizel-izobütanol karışımlarında farklı biyodizel oranlarının, motor rölanti devrindeyken oluşan yanma sonucu emisyonlara etkilerini incelemişlerdir. Dizel, biyodizel (%40 hacimsel bazda) ve izobutanol (%10 hacimsel bazda) bileşenlerinin çeşitli karışımları kullanılarak yanma emisyonları açısından standart dizel yakıtı ile karışılaştırmışlardır. Dizele sadece izobütanol ilavesi durumunda CO, NO_x ve partikül madde (PM) emisyonlarının l karışımlarından yüksek elde edildiğini görmüşlerdir. Karışımlı hazırlanan yakıtlar çevreyi kirleten emisyonlara fayda sağlarken diğer taraftan yüksek biyodizel yüzdesi kullanımı ile fren özgül yakıt tüketiminde önemli bir artış gözlemlemişlerdir.

Yılmaz ve diğ. (2014) bütanol-biyodizel ile hazırlamış oldukları yakıt karışımlarını, 4 zamanlı, doğal emişli, 2 silindirli bir dizel motorunda test ederek motor performans ve egzoz gazları üzerindeki değişimleri incelemişlerdir. Tüm motor yüklerinde biyodizel, standart dizel (D100) ve saf biyodizel (B100) ile karıştırılmış bütanolün yakıt karışımları kullanılmıştır. Biyodizel-bütanol karışımları hacimsel bazda %5, %10 ve %20 bütanol olarak hazırlanmıştır. Bütanol yakıt karışımlarının kullanılmasıyla birlikte daha yüksek karbon monoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbon (HC) emisyon gazları, daha az egzoz gazı sıcaklıkları ve nitrojen oksit (NO_x) emisyonları gözlemlenmiştir. Bütanol karışimli yakıtlar ise düşük karışım oranlarında bütanol (%5 ve %10) için dizel yakıtı göre daha düşük CO ve daha yüksek NO_x emisyonları sonuçlarını elde etmişlerdir. Ancak HC emisyonları açısından farklılık gözlemlenmemiştir. %20 bütanol içeren biyodizel karışımın ise dizele göre daha fazla CO ve HC emisyonlarına ve daha düşük NO_x emisyonuna olanak sağladığı ve biyodizel ve biyodizel karışimli yakıtlarda fren özgül yakıt tüketiminin dizele göre arttığını tespit etmişler.

Di ve arkadaşları (2019) direkt enjeksiyonlu, dört silindirli ve 4,3 litre hacimli dizel bir motorunda etanol-dizel ve biyodizel-dizel yakıt karışımlarının etkisini deneysel bir çalışma ile egzoz emisyon değerlerindeki değişimi gözlemlenmiştir. Deneyler, maksimum motor torkuna ulaşıldığı devir olan 1800 d.d ve 5 farklı yükte yapılmıştır. Etanolün oksijen yüzdesi biyodizele göre daha yüksek olması nedeniyle, oksijen yüzdelarını eşit yapabilmek adına, karışımlarda biyodizel oranı fazla kullanılmıştır. Testler sırasında tüm yakıt karışımları için motor yükünün artması sonucu efektif verimde artmıştır. Karışım içerisindeki etanol ve biyodizel miktarı arttıkça, özgül yakıt tüketimi ve efektif verim motorine göre daha yüksek bir değerde olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada egzoz emisyonları sonuçlarına bakıldığında, motor yükünün artması sonucu HC ve CO emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Aynı şekilde, karışımların içerisindeki biyodizel oranında artış oldukça HC ve CO emisyon gazlarında ciddi oranda azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca karışım içindeki etanol miktarı arttırıldıkça, HC ve CO emisyon değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Karışımlar içindeki biyodizel ve etanol oranları artması sonrası saf dizele oranla NO_x emisyonlarında artış oluşmuştur.

Zhu ve arkadaşları (2010) dört silindirli, direkt enjeksiyonlu ve doğal emişli bir dizel motorda biyodizel ve etanol ile hazırladıkları yakıt karışımı kullanmış ve egzoz

emisyollarındaki değişimi incelemişlerdir. Yakıt karışımlarında saf biyodizel içerisine %5, %10 ve %15 oranlarında etanol eklenmiştir. Karışımlar hacimsel oranda hazırlanmıştır. Maksimum motor torkunun elde edildiği devir olan 1800 d.d ve 5 farklı yükte (28 Nm, 70 Nm, 130 Nm, 190 Nm, 240 Nm) deneyler yapılmıştır. Testlerin sonuçları incelendiğinde, biyodizel-etanol karışımlarının kullanılması sonucu efektif verim ve özgül yakıt tüketiminde, dizele kıyasla artış olduğu grlmştir. Egzoz emisyonları bakımından incelendiğinde, motor yükünün artması sonucu HC ve CO emisyonlarının azaldığını gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, biyodizel kullanıldığında HC ve CO emisyon gazlarında ciddi bir düşüş tespit edilmiştir. Fakat, biyodizel-etanol karışımlarında etanol miktarı arttıça CO emisyonlarında artış olduğu grlmştir. Biyodizel karışımlı yakıtların dizel ile karşılaştırıldığında NO_x emisyonlarında artış gözlenmiştir. Biyodizel-etanol karışımlarında ise NO_x emisyonları dizele oranla azalmıştır.

Özsezen ve anakcı (2010) palmiye yağından elde ettikleri yakıtı n yanma odalı dizel motorda tam yükte test etmişlerdir. Biyodizeli hacimsel olarak (%5, %20, %50) dizel yakıt ile karışım hazırlayarak karşılaştırma yapmışlardır. Emisyon analizleri sonunda CO ve HC emisyon oranlarında azalma grlmştir. Fakat NO_x ve CO₂ emisyon karakteristiklerinde ise motor devrinden dolayı farklılıklar gözlemlenmiştir.

Alptekin (2017) dört silindirli, direkt enjeksiyonlu ve 1,9 litre dizel bir motorda standart dizel yakıtı, biyodizel karışımları ve solketal ve etanol gibi oksijenli yakıt katkı maddeleri kullanılarak üç farklı motor hızında (1500 d/d, 2000 d/d ve 2500 d/d) ve 100 Nm motor yükünde testleri gerçekleştirmiştir. Testler sırasında hazırlanan yakıtların detaylı ve karşılaştırmalı enjeksiyon, yanma ve emisyon analizleri yapmıştır. Biyodizel ve oksijenli yakıtlarla hazırlanan karışımların (%15 etanol %85 biyodizel ve %15 solketal-%85 biyodizel) fren özgül yakıt tüketiminin (BSFC) petrol dizel yakıtından daha yüksek olduğunu grlmştir. Biyodizele solketal ve etanol ilaveleri BSFC'yi arttırdığı gözlemlenmiştir. Tüm test yakıtları için maksimum silindir basınçlarının birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Emisyon sonuçlarına göre biyodizel dizel yakıtına göre daha yüksek NO_x ve CO₂ emisyonu ve daha düşük CO ve THC emisyonu ortaya çıktığını grlmştir. Ayrıca solketal ve etanol yakıt karışımlarının NO_x emisyonlarında artışa neden olduğu ve biyodizel ile karşılaştırıldığında ortalama olarak daha düşük CO₂, CO

ve THC emisyonları ortaya çıktığını gözlemlemiştir. Etanol-biyodizel ve solketal-biyodizel karışımlarının birbirine benzer sonuçlar verdiğinide tespit etmiştir.

Xia ve arkadaşları (2019), dört silindirli, common-rail bir dizel motorunda, bütanol izomerleri dizel yakıt yerine fosil yakıtların tüketimini azaltmak için yenilenebilir yakıtlar olarak kullanılmıştır ve karışım oranı bütanol izomerleri ile değiştirilen dizel miktarının gerçek dizel yakıt miktarına oranı olarak belirlenmiştir. Yanma ve emisyon karakteristikleri normal dizel, n-bütanol, izobütanol ve sec-bütanol kullanılmasıyla karşılaştırılmıştır. Motor hızı minimum 2250 rpm'e ve motor yükü sırasıyla %25, %50, %75 ve %100'e ayarlanmıştır. Deneysel sonuçlar bütanol izomerinin doğal yanmasının dizel enjeksiyonundan önce meydana geldiğini ve n-bütanolün ilk olarak doğal yanmaya ulaştığı görülmüştür. N-bütanolün kendiliğinden tutuşması iso-bütanol ve sec-bütanol'den daha kolay meydana gelir, bu n-bütanolün ısı salınım zamanının iso-bütanol ve sec-bütanolden daha erken olduğunu gösterir. Maksimum yanma sıcaklığı sıralaması n-bütanol > sec-bütanol > izo-bütanol'dür. Yanma gecikme süresi sıralaması sec-bütanol = izo-bütanol > n-bütanol, ve n-bütanolün sabit hacimli yanması üst ölü noktaya yakın izo-bütanol ve sec-bütanol'den daha belirgindir. N-Bütanol'ün NO_x ve is emisyonları genellikle sec-bütanol ve izo-bütanolden daha yüksektir. N-Bütanol'ün toplam hidrokarbon ve CO emisyonları izo-bütanol ve sec-bütanolden daha düşüktür, fakat bu fark yük arttıkça belirgin şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.

Li ve diğerleri (2019) dizel/benzin karışımlarıyla çalışan dizel motorların yanma davranışını iyileştirmek ve emisyonlarını daha da azaltmak için dizel/benzin/izo-bütanol üçlü karışımlarını bir dizel motorda deneysel olarak incelenmişler. Test yakıtları standart dizel yakıt (D100), %70 dizel yakıt ve %30 benzin (DG), %70 dizel yakıt ve %15 benzin ve %15 izobütanol (DGB), %70 dizel yakıt ve %30 izo- bütanol (DB) olarak hazırlamışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda D100'ün aksine üçlü karışıma yakıt doldururken ateşleme zamanlama periyotlarının geciktiğini, CA50'nin ilerletildiğini, yanma sürelerinin kısaldığını ve maksimum basınç artış oranlarının arttığını gözlemlemişler. Bu arada DGB ve DB kullanımı ile fren özgül yakıt tüketiminin arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca benzin ve izo-bütanol ilavesiyle CO emisyonlarında bir azalma ve HC ve NO_x emisyonlarında belirgin bir artış olduğunu görmüşlerdir. İzo-bütanol

ilavesinin, benzin ilavesinden daha fazla PM-NO_x emisyonlarını iyileştirebileceğini belirtmişlerdir.

Yukarıda incelenmiş olan literatür özetlerinden görülebileceği gibi yüksek oranlarda izobütanolle birlikte oluşturulan dizel ve biyodizel ile üçlü karışım olarak oluşturulan çalışmalar, düşük karbonlu alkollerle karşılaştırıldığında şu an için sınırlı sayıdadır. Yapılan literatür çalışmalarında görülebileceği üzere daha çok etanol, bütanol gibi alternatif biy yakıtlar daha çok kullanılmıştır. İzobütanol bulunan üçlü karışım çalışmalarının ise sınırlı sayıda olduğu ve daha düşük oranlarda kullanılmış olduğu görülmüştür. Literatür çalışmasında mekanik yakıt enjeksiyon sistemine sahip dizel motorlar daha ön plana çıkarken bu çalışmada elektronik kontrollü common rail enjeksiyon sistemine sahip ve kademeli enjeksiyon yapabilen bir dizel motor alternatif yakıt olarak hazırlanacak üçlü karışımın etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Hedeflenen çalışma ile izobütanol-dizel-biyodizel üçlü karışımlarında yüksek oranlarda izobütanol kullanılmasının yanma, performans ve emisyon karakteristiklerine etkileri sabit devir ve farklı yük aralıklarında incelenmesi gerçekleştirilerek hazırlanan karışımın kullanılabilirliği incelenecektir.

4. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada elektronik kontrollü common rail yakıt enjeksiyon sistemine sahip ve kademeli enjeksiyon yapan 4 silindirli turbo şarja sahip Fiat 1.9 JTD model bir dizel motor kullanılmıştır. Test motoru özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Test motoru iki kademeli enjeksiyon (two stage injection-TSI) sistemine sahiptir (birincisi pilot, ikincisi ana enjeksiyon). Hidrolik dinamometre ile test motorunun yüklemiş, yağ, yakıt ve emme havası sıcaklıkları K tipi termokupllar kullanılarak ölçülmüştür. Testler sabit yakıt sıcaklığında yapılmış ve 30 °C olarak ayarlanmıştır. Hazırlanan yakıt karışımlarının homojenliği izlenmiş ve yakıt karışımlarının homejenliğini sağlamak için özellikle karışımda biyodizel yakıtı kullanılmıştır. Herhangi bir çökelme olup olmadığı izlenmiş ve örnek numuneler alınarak oda sıcaklığında bekletilip gözlenmemiştir.

Isıtma bujisinin yerine özellikleri Tablo 4.2’de verilen silindir gaz basıncı sensörü kullanılarak silindir içi basınç verileri ölçülmüştür. Testlerde 50 çevrimin ortalaması alınmış ve 0,2 °KA çözünürlüğünde yanma analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Yanma analizi için AVL FlexIFEM IndiCom platformu ve yazılımı kullanılmıştır.

4.1. Test Motorun Teknik Özellikleri

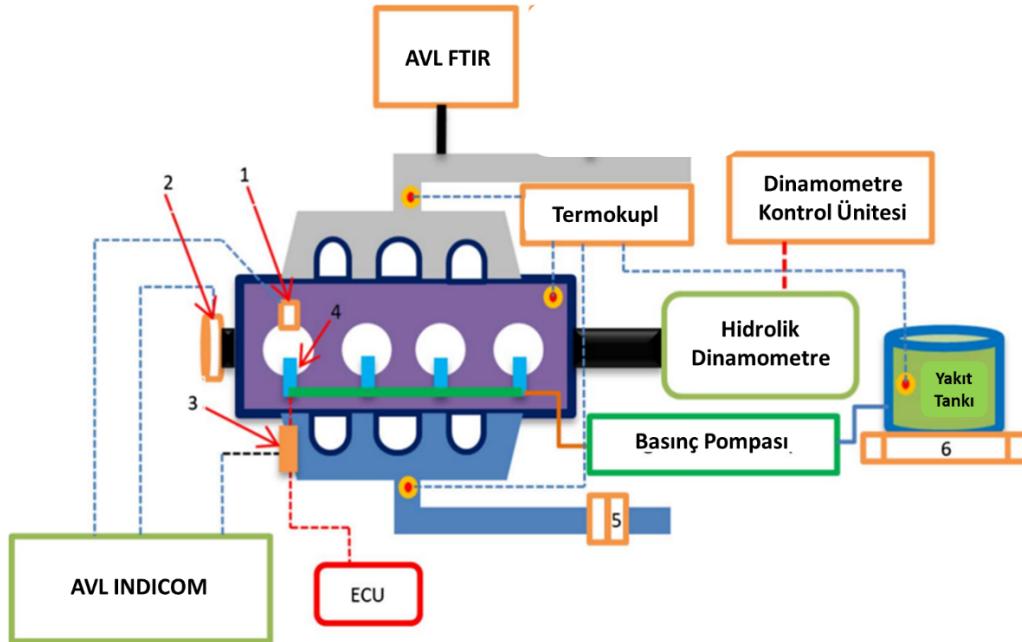
Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Motor Test Laboratuvarında bulunan dört silindirli, turbo şarjlı ve common rail enjeksiyon sistemli Fiat 1.9 JTD model dizel motoru test motoru olarak kullanılmıştır. Motorun teknik özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Motorun teknik özellikleri

Test Motoru Özellikleri	
Motor	Fiat 1.9 JTD
Tip	CRDI, Turbodizel, 4 Silindirli, Su Soğutmalı
Silindir sayısı	4
Silindir çapı - Kurs boyu	82 mm-90,4 mm
Sıkıştırma oranı	18.45:1
Enjeksiyon sistemi	Common Rail DI
Maksimum güç	77 kW - 4000 d/d
Maksimum tork	205 Nm - 1750 d/d
Ana enjeksiyon zamanı	0-4 °KA (değişken)

4.2. Motor Test Sistemi

Motor test sisteminin prensip şeması Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere motor test sistemi performans, emisyon ve yanma analiz sistemlerinden oluşmaktadır. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere silindir içi yanma analizinde AVL FlexIFEM IndiCom platformu ve yazılımı kullanılmıştır. NO_x, HC ve CO emisyon gazlarının ölçümü için AVL SESAM FTIR emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır ve cihazın teknik özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Cihaz alev iyonizasyon dedektörü (FID - Flame ionization detector) ve FTIR spektroskopi analizöründen oluşmakta olup hibrit bir emisyon ölçüm cihazıdır.



Şekil 4.1. Motor test sistemi şeması (Türkcan, 2018)

Deney düzeneğinin şematik diyagramı; (1) Basınç Sengörü, (2) Encoder, (3) Akım Probu, (4) Common Rail Enjektörü, (5) Hava Akış Ölçer, (6) Hassas Terazi

Tablo 4.2. Hidroluk dinamometre teknik özellikleri

Dinamometre Modeli	BT-190 FR
Maksimum Güç	100 kW
Maksimum Yük	750 Nm
Maksimum Hız	6000 d/d
Yük Ölçümü	Yük Hücresi

Motor test sistemi olarak Baturalp-Taylan BT-190 FR model hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre'ye ait görsel Şekil 4.3'te ve teknik özellikler ise Tablo 4.2'de verilmiştir. Dinamometre test motoruna kardan kaplini ile bağlanmış motorun gaz pedalı elektronik olarak potansiyometrik gaz pedalı sensoründen ayarlanmış ve Şekil 4.4'de gösterilen motor yükü dinamometre kontrol panelinden ayarlanarak hidrolik dinamometre içerisinde yer alan çarka çarpan suyun debisi ve çarkta dolaşan su miktarı kontrol edilerek motor yükü ayarlanmıştır.



Şekil 4.2. Test motoru



Şekil 4.3. Hidrolik dinamometre



Şekil 4.4. Dinamotre kontrol ünitesi

Dinamometre kontrol ünitesi üzerinden motorun yağ sıcaklığı ve basıncı takip edilmiş, tüm test koşullarında motorun stabil çalışması ve yağ sıcaklığının istenilen durumda olmasına dikkat edilerek testler gerçekleştirilmiştir. Test ortamındaki sıcaklık ve nem kontrolleri testlerin gerçekleştiği sırada KIMO marka nem ve sıcaklık ölçüm cihazı ile sağlanmıştır.

Yakıt tüketimi hassas terazi kullanılarak kütsel olarak ölçülmüştür. Test motoru, belirlenen yük ve devir şartında motor rejime girene kadar çalıştırılmış hassas terazi ve kronometre kullanılarak birim zamandaki yakıt tüketim değerleri hesaplanmıştır. Her bir test şartı için ölçümler en az üç defa tekrar edilmiş ve yapılan ölçüm değerlerinin ortalaması alınmıştır. Yakıt tankına bir eşanjör ilavesi yapılarak yakıt sıcaklığı (30°C) sabit tutulmuştur. Yakıt ölçüm ve şartlandırma düzeneği Şekil 4.5’de görülmektedir.



Şekil 4.5. Hassas terazi ve yakıt eşanjörü

Testler gerçekleştirilirken egzoz emisyon gazları AVL SESAM marka FTIR model emisyon cihazı ile ölçülmüştür. Sonuçlar AVL firması bünyesinde yer alan OMNIC programı aracılığıyla elde edilip, kayıt altına alınmıştır. Ölçüm sonuçları, motorun rejime girmesi beklendikten sonra minimum üç kez sonuçlar alınarak kaydedilmiştir. Egzoz emisyon cihazının görseli Şekil 4.6’de, teknik özellikleri ise Tablo 4.3’de yer almaktadır.



Şekil 4.6. Egzoz emisyon ölçüm cihazı

Tablo 4.3. FTIR Emisyon Cihazı Teknik Özellikleri

FTIR Emisyon Cihazı ve Diğer Ölçüm Sistemlerinin Teknik Özellikleri		
Parametre	Birim	Hassasiyet
HC	ppm	Ölçülen değerin $< \pm 2$ (ölçüm aralığının %10-100 arası) veya tüm aralığın $\leq \pm \%1$, hangisi küçükse
CO	ppm	Ölçülen değerin $\pm \%2$ 'sinden daha iyi
CO ₂	%	Ölçülen değerin $\pm \%2$ 'sinden daha iyi
NO _x	ppm	Ölçülen değerin $\pm \%2$ 'sinden daha iyi
Diğer Ölçümler		
Yük ölçümü	Nm	$\pm \%2$
Hız ölçümü	d/d	± 1
Yakıt tüketimi	g	± 1
Sıcaklık	°C	± 1

Şekil 4.7’de gösterilen AVL marka FLOWSONIX model debimetre aracılığıyla emme hava debisi ölçülmüştür. Tüm test koşullarında tüketilen hava miktarı kütsel olarak ölçülmüştür. Hava debisi yardımıyla belirlenen test koşullarındaki hava tüketim değeri kontrol edilmiştir.



Şekil 4.7. Hava debisi ölçüm cihazı

Silindir gaz basıncı verilerinin krank açısına bağılı olarak toplanması ve değeriendirilmesi için Şekil 4.8’de verilen AVL marka FLEXIFEM model cihaz kullanılmıştır. Şekil 4.9 da gösterilen enkoder ile silindir gaz basıncı verileri 0.2 krank açısı çözünürlüğünde toplanmıştır. Krank açısına bağılı olarak toplanan veriler yanma karakteristiklerinin belirlenebilmesi için AVL INDICOM yanma analizi yazılımında 50 çevrim ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de motor yine yanma karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılan silindir gaz basıncı ölçümü için kızdırma bujisi kılıfı üzerine üzerine montajı yapılan silindir gaz basıncı sensörü ve akım probu gösterilmiştir. Silindir gaz basıncı sensörü AVL marka olup teknik özellikleri Tablo 4.2’de yer almaktadır. Akım probu kullanılarak 1. enjektörün akım verileri ölçülerek enjektörün açılma zamanı tespit edilmektedir. Akım probu olarak FLUKE marka akım kelepçesi kullanılmıştır.

Yanma karakteristikleri olarak silindir gaz basıncı, ısı dağılımı, maksimum basınç artış oranı, yanma başlangıcı, toplam yanma süresi ve tutuşma gecikmesi yanma analiz sisteminden alınan veriler ile tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. Yanma ölçüm sistemi



Şekil 4.9. Açısal enkoder



Şekil 4.10. Silindir basınç sensörü



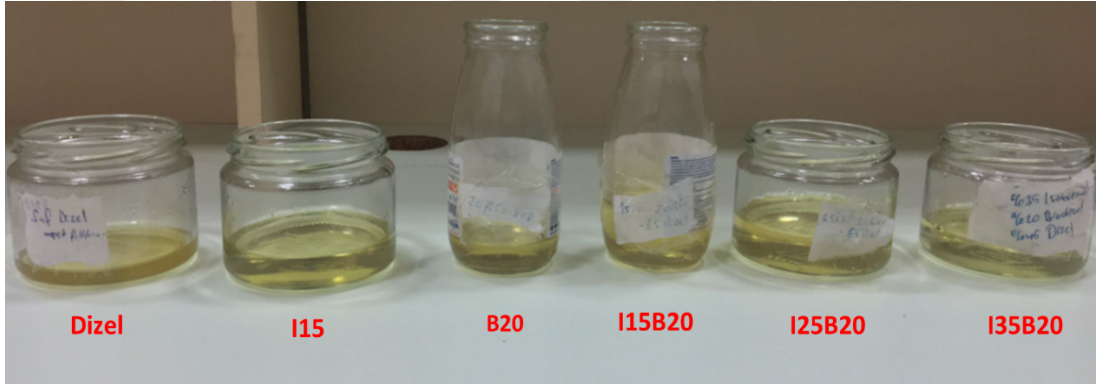
Şekil 4.11. Akım probu

Tablo 4.4. Basınç Sensörü Teknik Özellikleri

Basınç Sensörü Özellikleri	
Ölçüm Aralığı	0-250 Bar
Aşırı Yükleme	300 Bar
Hassaslık	16 pC/Bar
Doğrusallık	$\pm 0.3\%$
Doğal Frekansı	130 kHz
Hızlanma Hassasiyeti	0.001 Bar/g
Yük Değişim Kayması	1.5 mbar/ms

4.3 Kullanılan Yakıtların Özellikleri

Deneyler sırasında kullanılan bitkisel atık yağ bazlı biyodizel ve izobütanol sırasıyla Tarımsal Biyodizel Enerji ve Dicle Kimya Ticaret ve Sanayi A.Ş.'den tedarik edilmiştir. Dizel ise ticari akaryakıt istasyonundan alınmıştır. Hazırlanan test yakıtları yakıt karışımları izobütanol ve biyodizel kütleli oranlarını belirtecek şekilde isimlendirilmiştir. Geriye kalan yakıt yüzdesini de dizel yakıt oluşturmaktadır. Örnek olarak B20 yakıtı, %20 biyodizel-%80 dizel yakıt içermekte, I15B20 yakıtı ise %15 izobütanol, %20 biyodizel ve %65 dizel yakıt içermektedir. Deney yakıtlarının özellikleri Tablo 4.5'te verilmiştir. Motor testleri için hazırlanan yakıt karışımlarına ait numune görselleri Şekil 4.11.'de paylaşılmıştır.



Şekil 4.12. Test yakıtları

Tablo 4.5. Test Yakıtlarının Özellikleri

Test Yakıtlarının Özellikleri			
Özellik	Dizel	Biyodizel	İzobütanol
Kimyasal formül	-	-	C ₄ H ₉ OH
Setan Sayısı	56,8	57,8	24,6
Alt ısııl değeri (MJ)	43,2	37,5	32,6
Parlama noktası (°C)	63	176	35
Yoğunluk (kg/m ³ @15°C)	829	881,5	808
Viskozite (mm ² /s @40 °C)	3	4,181	2,26
Parlama noktası (°C)	63	176	27,8

4.4. Testlerde Kullanılan Hesaplamalar

Bu tez çalışması deneysel bir çalışma kapsamında olduğundan motorun yanma ve performans parametrelerinin belirlenmesi için aşağıda verilen hesaplamalar kullanılmıştır.

Silindir gaz basıncı verileri kullanılarak ısı dağılım oranı verileri, Termodinamiğin I. kanunundan (Heywood, 1988) yola çıkılarak aşağıdaki ısı dağılımı formülüyle hesaplanmıştır.

$$\frac{dU}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} \quad (4.1)$$

İç enerji değişimi aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\frac{dU}{dt} = mc_v \frac{dT}{dt} \quad (4.2)$$

W ise pistonun yer değiştirmesi ile karşılık yapılan iş:

$$\dot{W} = P \frac{dV}{dt} \quad (4.3)$$

Silindir içerisindeki dolgu ideal gaz kabul edildiğinde:

$$\frac{dQn}{dt} = P \frac{dV}{dt} + mc_v \frac{dT}{dt} \quad (4.4)$$

Kütlenin sabit olduğunu varsayarak, ideal gaz denkleminin türevi alınır:

$$PV = mRT \quad (4.5)$$

$$\frac{dT}{T} = \frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} \quad (4.6)$$

$$\frac{dT}{T} = \frac{1}{mR} \left[P \frac{dV}{dt} + V \frac{dP}{dt} \right] \quad (4.7)$$

denklemleri elde edilir. Denklem (4.4) ile Denklem (4.7) birleştirilirse:

$$\dot{Q}n = \left[\frac{C_v}{R} + 1 \right] P \frac{dV}{dt} + \frac{C_v}{R} V \frac{dP}{dt} \quad (4.8)$$

Denklem (4.8)'de zaman yerine (t) krank açısı (θ) konulursa ve özgül ısılar oranı (k) denkleme eklenirse ısı dağılımı aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\dot{Q}_n = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} \quad (4.9)$$

İlgili formülde, P ölçülen silindir gaz basıncı, V ise o andaki krank açısındaki silindir hacmi ve λ özgül ısılar oranıdır.

Performans parametreleri olarak fren özgül yakıt tüketimi (b_e), fren efektif güç (P_e), motor devri (n), saatteki yakıt tüketimi m_y , termik verim (η_t), alt ısı değeri (AID) ve motor torku T olarak gösterilmekte olup aşağıdaki formüller kullanılarak performans parametreleri hesaplanmıştır.

$$b_e = \frac{\text{Saatlik yak. tük (g/sa)}}{\text{Efektif motor gücü (kW)}} \quad (b_e = m_y \times 3600 / P_e) \quad (4.10)$$

$$P_e = n.T / 9549 \text{ (kW)} \quad (4.11)$$

Motor torku yük hücresi ve motor devri ise manyetik pik-up kullanılarak ölçülmüş ve ölçüm sonuçları motor testlerinin yapıldığı hidrolik motor test sistemi üzerinden alınmıştır.

$$\eta_t = \frac{3,6 \times 10^8}{b_e (\text{ÖYT}) (\text{g/kWh}) \times \text{AID} (\text{kJ/kg})} (\%) \quad (4.12)$$

Karışımların alt ısı değerleri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\text{AID}_{\text{kar}} = (\text{Kütle oranı1.yktxAID1.yakıt}) + (\text{Kütle oranı2.yktx AID2.yakıt}) + \dots \quad (4.13)$$

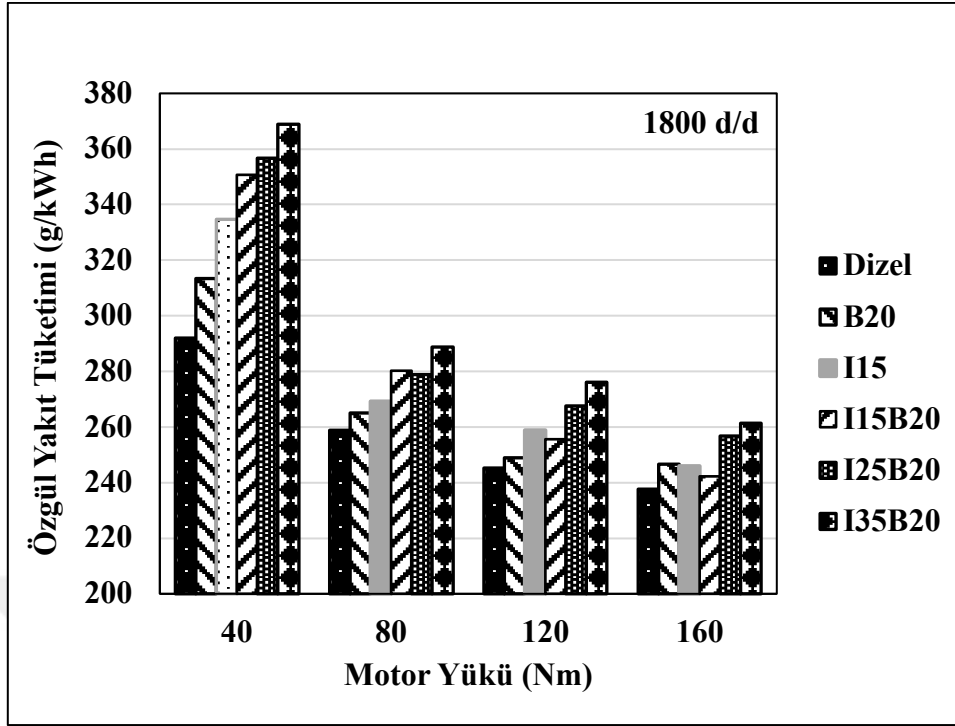
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, elektronik kontrollü çift kademeli yakıt enjeksiyon yapabilen ve common rail yakıt sistemine sahip olan bir dizel motorda dizel-biyodizel-izobütanol üçlü karışımlarının kullanılmasının motor performansına, yanma ve emisyon karakteristikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Motor testleri dört farklı motor yükünde ve sabit devir şartlarında yapılmıştır. Motor yükleri 40, 80, 120 ve 160 Nm olarak belirlenmiş ve motordan maksimum momentin elde edilebildiği motor devri olan 1800 d/d'da sabit tutularak gerçekleştirilmiştir.

5.1. Performans Karakteristikleri

Bu çalışmada tüm koşullarda motor orijinal kalibrasyon haritası kullanılmış ve elektronik kontrol sistemine herhangi bir şekilde müdahale edilmemiştir. Dizel motorda enjeksiyon miktarı gaz pedal pozisyonu ile belirlense de bu çalışmada kullanılan yakıt karışımlarının farklı ısı değer, yoğunluk vb. özellikleri nedeniyle pedal pozisyonu sabit tutulamamıştır, bunun yerine küçük bir oranda değiştirilerek, hız ve tork şartları aynı olacak şekilde sabit yük ve devir şartları sağlanmıştır. Bu kısımda performans karakteristikleri olarak özgül yakıt tüketimi ve fren termik verimi incelenecektir.

Şekil 5.1'de artan motor yüküne bağlı olarak 1800 d/d'da tüm yakıtlar için özgül yakıt tüketimi (ÖYT) değerleri verilmiştir. ÖYT motorun yakıt verimliliğinin bir ölçüsüdür ve motorun tüketmiş olduğu yakıtı ne kadar verimli işe dönüştürdüğünü gösterir (Ashok, 2019). Motordan alınan güce karşılık Grafiği incelediğimizde, karışımlarda genel olarak izobütanol oranının artması sonucu özgül yakıt tüketiminin arttığı net bir şekilde görülmektedir. Tüm yüklerde en düşük sonuçlar dizel yakıtında elde edilmiştir. Bunun başlıca nedeni yakıtların ısı değerleri ile ilgilidir. Isı değerleri düşük olan yakıtların, karışımlar içerisindeki oranının artırılmasıyla, eş motor torkunun sağlayabilmesi adına birim zamanda tüketilen yakıt miktarları artmıştır. Ayrıca dizel yakıtı oranla özgül yakıt tüketim değerleri de arttığı ve bu sonucun literatür ile de desteklendiği görülmüştür (Ahmed, 2019).



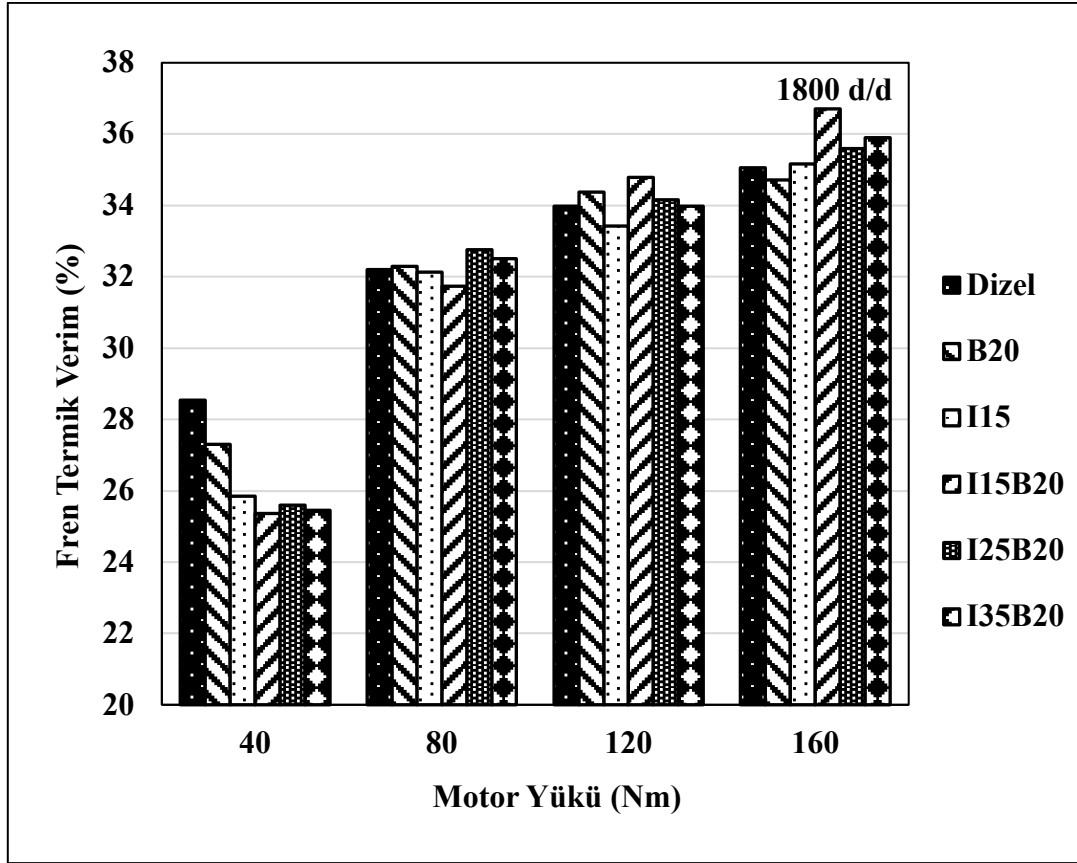
Şekil 5.1. Özgöl yakıt tüketiminin motor yüküne bağılı değışimi

Şekil 5.1.'i incelediğimizde, motor yükünün arttırılmasıyla tüm yakıt ve yakıt karışımlarında özgöl yakıt tüketimlerinin azaldığı görülmektedir. Bu eğilim, motor yükünün artması nedeniyle yakıtın yanma veriminin ve motorun ısı veriminin artmasına etki etmektedir. Bu etki sonucunda yakıtın enerjisinin çok fazla oranda yararlı işlere dönüştürülmesi ile açıklanabilir. Motor yükü ile yakıtlar arasındaki özgöl yakıt tüketimi farklılıkları azalmaktadır. Bunun nedeni motor çalışması sırasında ısı verimin etki değıerinin en yüksek olduğı bölgeye yaklaşmasından dolayı (Şekil 5.2) izobütanol ve biyodizel yakıtlarının AID etkilerinin düşürerek, oksijen içeriğı yüksek ve yanmaya olumlu katkı sağılayan gizli buharlaşma ısısının etkileri nedeniyle meydana geldiğı söylenebilir. 160 Nm'de karışımlar arasında en düşük ÖYT değıerleri I15B20 yakıtında hesaplanmıştır. B20 yakıt karışımının saf dizel ile neredeyse aynı olan ÖYT değıerleri farklı bir araştırmada da fark edilmiştir (Yeşilyurt, 2020). Ayrıca maksimum yükte saf dizel yakıt kullanımına yakın ÖYT sonuçları elde edilmiş ve literatürde %10-30 arası izobütanol yakıt karışımı ile yapılan deneylerde ise izobütanol-biyodizel yakıt karışımlarının kullanılmasında benzerlik bulunmuştur (Xiao ve diğ., 2020). İzobütanol ve biyodizel yakıtları kullanılması ile yakıtın oksijen içeriğinin arttığı ve birbirine yakın

karışım oranlarının yanma fazını iyileştirmesi sonucu ÖYT değerlerinin azaldığı tahmin edilmektedir.

B20 ve I15B20'nin ısı değerlerinin daha az olmasına rağmen, artan yüklerde diğer karışımlara göre setan sayısının fazla olması ve yanma süresinin kısmen uzun olmasından dolayı oksijen içeriği ÖYT'nin azalmasına katkı sağlamıştır. Bu yakıt karışımlarında biyodizel diğer yakıtlara göre yüksek oranda olmasından setan sayısı ve viskozitesi daha fazladır. Yakıtların atomizasyonunun olumlu yönde etkilenmesinin nedeni yüksek yüklerde düşük yüklere göre daha sıcak ve yüksek basınçta ortama yakıt püskürtülmesidir (Tüccar ve diğ., 2018). Kısmen de olsa daha uzun yanma süresiyle püskürtülen yakıtın yanması sonucu elde edilen enerji artmıştır. ÖYT değerlerinde artış görülen yakıtlarda ise ısı değerinin düşük olduğu yüksek izobütanol oranına sahip yakıt karışımları olduğu görülmüştür.

Şekil 5.2'de motor yükü ile fren termik verim değerlerindeki değişimler gösterilmektedir. Yakıt karışımlarının tamamında motor yükü arttırıldıkça fren termik verim sonuçlarının da arttığı görülmektedir. En yüksek termik verim dizel yakıtında 40 Nm yükte görülürken, diğer yakıt karışımları arasında farklar fazladır. Orta ve yüksek yüklerde ise farklar ve fren termik verimdeki artış miktarı düşmektedir. 80 ve 120 Nm yüklerde biyodizel yakıtı ve 160 Nm yüklerde ise üçlü izobütanol-dizel-biyodizel karışımlarda fren termik veriminin dizel yakıtından az da olsa daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Orta yüklerde biyodizelin oksijen içeriği ve yüksek setan sayısı daha iyi yanma fazına ve verimli yanmaya neden olmuştur. Literatür çalışmasında görüldüğü gibi (Chukwuezie ve diğ., 2017) artan tepkime sonrası, kalış süresi (residence time) ve oksijen içeriğiyle tam yanmaya yakın bir yanma görülmüştür. Yanmadaki verimin artması sonucu yanma süresinde artış, silindir içi ısı kayıplarını artırmış ve B20 için fren termik veriminin dizele oldukça yakın seviyede elde edilmesini sağlamıştır. Üçlü yakıt karışımlarındada 160 Nm'de, fren termik verimin ortalama %8.27-11.68 aralığında arttığı görülmüştür. Bulunan sonuç %35 izobütanol oranına sahip karışımın, izobütanol-biyodizel yakıt karışımları kullanılan farklı bir araştırmada yüksek yükteki %14.2'lik artışla desteklendiği görülmektedir (Xiao ve diğ.,2020)



Şekil 5.2. Fren termik verimin motor yüküne bağılı değışimi

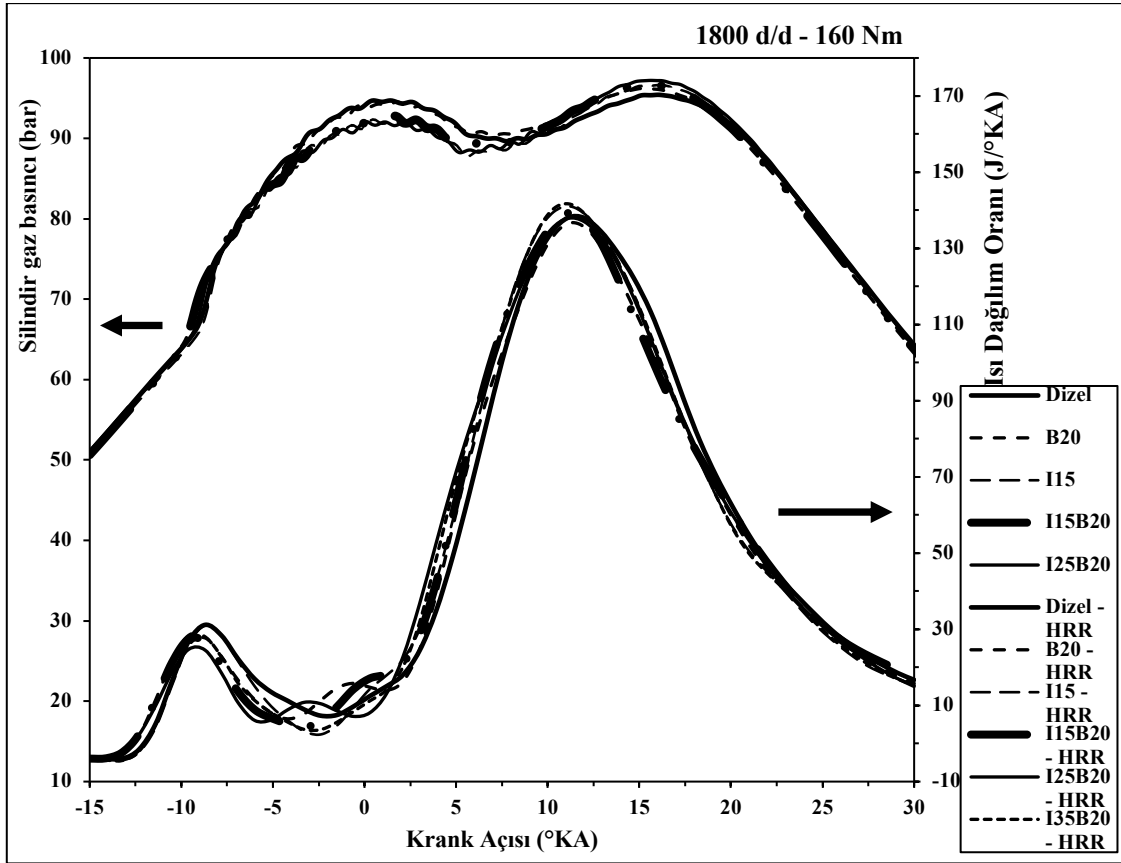
I15B20 yakıt karışımında 120 ve 160 Nm yüklerde termik verim diğerk yakıt karışımına göre yüksek olduğı görülmüştür. Bunun nedeni olarak silindir içi sıcaklığın yüksek yüklerde izobütanol katkılı karışımın daha iyi buharlaşması, hava ile homojen bir şekilde karışması ve dolayısıyla yanma verimini olumlu yönde etkilemiş olmasıdır. İzobütanolün özellikleri nedeniyle yanma öncesi yakıtın oksijenle buluşması sağlanmış, tam yanmanın sağlanması nedeniyle fren termik veriminde de artış olduğı düşünülmektedir (Karabektaş ve Hoşöz, 2009).

5.2. Yanma Karakteristikleri

Bu kısımda yanma karakteristikleri olarak silindir gaz basıncı ve ısı dağılım oranının krank açısına bağılı değışimleri, yanma başlangıcı, tutuşma gecikmesi, maksimum silindir gaz basıncı, toplam yanma süresi ve maksimum basınç artış oranları değıerlendirilmiştir. Yanma analiz sisteminden elde edilen silindir gaz basıncının krank açısına bağılı değışimleri ve hesaplanan ısı dağılım oranının krank açısına bağılı olarak değışimleri 160

Nm motor yükü ve 1800 d/d şartları altında farklı oranlarda hazırlanan yakıt karışımları için Şekil 5.3’de gösterilmiştir.

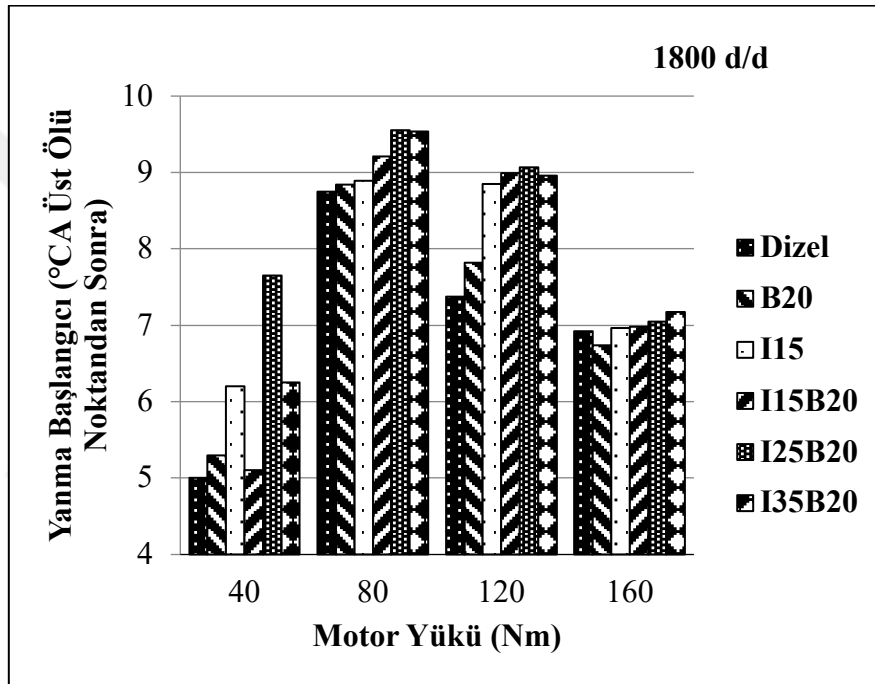
Şekil 5.3 incelendiğinde motorun kademeli enjeksiyon sistemine sahip olduğu açıkça görülmektedir. Karışımların tamamında iki adet enjeksiyon nedeniyle ikili formda oluşan basınç eğrisi ve ısı dağılımı eğrisi görülmektedir. Basınç eğrisinde görülen ikinci pik ana enjeksiyondaki yakıt miktarının fazla olmasından kaynaklıdır.



Şekil 5.3. Silindir gaz basıncı & Isı dağılım oranının krank açısına bağlı değişimi

Yanma başlangıcı CA10 değerleri ile hesaplanmış ve Şekil 5.4’te gösterilmektedir. Literatür çalışmalarında yanma başlangıcı yanmış yakıt kesrinin %10 olduğu krank açısı (CA10) olarak tanımlanmıştır (Alptekin, 2017), (Teoh ve diğ.,2019) ve (Putrasari ve Lim, 2019). Bu çalışma da yanma başlangıcı için CA10 değeri kullanılmıştır. Sonuçları değerlendirdiğimiz düşük yük olarak tanımlanan 40 Nm şartlarında setan sayısı yüksek olan B20’de en erken tutuşmanın olduğu görülmektedir. Aynı şekilde izobütanol oranı düşük olan I15B20 yakıt karışımlarında en erken tutuşmaya sahiptir. Şekil 5.4’te

görülebileceği üzere yüksek setan sayısına sahip B20 karışımının tutuşma gecikmesini azaltıp, yanma başlangıcını ise öne geçmekte kabaca tesirli olduğunu söyleyebiliriz. Yüksek izobütanol oranına sahip I25B20, I35B20 ve I15 yakıt karışımlarındaysa yanmanın daha geç başladığı görülmektedir. Nedeni olarak izobütanolün düşük setan sayısına sahip olmasıdır. Dizel ve B20 yakıtlarının yanma fazı diğer yakıtlara göre kısa sürmüştür, Tablo 5.1'deki verilere bakıldığında toplam yanma süresinin daha uzun olması ve maksimum ısı dağılımı ve P_{maks} 'ın karışımlarda en düşük seviyelerde olması bu durumu desteklemektedir (bkz. Şekil 5.5).



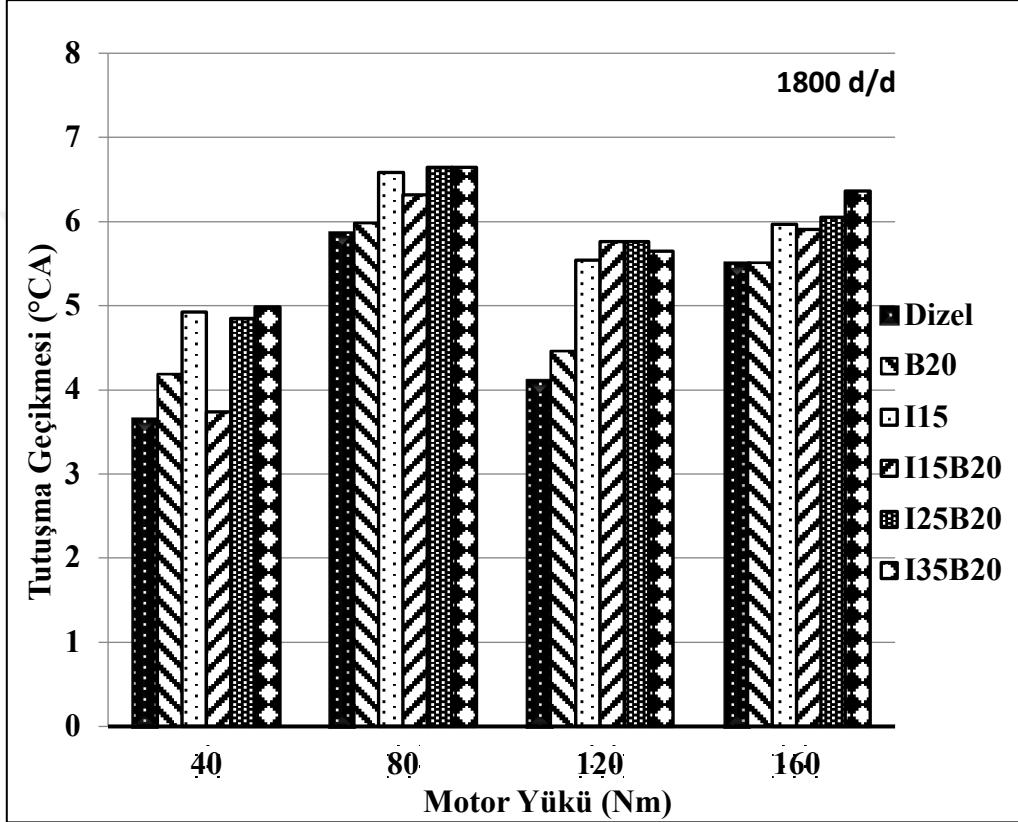
Şekil 5.4. Yanma başlangıcını motor yüküne bağlı değişimi

Tablo 5.1. Toplam yanma süresi değerleri (120 ve 160 Nm)

Toplam Yanma Süresi (°KA)						
120 Nm	22,16	22,12	20,13	20,34	19,73	19,51
160 Nm	22,415	22,27	21,68	22,61	21,75	21,31
	Dizel	B20	I15	I15B20	I25B20	I35B20

Tutuşma gecikmesi yanma başlangıcı ve püskürtme başlangıcı arasındaki farktır, testler de yanma başlangıcı için CA10 verileri referans alınmıştır. Tutuşma gecikmesinin motor yüküne göre değişimi Şekil 5.5'de gösterilmiştir. Alkoller dizele göre daha geç

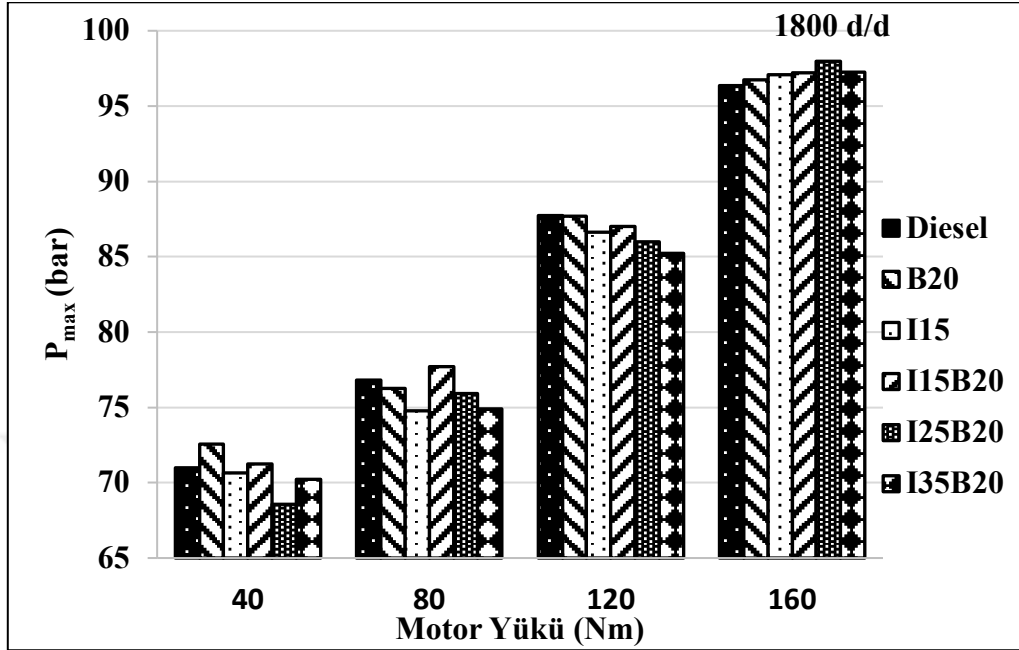
tutuşmaktadır. Alkollerin setan sayısının düşük olması tutuşma gecikmesinin artmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda alkollerin buharlaşma gizli ısısının da yüksek olması silindir içerisindeki sıcaklığın düşmesine ve bunun sonucunda da tutuşma gecikmesinin artmasına neden olmuştur. 120 ve 160 Nm yüklerde alkol oranının artmasıyla tutuşma gecikmesinin arttığı görülmektedir. Tüm test yükü koşulları için I35B20 yakıt karışımında tutuşma gecikmesinin daha yüksek olduğunu belirlenmiştir.



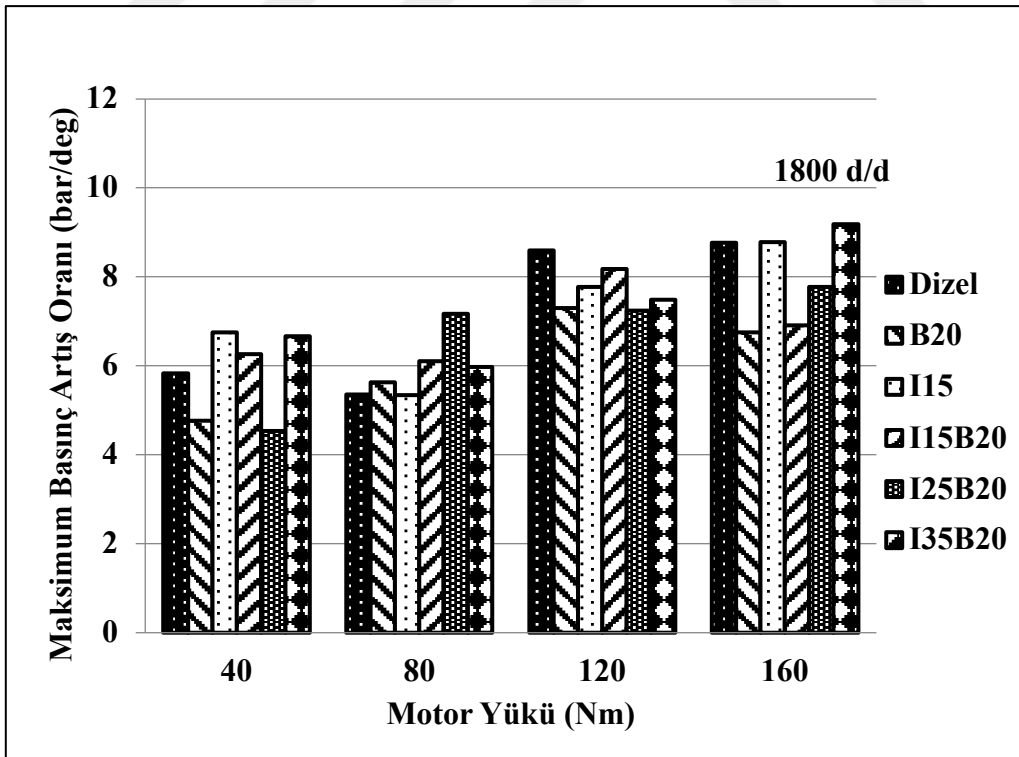
Şekil 5.5. Tutuşma gecikmesinin motor yüküne bağlı değişimi

Tüm motor yüklerinde ulaşılan P_{maks} verileri Şekil 5.5'te gösterilmektedir. 40 Nm motor yükünde biyodizel karışımı sayesinde oksijen içeriği artmıştır. Bunun sonucunda da hava/yakıt oranında düşüş olmuştur ve mevcut yükü sağlamak amacıyla enjeksiyon sırasında püskürtülen yakıt oranının artmasıyla P_{maks} değeri artış göstermiştir. 40 ve 80 Nm yüklerde kullanılan karışımlarda izobütanol oranının artması sonucu P_{maks} değerinin düşmesine neden olmuştur. Daha düşük P_{maks} değerinin oluşmasının nedeni olarak yakıt karışımlarının ısı değerlerinin düşük olması ve izobütanolün silindir içindeki soğutma etkisinin basıncın artmasını sınırlamış olması gösterilebilir. En yüksek yük olan 160

Nm’de izobütanol içeren karışımlarda, yanma öncesi hava ile etkili bir şekilde karışarak, silindir içi sıcaklık oranının yükselmesiyle P_{maks} değeri de artmıştır.



Şekil 5.6 P_{maks} ’ın motor yüküne bağlı değişimi



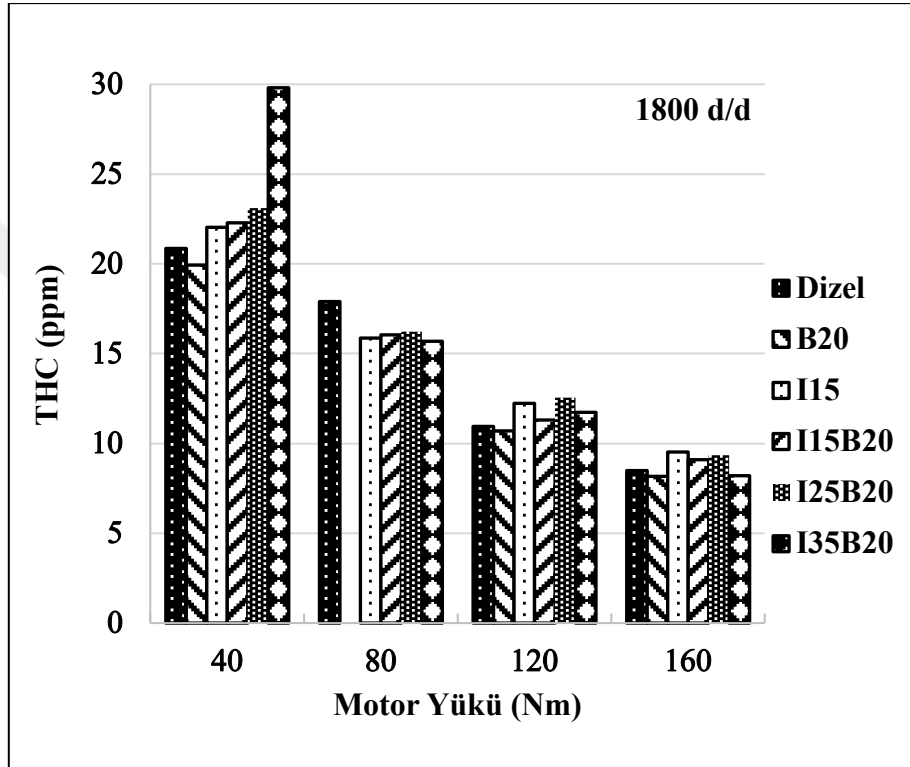
Şekil 5.7. Maksimum basınç artış oranının motor yüküne bağlı değişimi

Şekil 5.6’da motor yüküne bağlı maksimum basınç artış oranı değerlerindeki değişimler gösterilmektedir. Maksimum basınç artış oranı gürültünün bir göstergesi olup alternatif yakıt kullanımında bu sonuçlar motorun kararlı çalışması açısından irdelenmektedir. Şekil 5.6’da farklı sonuçların elde edildiği grafikte görülmektedir. Yüksek yüklerde üçlü karışımların maksimum basınç artış oranının dizele göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise ortamdaki sıcaklık ve basıncın düşmesi ve yanmanın düşük hızda ilerlemesinden kaynaklanır. Yanma aniden gelişmediğinden, silindir içerisindeki basınç ve sıcaklıkta bir miktar düşük olması nedeniyle maksimum basınç artış oranı düşük çıkmıştır. Diğer yandan I35B20’ye baktığımızda 160 Nm’de en yüksek maksimum basınç artış oranının elde edildiğini görülmektedir. Bunun nedeni olarak silindir gaz basıncının burada yüksek olması maksimum basınç artış oranının da yüksek olmasına neden olduğu şeklinde yorumlanabilir.

5.3. Emisyon Karakteristikleri

Bu kısımda emisyon karakteristikleri olarak toplam hidrokarbon (THC), CO ve NO_x emisyonlarının test yakıtları ve motor yüküne bağlı değişimleri değerlendirilmiştir. Şekil 5.7’da motor yüküne göre HC emisyonları sonuçları verilmiştir. Motor yükünün artması sonucu silindir içi sıcaklık ve yanma veriminin artması nedeniyle THC emisyonları düşmüştür. Tüm yüklerde %20 biyodizel yakıt karışımında en düşük THC emisyonları ölçülmüştür. En iyi sonuçlar ise tüm yüklerde 40 ve 80 Nm yüklerde görülmüştür. B20 yakıtının en iyi sonuç vermesi biyodizel yakıtının içeriğinde yer alan oksijen ve düşük karbon oranının olması neden olarak gösterilebilir. Düşük yüklerde silindir içi sıcaklığın düşük olması ve yakıt-hava karışımının fakir olması nedeniyle, üçlü yakıt karışımlarında yakıtın buharlaşmasını negatif etkilemiştir. 40, 80 ve 120 Nm yüklerde, izobütanol içeren yakıt karışımlarında yoğunluğun ve viskozitenin düşük olması nedeniyle damlacık çapının düşük olması bu yüzden silindir duvarlarına ulaşan damlacıkların fakir karışımla birlikte sönme etkisinin çok fazla olmasına neden olduğu literatürlerce de belirtilmiştir. (Karabektaş ve Hoşöz, 2009), (Xiao ve diğ., 2020) ve (Mathan ve diğ., 2018). Bunun yanında, setan sayısı düşük olan yakıtların THC emisyon oluşumuna neden olduğu literatürdeki farklı çalışmalarda tespit edilmiştir (Zhu ve diğ., 2011) ve (Fernando ve diğ., 2006). Ayrıca, düşük yüklerde düşük silindir içi sıcaklıklar nedeniyle THC emisyonlarını artırmıştır. Test sonuçlarına göre silindir içi sıcaklık ve basınç nedeniyle izobütanolün

oksijen içeriğinin fazla olmasının egzoz emisyonları üzerinde ciddi oranda etki olduğu özellikle düşük yük şartlarında görülebilmektedir. Yüksek yüklerde de karışımlar arasındaki farkların düştüğü en iyi sonuçların ise B20 ve I35B20 yakıt karışımları kullanılarak elde edildiği görülmüştür. Yanmadaki pozitif yöndeki gelişme basınç ve sıcaklığının yükselmesiyle gerçekleşmiş olup yakıt karışımları arasındaki farklarıda optimize etmiştir.

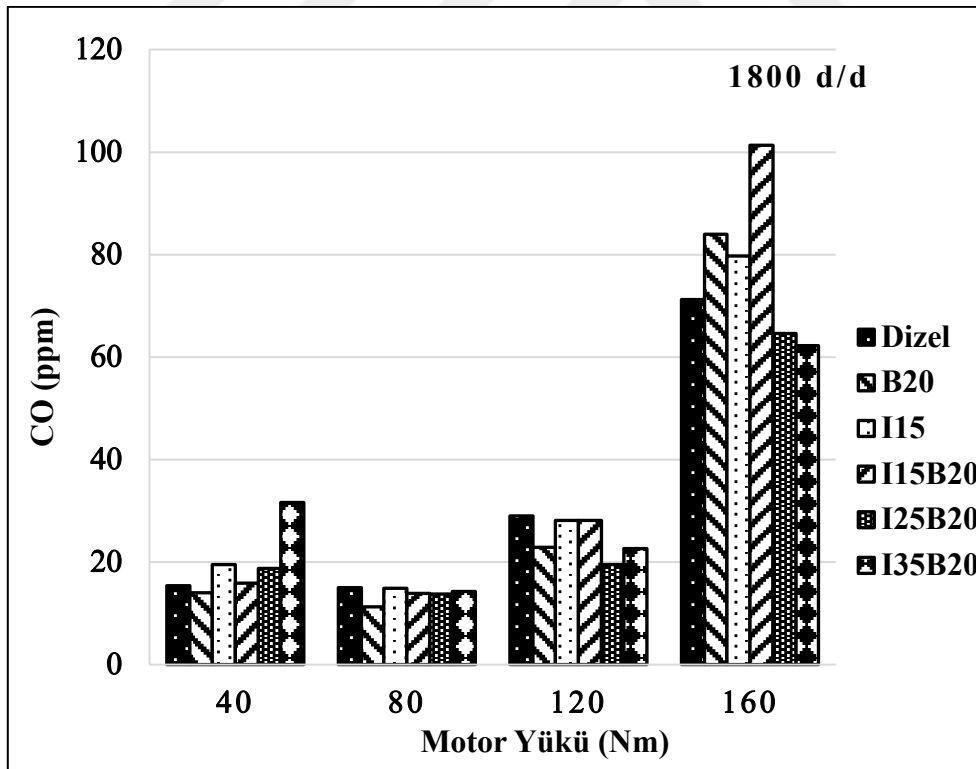


Şekil 5.8. THC emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi

Şekil 5.8’de motor yüküne göre CO emisyonlarının değişimi görülmektedir. Yakıtlar, zengin yakıt bölgesinde CO₂’ye dönüşmek için yeterince oksijenle buluşamaz. Bu durum çok fakir yakıt karışımlarında, yanma sıcaklığının düşebileceği noktaya kadar gelmesiyle birlikte CO emisyonlarını artırır (Heywood, 1988) ve (Alptekin, 2017). 80 Nm yükte tüm testler içerisinde en düşük CO emisyonları görülmüştür. 120 Nm’de artmaya başlamış olup ve 160 Nm test şartlarında ciddi oranda artış meydana gelmiştir. Test sonuçları incelendiğinde 40 Nm yükte izobütanol oranı fazla olan karışımlarda, izobütanolün soğutma etkisi ve düşük yanma verimi nedeniyle CO emisyonlarında artışa neden olmuştur. Yine aynı şekilde I15 ve I35B20 yakıt karışımlarında da bu durum net olarak görülmüştür. 160 Nm’de daha fazla yakıt püskürtülmesi nedeniyle, yakıtın daha az

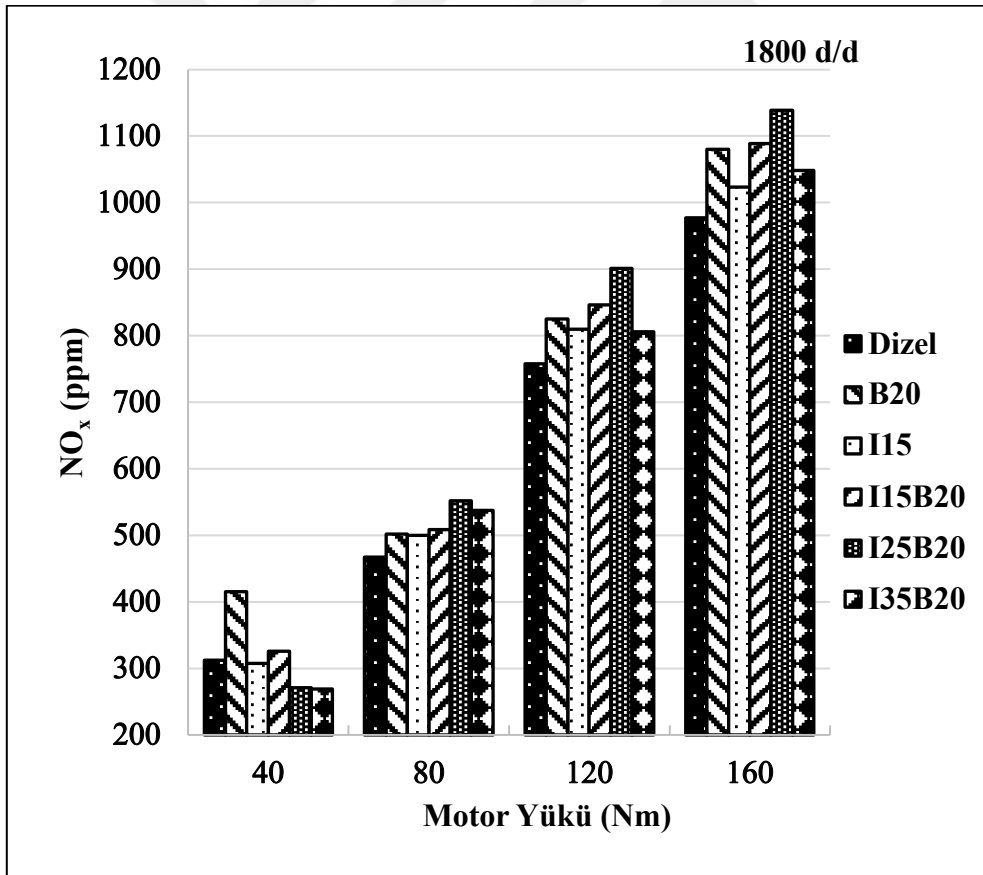
oksijenle etkileşime girmesi sonucu CO emisyonları ciddi ölçüde artmıştır. Literatür araştırmalarında yüksek motor yüklerinde alkol eklentisinin CO emisyon karakteristiğini düşürdüğü net olarak ortaya koymaktadır (Turkcan, 2018).

B20 ve I15B20 yakıt karışımlarına baktığımızda, 40-80 Nm yüklerde CO emisyonlarının dizel yakıtı oranla küçük bir seviye de olduğu gözlemlenmiştir. Biyodizelin yüksek viskozite ve yüksek yoğunluğu sayesinde, 40-80 Nm yüklerde yakıt bakımında fakir bölgelerin optimum seviyeye indirgenmesine katkıda bulunmuştur. Ayrıca CO emisyonlarının düşürülmesini de sağlamıştır. En yüksek yük olan 160 Nm de ise yakıt miktarının artmasıyla birlikte I15B20 ve B20 yakıt karışımlarının atomizasyonunun düşük olmasına ve karışım bakımından zenginleşmesi nedeniyle CO emisyon gazının artmasına sebep olmuş olabilir. Literatür çalışmalarında B20 yakıt karışımı ve dizel yakıtıyla gerçekleştirilen çalışmalarda CO emisyonlarının yönelimi benzer şekilde bulunmuş ve elde edilen bu sonuç literatür ile desteklendiği görülmüştür (Yeşilyurt ve diğ., 2020) ve (Yesilyurt, 2020).



Şekil 5.9. CO emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi

Şekil 5.9’da NO_x emisyon sonuçlarının motor yüküne bağlı değişimleri yer almaktadır. NO_x emisyonları yanma sıcaklıklarının arttığı yüksek yük bölgelerinde, özellikle 1800 K ve üzeri sıcaklıklarda termal NO oluşum reaksiyonlarının hızlanması ile artış göstermektedir (Zeldovich ve diğ., 1947). Test sonuçları incelendiğinde NO_x emisyonlarının yük artırıldıkça arttığı görülmektedir. 40 Nm yükte yanma verimi düşük olan izobütanol yakıt karışımlarında NO_x emisyonlarının en düşük seviyede olduğu görülmüştür. Karışımlar arasında termik verimi en yüksek diğer taraftan CO ve HC emisyon gazlarının en düşük olduğu B20 yakıt karışımında, 40 Nm yükte en yüksek NO_x emisyonu görülmüştür. 120 ve 160 Nm yüklerde ise en düşük sonuçlar saf dizel yakıtı ile elde edilmiştir. Kullanılan yakıt karışımları arasında en düşük NO_x emisyonu sonuçları I15 ve I35B20 yakıt karışımları ile sağlanmıştır. Bunun nedeni ise izobütanolün soğutma etkisinin yüksek olması ve silindir içi yanma sıcaklığı seviyesini düşürmesiyle açıklanabilmektedir.



Şekil 5.10. NO_x emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, izobütanol-dizel, biyodizel-dizel ile izobütanol-biyodizel-dizel yakıt karışımlarının (üçlü karışımlarda yüksek oranda izobütanol kullanılan) alternatif yakıt olarak 4 silindirli, elektronik kontrollü ve kademeli enjeksiyon yapabilen common rail dizel motorda kullanılması sonucu motor performans, yanma ve emisyon karakteristiklerindeki değişimlerinin sabit motor devri ve farklı motor yükü şartlarındaki etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, aşağıda verilen net sonuçlara ulaşılmıştır.

Biyodizel ile izobütanol katkılı madde topluluğunun özgül yakıt tüketim değerleri dizel yakıtından yüksek olup, motor yükünün arttırılmasıyla yakıtlar arasındaki özgül yakıt tüketimi farkı azalmıştır.

120 Nm ve 160 Nm yüklerde %20 oranında katkılı biyodizel ikili karışımı ve %15 oranında katkılı izobütanol + %20 oranında biyodizel yakıt karışımlarının saf dizel yakıtıyla benzer özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir.

Düşük motor yüklerinde fren termik verimine ait değerler incelendiğinde saf dizel yakıtı kullanımında maksimum termik verim elde edilirken, üçlü karışımlarda bu değer azaldığı görülmüştür. 80 Nm ve 120 Nm yüklerde ise sonuçlar benzerlik gösterirken 120 ve 160 Nm’de en iyi sonuçlar I15B20 üçlü karışımı ile elde edilmiştir. 160 Nm’de hazırlanan üçlü karışımlar sayesinde saf dizel yakıtına oranla yaklaşık olarak %8.27-11.68 aralığında termik verim yükselmiştir.

P_{maks} değerleri biyodizel içeriğine sahip karışımlarda ve düşük motor yüklerinde yüksek elde edilirken, izobütanol oranının artması ile bu değerler düşmüştür. Üçlü yakıt karışımlarında yüksek izobütanol oranının kullanımı 160 Nm yükte yanma başlangıcının geçikmesine etki etmiş ve P_{maks} değerlerinin ise diğer yakıt karışımlarına oranla daha yüksek elde edildiği görülmüştür.

Düşük yüklerde THC emisyon değerleri en yüksektir ve tüm yakıt karışımları için motor yükünün artmasıyla azalış gözlemlenmiştir. Tüm test koşullarında en iyi veriler B20 test yakıtı ile elde edilmiştir. Düşük yüklere baktığımızda ise yakıt karışımlardaki izobütanol oranının arttırılması THC emisyon gazının da artmasına neden olmuştur. 120 ve 160

Nm’de THC oranları tüm test yakıtlarında birbirine yakın düzeylerde olup alkollü yakıt karışımlarında az da olsa artmıştır.

CO emisyonlarına baktığımızda 40 ve 80 Nm test şartlarında B20 yakıtında en düşük ölçümler yapılmıştır. İzobütanol bulunan yakıt karışımlarında ise 40 Nm yükte kısmi artış görülmüştür. 160 Nm’de üçlü yakıt karışımlarında izobütanol katkısının %35’e çıkarılmasıyla %38,6 düşüş görülmüştür. I35B20 yakıt karışımı saf dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında %12.67 oranında daha düşük CO emisyonu oluşmuştur.

NO_x emisyonları bakımından 40 Nm’de en yüksek değeri B20 yakıtında görülmüş olup izobütanol oranına sahip karışımlarda dizel yakıtına göre kısmi azalma görülmüştür.

120 Nm ve 160 Nm yüklerde dizel yakıtı göre karışımların tamamında NO_x emisyonları fazla ölçülmüştür, I15 ve I35B20 yakıt karışımlarında ise dizele göre bir nebze daha yakın değerlerde NO_x emisyonları ölçülmüştür.

Tüm çalışma dikkate alındığında emisyon parametreleri ve fren termik verimi bakımında B20 yakıtı düşük motor yüklerinde, I35B20 yakıtı ise yüksek yüklerde en iyi sonuçları vermiştir.

Yapılan tez çalışmasına istinaden izobütanol-biyodizel-dizel üçlü yakıt karışımlarının, dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabileceği gösterilmiştir. Emisyon parametreleri ve fren termik verimi bakımında üçlü karışımlardan en iyi sonuçlar alınabileceği görülmektedir. Bu çalışmaya ek olarak, üçlü karışımlar kullanılarak özgül yakıt tüketiminin yüksek yüklerde düşürülmesi, tutuşma geçikmesi ve emisyon karakteristiklerin iyileştirilmesi için ilave katkı maddeleri araştırabilir. Ayrıca üçlü karışımların hareket halindeki araçlar üzerindeki etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Ahmed H. A., Obed M. A., Awad E. M., Raid W. D. and Thamir K. I., (2019). Enhancement of Engine Performance With High Blended Diesel-Biodiesel Fuel Using Iso-Butanol Additive. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 518, 032013.
- Alptekin E., (2017). Emission, Injection And Combustion Characteristics of Biodiesel and Oxygenated Fuel Blends In A Common Rail Diesel Engine. *Energy*, 119, 44-52.
- Ashok B., Nanthagopal K., (2019). Eco Friendly Biofuels for CI Engine Applications. *Advances in Eco-Fuels for a Sustainable Environment*, 407-440.
- Alptekin E., (2017). Evaluation of Ethanol and Isopropanol as Additives With Diesel Fuel In a CRDI Diesel Engine. *Fuel*, 205, 161-172.
- Chukwuezie O. C., Nwakuba N.R., Asoegwu S.N., Nwaigwe K.N., (2017). Cetane Number Effect on Engine Performance and Gas Emission: A Review. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 6(1), 56-67.
- Di Y., Cheung C. S., Huang Z., (2009). Comparison of The Effect of Biodiesel-Diesel and Ethanol-Diesel on The Gaseous Emission of a Direct-Injection Diesel Engine. *Atmospheric Environment*, 43, 2721-2730.
- Emiroğlu A. O., Şen M., (2018). Combustion, Performance and Exhaust Emission Characterizations of a Diesel Engine Operating with a Ternary Blend (Alcohol-Biodiesel-Diesel Fuel). *Applied Thermal Engineering*, 133, 371-380.
- Fernando S., Hall A. C., Jha S., (2006). NO_x Reduction from Biodiesel Fuels. *Energy Fuels*, 20, 376-82.
- Formighieri C., (2015). Cyanobacteria as a Platform for Direct Photosynthesis to Fuel Conversion. *Springer Briefs Environ Sci*, DOI: 10.1007/978-3-319-16730-5_7.
- Gu X., Li G., Jiang X., Huang Z. and Lee C., (2013). Experimental Study on The Performance of and Emissions from a Low-Speed Light-Duty Diesel Engine Fueled with n-Butanol–Diesel and Isobutanol–Diesel Blends. *Proc IMechE Part D: J Automobile Engineering*, 227, 261-271.
- He Z., Liu G., Li Z., Jiang C., Qian Y. and Lu X., (2019). Comparison of Four Butanol Isomers Blended with Diesel on Particulate Matter Emissions in a Common Rail Diesel Engine. *Journal of Aerosol Science*, 137, 105434.
- Hernández J. J., Lapuerta M., CovaBonillo A., (2019), Autoignition Reactivity of Blends of Diesel and Biodiesel Fuels with Butanol Isomers. *Journal of the Energy Institute*, 92(4), 1223-1231.

- Heywood J. B., (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. USA: McGraw-Hill, Inc.
- Higashide W., Li Y. and Yang Y., (2011). Metabolic Engineering of *Clostridium Cellulolyticum* for Production of Isobutanol from Cellulose. *Appl. Environ. Microbiol.*, 77, 2727-2733
- Hoseini S. S., Najafi G., Ghobadian B., Mamat R., Sidik N. A. C. and Azmi W.H., (2017). The Effect of Combustion Management on Diesel Engine Emissions Fueled with Biodiesel-Diesel Blends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 307-331.
- Karabektaş M. and Hoşöz M., (2009). Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Using Isobutanol–Diesel Fuel Blends. *Renewable Energy*, 34, 1554-1559.
- Kumar B.R. and Saravanan S., (2016). Use of Higher Alcohol Biofuels in Diesel Engines: a Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 84-115.
- Kumar V., Gupta D., Siddiquee M. N., Nagpal A, Kumar N, (2015). Performance and Emission Characteristics of N-Butanol and Iso-Butanol Diesel Blend Comparison. *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/2015-01-2819.
- Li S., Liu J., Wang F., Wang J., Wei M., Yang S., (2019). Experimental Study on Combustion and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fueled with Diesel-Gasoline-Iso-Butanol Blends. *Fuel*, 255, 115761.
- Mathan Raj V., Ganapathy Subramanian L.R., Manikandaraja G., (2018). Experimental Study of Effect of Isobutanol in Performance, Combustion and Emission Characteristics of CI Engine Fuelled with Cotton Seed Oil Blended Diesel. *Alexandria Engineering Journal*, 57(3), 1369- 1378.
- Ogunkunle O. and Ahmed N.A., (2019). A Review of Global Current Scenario of Biodiesel Adoption and Combustion in Vehicular Diesel Engines. *Energy Reports*, 5, 1560- 1579.
- Ozsezen A. N., Çanakcı M., (2010). The Emission Analysis of an IDI Diesel Engine Fueled with Methyl Ester of Waste Frying Palm Oil and Its Blends. *Biomass Bioenerg*, 34, 1870-1878.
- Özsezen A. N., Türkcan A., Sayin C. and Canakci M., (2011). Comparison of Performance and Combustion Parameters in A Heavy-Duty Diesel Engine Fueled with Iso-Butanol/Diesel Fuel Blends. *Energy Exploration & Exploitation*, 29, 525-541.
- Putrasari Y., Lim O., (2019). A Review of Gasoline Compression Ignition: A Promising Technology Potentially Fueled with Mixtures of Gasoline and Biodiesel to Meet Future Engine Efficiency and Emission Targets. *Energies*, 12(2), 238.

- Saravanan S., Kumar R., Varadharajan A., Rana D., Sethuramasamyraja B, Narayana L., (2017). Optimization of DI Diesel Engine Parameters Fueled with Iso-Butanol/Diesel Blends. *Response surface methodology approach Fuel*, 203, 658-670.
- Sastry G. R. K., Deb M. and Panda J. K., (2015). Effect of Fuel Injection Pressure, Isobutanol and Ethanol Addition on Performance of Diesel-Biodiesel Fuelled DI Diesel Engine. *Energy Procedia*, 66, 81-84.
- Shamun S., Belgiorio G., Blasio G. D., Beatrice C., Tunér M., Tunestål P., (2018). Performance and Emissions of Diesel-Biodiesel-Ethanol Blends in a Light Duty Compression Ignition Engine. *Applied Thermal Engineering*, 145, 444-452.
- Singh M. Sandhu S.S., (2020) Performance, Emission and Combustion Characteristics of Multi-Cylinder CRDI Engine Fueled with Argemone Biodiesel/Diesel Blends. *Fuel*, 265, 117024.
- Teoh Y. H., Yu K. H., How H. G., Nguyen H. T., (2019). Experimental Investigation of Performance, Emission and Combustion Characteristics of a Common-Rail Diesel Engine Fuelled with Bioethanol as a Fuel Additive in Coconut Oil Biodiesel Blends. *Energies*, 12(10), 1954.
- Tüccar G., Tosun E., Uludamar E., (2018). Investigations of Effects of Density and Viscosity of Diesel and Biodiesel Fuels on NO_x and other Emission Formations. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6(2), 81-85.
- Turkcan A., (2018). Effects of High Bioethanol Proportion in The Biodiesel-Diesel Blends in a CRDI Engine. *Fuel*, 223, 53-62.
- URL-1: <https://www.biodiesel.org/production/production-statistics>, (Ziyaret Tarihi: 01 Aralık 2021)
- URL-2: <https://ebb-eu.org/about-biodiesel/>, (Ziyaret Tarihi: 01 Aralık 2021)
- URL-3: <http://www.biyodizel.org.tr/>, (Ziyaret Tarihi: 01 Aralık 2021)
- URL-4: <https://www.petder.org.tr/>, (Ziyaret Tarihi: 01 Aralık 2021)
- URL-5: <https://www.iea.org/>, (Ziyaret Tarihi: 01 Aralık 2021)
- Williams M. and Minjares R., (2016). A Technical Summary of Euro 6/VI Vehicle Emission Standards. *The International Council on Clean Transportation*. Technical Briefing.
- Xiaa Qi, Wanga Kui, Hanb Z., Tianb W., (2019). A Comparative Study of Combustion and Emission Characteristics of Butanol Isomers on a Diesel Engine with Dual Fuel Butanol Isomers/Diesel Compound Combustion. *Fuel*, 254, 115581.
- Xiao H., Guo F., Wang R., Yang X., Li S., Ruan J., (2020). Combustion Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine Fueled with Iso-Butanol/Biodiesel Blends. *Fuel*, 268, 117387.

- Yang P. M., Lin K. C., Lin Y. C., Jhang S. R., Chen S. C., (2016). Emission Evaluation of a Diesel Engine Generator Operating with a Proportion of Isobutanol as a Fuel Additive in Biodiesel Blends. *Applied Thermal Engineering*, 100, 628-635.
- Yesilyurt M. K., (2020). A Detailed Investigation on The Performance, Combustion, and Exhaust Emission Characteristics of a Diesel Engine Running on The Blend of Diesel Fuel, Biodiesel and 1-Heptanol (C7 Alcohol) as a Next Generation Higher Alcohol. *Fuel*, 275, 117893.
- Yesilyurt M. K., Aydin M., Yilbasi Z., Arslan M., (2020). Investigation on The Structural Effects of The Addition of Alcohols Having Various Chain Lengths into The Vegetable Oilbiodiesel-Diesel Fuel Blends: An Attempt for Improving The Performance, Combustion, and Exhaust Emission Characteristics of a Compression Ignition Engine. *Fuel*, 269, 117455.
- Yilmaz N., Vigil F. M., Benalil K., Davis S. M. and Calva A., (2014). Effect of Biodiesel–Butanol Fuel Blends on Emissions and Performance Characteristics of a Diesel Engine. *Fuel*, 135, 46-50.
- Zeldovich Y. B., Sadovnikov P. Y. and Frank-Kamenetski D. A., (1947). Oxidation of Nitrogen in Combustion. *Academy of Sciences of USSR, Institute of Chemical Physics*.
- Zheng Z., Liu C. Li, Zhang H., Y., Zhong X., and Yao M., (2015). Experimental Study on Diesel Conventional and Low Temperature Combustion by Fueling Four Isomers of Butanol. *Fuel*, 141, 109-119.
- Zhu L., Cheung C. S, Zhang W. G., Huang Z., (2011). Combustion, Performance and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine Fueled with Ethanol-Biodiesel Blends. *Fuel*, 90, 1743-50.
- Zhu L., Cheung C. S., Zhang W. G., Huang Z., (2010). Emissions Characteristics of a Diesel Engine Operating on Biodiesel and Biodiesel Blended with Ethanol and Methanol. *Sci. Total Environ.*, 408, 914-921.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Öztürk Y.E., Altinkurt M.D., Türkcan A., (2020). Dizel-Biyodizel-İzobütanol Üçlü Karışımları Kullanılan Bir Dizel Motorda Performans Ve Emisyon Karakteristiklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Uluslararası Yanma Sempozyumu (Proceedings of INCOS2020)*, Kayseri, Türkiye, 17-19 Eylül 2020.



ÖZGEÇMİŞ

Lise öğrenimini Giresun Anadolu Öğretmen Lisesi'nde tamamladı. 2010 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü'nden 2014 yılında mezun oldu. 2016-2022 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Öğrenimine devam etmektedir. 2015 başladığı profesyonel çalışma hayatına sırasıyla Galsan Plastik ve Kalıp Sanayi A.Ş ve A Raymond Bağlantı Elemanları Sanayi ve Ticaret Lid. Şti'de Satınalma Mühendisi olarak çalıştı. Mayıs 2021 yılından itibaren Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.'de çalışma hayatına devam etmektedir.

