



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**FARKLI ALKOL YAKIT KULLANILAN
BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA
PERFORMANS, EMİSYON VE YANMA
KARAKTERİSTİKLERİNDEKİ
DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ**

MELTEM GÖKTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Cenk SAYIN

İSTANBUL, 2019



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**FARKLI ALKOL YAKIT KULLANILAN
BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA
PERFORMANS, EMİSYON VE YANMA
KARAKTERİSTİKLERİNDEKİ
DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ**

MELTEM GÖKTAŞ

(523216016)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Cenk SAYIN

İSTANBUL, 2019

MARMARA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Meltem GÖKTAŞ'ın "Farklı Alkol Yakıt Kullanılan Buji Ateşlemeli Motorlarda Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristiklerindeki Değişimlerin İncelenmesi" başlıklı tez çalışması, 3 Temmuz 2019 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Cenk SAYIN

(Danışman)

Marmara Üniversitesi

Prof.Dr. Osman ISIKAN

(Üye)

Marmara Üniversitesi

Doç.Dr. Ali TÜRKCAN

(Üye)

Kocaeli Üniversitesi

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 10.07.../2019 tarih ve 2019/14-06 sayılı kararı ile Meltem GÖKTAŞ'ın Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Bülent Ekici





ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR

Fosil yakıtlar ile çalışan taşıtların her geçen gün sayıca artması, çevrede zararlı gazların artmasına ve petrol rezervlerinin hızla azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, bu zararları minimize etmek için buji ateşlemeli motorlarda istenilen performansı elde edebilen ve çevreye daha az oranda egzoz emisyonu bırakabilen alternatif yakıt arayışında bulunulmuştur.

Bu çalışmada; buji ateşlemeli motorlarda alkol yakıt kullanılması durumunda motor performansında, egzoz emisyonlarında ve yanma karakteristiklerinde ne gibi değişikliklerin olduğu üzerine gerçekleştirilen çalışmalara ait makaleler tespit edilmiş, toplanmış ve detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde emeği geçen herkese, özellikle tez çalışmamın her bir aşamasında zamanını ayıran ve hiçbir yardımını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Cenk SAYIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2019

Meltem GÖKTAŞ

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
SEMBOLLER.....	vi
KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. Genel Bilgiler.....	4
1.2.1. Alkoller.....	4
1.2.1.1. Metanol.....	6
1.2.1.2. Etanol.....	11
1.2.1.3. Propanol.....	14
1.2.1.4. Bütanol	17
1.2.2. Performans Parametreleri	21
1.2.2.1. Termal Verim (TV)	21
1.2.2.2. Tork (T)	21
1.2.2.3. Efektif Güç (EG)	21
1.2.2.4. Volümetrik Verim (VV)	21
1.2.2.5. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT).....	22
1.2.3. Yanma Karakteristikleri	22
1.2.3.1. Silindir Gaz Basıncı (SGB)	22
1.2.3.2. Isı Salınım Hızı (ISH).....	22
1.2.3.3. Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGS)	22

1.2.4. Emisyonlar.....	23
1.2.4.1. Hidrokarbon (HC)	23
1.2.4.2. Karbonmonoksit (CO)	23
1.2.4.3. Karbondioksit (CO ₂).....	24
1.2.4.4. Azot Oksitler (NO _x).....	24
1.3. Günümüze Kadar Yapılan Çalışmalar	25
2. MATERYAL VE YÖNTEM	31
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
3.1. Performans Parametreleri	33
3.1.1. Termal Verim (TV)	33
3.1.2. Tork (T)	42
3.1.3. Efektif Güç (EG)	48
3.1.4. Volümetrik Verim (VV)	54
3.1.5. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)	57
3.2. Emisyon	63
3.2.1. Hidrokarbon (HC) Emisyonu	63
3.2.2. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu.....	73
3.2.3. Karbondioksit (CO ₂) Emisyonu	82
3.2.4. Azot Oksit (NO _x) Emisyonu.....	90
3.3. Yanma Karakteristikleri.....	98
3.3.1. Silindir Gaz Basıncı (SGB)	98
3.3.2. Isı Salınım Hızı (ISH).....	103
3.3.3. Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGS)	105
4. SONUÇLAR.....	109
KAYNAKLAR.....	115
EKLER	127
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

FARKLI ALKOL YAKIT KULLANILAN BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA PERFORMANS, EMİSYON VE YANMA KARAKTERİSTİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ

Zamanla enerjiye olan ihtiyacın artmasıyla bu ihtiyaçların karşılanması için fosil yakıtlar gibi çevreye zarar veren yakıtların kullanılması; insanları, çevre ile dost olan ve ihtiyaçları istenilen seviyede karşılayabilen enerji kaynakları arayışlarına yönlendirmiştir. Fosil yakıtlar ile çalışan taşıtlar, çevrede zararlı gazların artmasına ve petrol rezervlerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu yüzden, bu zararları azaltmak için pek çok araştırmacı benzinli motorlarda istenilen performansı elde edebilen ve çevreye daha az oranda emisyon bırakabilen yakıt arayışında bulunmuşlardır. Saf olarak ya da belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak kullanılan alkoller, bu yakıtlardan bazılarıdır. Alkollerin söz konusu avantajlarından yola çıkılarak, buji ateşlemeli motorlarda alkollü yakıt kullanılması üzerine geçmişten günümüze çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında da, benzinli motorlarda alkol yakıt kullanılması durumunda motor performansında, emisyonlarda ve yanma karakteristiklerinde gerçekleşen değişimleri belirten çalışmalar detaylı bir şekilde incelenerek tablolar oluşturulmuş ve bu tablolarda ilgili parametrelerdeki artış ve azalışlar belirtilmiştir. Ayrıca, hangi çeşit ve ne kadarlık oranda alkol kullanılmasıyla, bu parametrelerde, benzinin kullanılmasına kıyasla gerçekleşen değişimleri belirten şekiller oluşturulmuştur. Yapılan araştırmalar neticesinde; benzinli motorlarda alkol kullanılmasıyla, genel itibariyle, termal verimin arttığı, özellikle metanol ve etanolün kullanılmasıyla tork, efektif güç, volümetrik verim ve özgül yakıt tüketiminin arttığı sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, alkol kullanımı ile genel olarak hidrokarbon (HC) ve karbonmonoksit (CO) emisyonlarının azaldığı, karbondioksit (CO₂) emisyonunun arttığı; azot oksit (NO_x) emisyonlarının hem arttığı hem de azaldığı gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, silindir gaz basıncının metanol ile arttığı ve etanol ve bütanol ile azaldığı, ısı salınım hızının etanol ile azaldığı ve iso-propanol ile arttığı ve egzoz gazı sıcaklığının ise azaldığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Metanol, Etanol, Propanol, Bütanol, Benzin, Buji Ateşlemeli Motor, Motor Performansı, Egzoz Emisyonları, Yanma Karakteristikleri

ABSTRACT

AN INVESTIGATION OF CHANGES ON PERFORMANCE, EMISSION AND COMBUSTION CHARACTERISTICS IN SPARK IGNITION ENGINES USED DIFFERENT ALCOHOL FUELS

By increasing energy demand in time, using fuels which damage environment like fossils to supply this demand led the people to search new energy sources which are environment-friendly and can supply needs in desired level. Vehicles powered by fossil-fuels cause to increase harmful gases in the environment and decrease petroleum reserves. Hence, to minimize these damages, many researchers were in search of fuels which could obtain desired performance and release minimum rates of exhaust emissions in spark ignition (SI) engines. Alcohols (methanol, ethanol, propanol and butanol) which are used in pure form or blending with gasoline in definite proportions are some of these fuels. By these advantages of alcohols, many experimental studies were carried out about using alcohols in spark ignition engines from past to present.

In this thesis study, experimental studies which indicate the changes in performance parameters, emissions and combustion characteristics by using alcohol in SI engines were investigated in detail and the increments and decrements in related parameters were indicated in separated tables. In addition, the graphs which indicate how much alteration obtained by using which kind of alcohol and which amount of this alcohol in comparison with using gasoline were created. In results of researches conducted, by using alcohol in SI engines, generally, thermal efficiency increased; torque, brake power, volumetric efficiency and specific fuel consumption increased by methanol and ethanol, especially; hydrocarbon (HC), carbon monoxide (CO) emissions decreased and carbon dioxide (CO₂) emission increased by alcohol, generally; nitrogen oxide (NO_x) emission both increased and decreased by alcohols, generally; in-cylinder pressure increased by methanol and decreased by ethanol and butanol; heat release rate decreased by ethanol and increased by iso-propanol; and exhaust gas temperature decreased.

Keywords: Methanol, Ethanol, Propanol, Butanol, Spark-Ignition Engine, Engine Performance, Exhaust Emissions, Combustion Characteristics

SEMBOLLER

CO	: Karbonmonoksit emisyonu [%]
CO₂	: Karbondioksit emisyonu [%]
HC	: Hidrokarbon emisyonu [%]
NO_x	: Azot oksit emisyonu
N	: Motor devri [rpm]
N_e	: Efektif güç [kW]
V_d	: Strok hacmi [m ³]
$\dot{m}_h$	: Silindire alınan havanın kütleli debisi [kg/s]
$\dot{m}_y$	: Yakıtın kütleli debisi [kg/s]
ρ_h	: Havanın yoğunluğu [kg/m ³]
λ	: Hava fazlalık katsayısı

KISALTMALAR

B	: Bütanol
C/H	: Karbon/Hidrojen oranı
E	: Etanol
EG	: Efektif güç [kW]
EGD	: Egzoz Gazı Devirdaim oranı
EGS	: Egzoz gazı sıcaklığı [°C]
HFK	: Hava fazlalık katsayısı
ISH	: Isı salınım hızı [kJ/°]
H/Y	: Hava/Yakıt oranı
iP	: İzopropanol
iB	: İzobüanol
LHV	: Alt ısı değer [MJ/kg]
M	: Metanol
niB	: n-iso-Bütanol
nB	: n-Bütanol
ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi [kJ/kWh]
P	: Propanol
SB	: Saf benzin
SGB	: Silindir gaz basıncı [bar]
SO	: Sıkıştırma oranı
TV	: Termal verim
T	: Tork [N/m]
VV	: Volümetrik verim
W	: Su

ŞEKİL LİSTESİ

	SAYFA
Şekil 1.1. 2014-2018 yılları arasında dünyadaki petrol talep miktarı ve 2018 yılından sonraki tahmini petrol talep miktarı	1
Şekil 1.2. Etanol üretim basamakları	13
Şekil 1.3. Propanol ve iso-propanolün açık kimyasal formülleri	16
Şekil 1.4. Bütanol ve iso-bütanolün açık kimyasal formülleri	17
Şekil 1.5. Clostridium’larda ABE üretim aşamaları	20
Şekil 3.1. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının TV’e etkisi	41
Şekil 3.2. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının T’a etkisi	47
Şekil 3.3. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının EG’e etkisi	53
Şekil 3.4. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının VV’e etkisi	56
Şekil 3.5. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının ÖYT’ne etkisi	62
Şekil 3.6. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının HC emisyonuna etkisi	72
Şekil 3.7. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının CO emisyonuna etkisi	81
Şekil 3.8. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının CO ₂ emisyonuna etkisi	89
Şekil 3.9. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının NO _x emisyonuna etkisi	97
Şekil 3.10. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının SGB’na etkisi	102
Şekil 3.11. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının ISH’na etkisi	104
Şekil 3.12. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının EGS’na etkisi	108

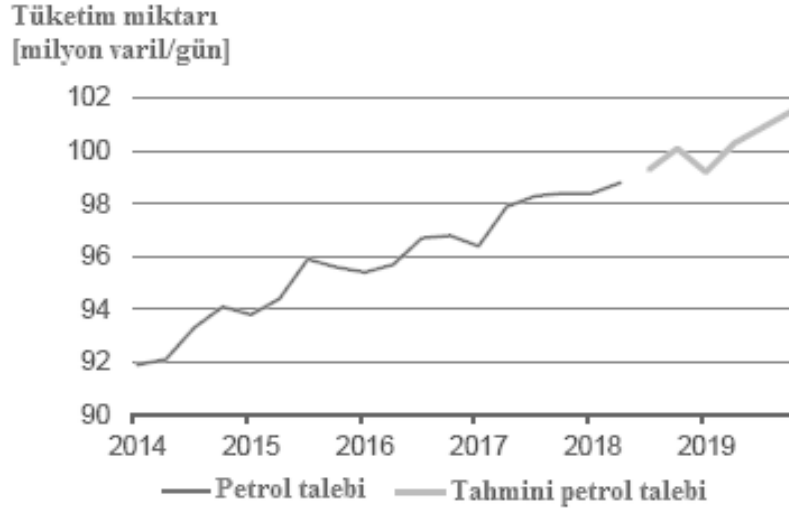
TABLO LİSTESİ

	SAYFA
Tablo 1.1. Benzin ve Metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri	7
Tablo 1.2. Etanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri	12
Tablo 1.3. Farklı biyokütle kaynaklarının etanol potansiyelleri	14
Tablo 1.4. Propanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri	15
Tablo 1.5. İzopropanolün kimyasal özellikleri	16
Tablo 1.6. Bütanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri	18
Tablo 1.7. İzobütanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri	18

1. GİRİŞ

Enerji, ekonomik faaliyetin temel girdisidir. Modern enerji hizmetleri; evlerimizi ve okullarımızı aydınlatır, üretim ve tüketim için ekonomik faaliyeti artırır, konfor ve hareketlilik sağlar, sağlık ve refaha katkıda bulunur. 20. yüzyıl, küresel nüfusta, ekonomik çıktıda ve fosil yakıt tüketiminde büyük artışlara tanık olmuştur. Büyümenin kazançları birçok kişi için etkileyiciydi. Ancak bu kazanımlar, sürdürülebilir olmayan uygulamaların egemen olduğu bir dizi çevresel sistem üzerinde sıkıntı yaşamıştır. Doğal kaynakların sürekli kötüye gitmesi, giderek artan bir nüfusun ihtiyaçlarını karşılama ve ekonomik faaliyeti zayıflatma yeteneğini zorlayabilir [1].

Petrolün küresel enerji tüketiminden aldığı pay yüksektir. Bu nedenle, petrol fiyatları (petrol fiyatları ile ham petrol fiyatları), ülke ekonomilerini önemli ölçüde etkilemektedir. Petrol fiyatlarının ülke ekonomilerine etkisinin büyüklüğü, genel itibariyle ülkelerin petrole olan bağımlılığı ve petrol gelirlerinin ve giderlerinin milli gelirdeki payına göre değişmektedir. Petrol fiyatındaki değişimlerin, petrol ithal eden ülkelerde, fiyatlar genel seviyesi, ödemeler dengesi, istihdam, milli gelir gibi çeşitli makroekonomik büyüklükler üzerinde etkisi vardır [2].



Şekil 1.1 2014-2018 yılları arasında dünyadaki petrol talep miktarı ve 2018 yılından sonraki tahmini petrol talep miktarı [3]

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirlilik, günümüzde ısınma ve sanayi kaynaklı hava kirliliğinden daha çok etkilidir. İçten yanmalı motorlar (IYM) kullanıldığı sürece zararlı gazların çıkması normaldir. Ancak zararlı gazların en aza indirilmesi gerekir. Bir taşıt motoru bir insanın 15 m³'lük günlük ihtiyacı olan havayı yalnızca 10 dakikada sağlığa zararlı duruma getirebilmektedir. Benzin motorlarında tam yanma gerçekleştiğinde egzozdan çıkan zararlı gazlar azaltılmaktadır. Ancak karışımın tam olarak yanabildiği ideal durum (14,7/1 Stokiyometrik HYO veya $\lambda=1$) teorik olarak gerçekleşir. İdeal yanma ortamında yalnızca CO₂ ve H₂O açığa çıkar. Her iki madde de zararlı değildir. Ancak bilim adamları tarafından, CO₂'nin atmosferin ısınmasına sebebiyet verdiği açıklanmaktadır. Fosil yakıtların kullanılması ile oluşan CO₂'nin teknik olarak ortadan kaldırılması imkansız olması sebebiyle, gazın en az çıkışı için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Egzozlardan havaya en önemli kirlilikler arasında kükürt dioksit (SO₂) (dizel motorlarda), CO, HC, NO_x ve kurşun bileşikleri gösterilmektedir [4].

Alternatif yakıt arayışları ve alternatif yakıtların içten yanmalı motorlarda (IYM) kullanılabilirliklerinin araştırılması; petrole olan bağımlılığın aza indirgenmesi, gelecekte yaşanabilecek petrol krizlerinin minimum sıkıntıyla atlatılabilmesi ve çevrenin zararlı etkilerden korunabilmesi için zorunlu hale geldiği ifade edilmektedir. Bu sebeple yapılan çalışmalar, IYM'da değişik yapısal ve işletme koşullarında istenilen gücün en ekonomik ve çevreye en az zararla alınabilmesi için ivme kazanmıştır [5].

Alkoller, LPG (Likit petrol gazı), biyodizel ve doğalgaz IYM'da belirli oranlarda kullanılabilecek alternatif yakıtlardır. Alkol yakıtlar olarak metanol (M), etanol (E), propanol (P) ve bütanol (B) kullanılmaktadır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Mevcut enerji kaynaklarının etkin kullanılması, petrole bağımlılığın azaltılması ve ekolojik dengenin korunmasına katkının sağlanması açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu olumsuzlukların minimum seviyeye indirilmesi için araştırmacılar, alternatif yakıtlar üzerinde çalışmalarını sürdürmektedirler. Araştırmacıların yaptıkları çalışmalarda motorlu taşıtlarda alternatif yakıt olarak alkol (metanol, etanol vb.), hidrojen, bitkisel yağlar, doğalgaz ve sıvılaştırılmış petrol belirtilmektedir. Belirtilen alternatif yakıtların tercih edilebilmeleri için birim fiyatları ucuz olmalı, yerli kaynaklardan üretilmeli,

taşıtlardaki mevcut yakıt donanımlarında en az değişiklikle kullanılabilirmeli ve motor performansında önemli bir azalma meydana getirmeyecek özellikte olmalı ve emisyonları düşük olmalıdır [6].

Alternatif yakıt türlerinden olan alkollerin avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Alkoller ham petrolden elde edilen yakıtların yerine geçebilirler,
- Ham petrol yataklarına sahip olmayan ülkeler enerji ihtiyaçlarını petrole bağımlı olmadan karşılayabilirler,
- Alkol üretimi (özellikle etanol), tarımsal imkânları geniş olan ülkelerin çiftçileri için iyi bir gelir kaynağı oluşturabilir,
- Alkoller oktan sayısı 90-100 olan benzin ile karşılaştırıldığında, 110 gibi yüksek oktan sayısına sahiptir. Bu durumda, motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarına çıkılarak, motor performansı artırılabilir. Diğer bir deyişle, daha küçük hacme sahip motorlarda daha büyük güçler elde edilebilir,
- Yakıt olarak saf metanol kullanılan bir motorun performansında aynı motorun benzinle çalıştırmasına kıyasla %10 daha fazla güç artışı görülmüştür,
- Alkoller benzinlere göre daha fakir karışımlarda çalışabilirler,
- Alkoller benzinle karıştırıldığında karışımın oktan sayısını arttırıcı etki gösterirler. Örneğin, %10 metanol, %90 benzin karışımının oktan sayısı 95'dir [7].

Bu tez çalışmasında, alkollerin buji ateşlemeli motorlarda kullanılmasının söz konusu avantajlarından yola çıkılarak, performans, emisyon ve yanma karakteristikleri üzerinde geçmişten günümüze yapılmış çalışmaların incelenmesi, yorumlanması ve karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca buji ateşlemeli motorlarda farklı çalışma parametreleri için optimum karışım oranlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

1.2. Genel Bilgiler

IYM’larda kullanılan alkoller, performans parametreleri, emisyonlar ve yanma karakteristikleri hakkında ayrıntılı bilgiler alt başlıklar halinde aşağıda sunulmaktadır.

1.2.1. Alkoller

Alkoller kimyasal formül olarak $C_nH_{2n+2}O$ şeklinde sınıflandırılırlar. Renksizdirler ve keskin bir kokuya sahiptirler. Gıda, temizlik, kozmetik ve boya sanayiinde kullanılırlar. İçten yanmalı motorlarda doğrudan ya da motor yakıtlarının içerisine belirli oranlarda karıştırılarak kullanılmaktadırlar [8]. Günümüzde IYM’da kullanılan alkol yakıtlar metanol (CH_3OH), etanol (C_2H_5OH), propanol (C_3H_7OH) ve bütanol (C_4H_9OH)’dür.

Alkol, bulunmasından bu yana IYM için yakıt olarak kullanılmıştır. Alkolün motor yakıtı olarak kullanımı hakkındaki raporlar 1907’de yayınlanmış ve 1920’ler ve 1930’larda detaylı araştırmalar yapılmıştır. Tarihsel olarak, bir motor yakıtı olarak alkol kullanımının ilgi düzeyi, petrol bazlı yakıt kıtlığı ve/veya düşük yem-tahıl fiyatları döngüsünü takip etmiştir. Daha yakın zamanlarda, alkol ve diğer yenilenebilir yakıtların kullanımı, hükümet görevlileri tarafından motor emisyonlarını azaltmak ve yenilenebilir yakıt kullanımını artırmak için değerlendirilmiştir [9].

Alkol ve benzin, farklı kimyasal sınıflardan olmalarına rağmen, oldukça benzerdir. Benzin çoğunlukla HC karışımıdır. HC, sadece karbon ve hidrojen atomlarından oluşan bir grup kimyasal maddedir ve bu binlerce maddeyi içeren çok büyük bir kimyasal sınıftır [10].

Alkoller, hidrojen atomlarından birinin bir oksijen atomuna bağlı bir hidrojen atomundan oluşan bir "hidroksil grubu" ile değiştirildiği HC olarak ifade edilebilir [10]. Günümüzde, bitkisel kaynaklardan da üretilmekte olan bazı alkol yakıtların üretilmesi fiziksel ve kimyasal işlemler sonucu oluşmaktadır. Ülkemizde zirai alanları göz önünde bulundurulduğunda, bitkisel kökenli yakıt üretimi de buna paralel olarak önem arz etmektedir. Bununla birlikte, kimyasal olarak, etanol ve metanol üretimi ülkemizde gerçekleştirilmektedir. Alkol yakıtların benzinli motorlarda yakıt olarak kullanılması durumunda benzine kıyasla bazı avantajlar oluşturmaktadır. Örneğin; metanolün vuruntu direnci benzine göre daha yüksektir. Buna bağlı olarak, sıkıştırma oranının

(SO) artırılmasıyla efektif verim (η) iyileştirilebilir. Metanol benzinli motorlarda saf halde veya benzin ile karıştırılarak kullanılabilir. Saf olarak kullanılması durumunda, motor ve yakıt sisteminde bazı değişiklikler yapmak gerekirken, karışım olarak kullanıldığında herhangi bir değişiklik yapmaya gerek yoktur. Bu iki yöntemde de performans ve emisyonlarda önemli iyileşmeler elde edilmektedir [11].

Metanolün Hava/Yakıt oranının az olması stokiyometrik yanma şartlarını sağlamaktadır. Bunun için metanolün buji motorlarda kullanılmasına bağlı olarak, benzin ile karşılaştırıldığında ısı değerinden meydana gelen kayıpları kısmen tolere etmektedir. Bu nedenle birim güç başına tüketilen yakıt miktarı benzine kıyasla nispeten fazladır.

Alkollerin IYM’da kullanılması sırasında farklı yöntemler uygulanmıştır:

- Motor yakıtların içerisine belirli oranlarda karıştırılması,

Bu metotta alkoller, motor yakıtlarının içerisine hacimsel ya da kütsel olarak karıştırılarak kullanılmaktadırlar. Bu tür çalışmalarda motorda herhangi bir değişikliğe gereksinim duyulmamaktadır. Motor yakıtlarına yüksek oranlarda alkol ilavesi faz ayrışmasına neden olmaktadır. Faz ayrışmasının önlenmesi için belirli oranlarda başka kimyasalların da katıldığı görülmektedir. Motor yakıtlarının içerisine farklı oranlarda ağır alkollerin ilavesinin yakıtların termodinamik aktivasyonunu artırdığı da görülmektedir

- Emme manifolduna püskürtülerek ya da buhar halinde verilerek kullanılması,

Bu kullanım şekli manifoldtan direkt olarak alkol kullanılması gibi, emme manifolduna motor yakıtına ilave olarak buhar halinde ya da püskürtme şeklinde alkol ilavesidir. Alkollerin buharlaşma ısısının yüksek olması emme manifoldunda buharlaşırken etrafından ısı çekerek havanın yoğunluğunu düşürmektedir. Bu da emme manifolduna daha çok hava girmesine neden olmakta ve volumetrik verimin artmasını sağlamaktadır. Bu yöntemde artan devre göre alkollerin püskürtülmesi ve buhar olarak verilmesi ayrıca bir donanım ve maliyet oluşturmaktadır. Yine, alkollerin yüksek oranda su tutması korozyona sebep olduğundan emme manifoldlarının korozyona uğramayan malzemelerden yapılması gereklidir.

- Alkol ve motor yakıtlarının bir karıştırıcıda belirli oranlarda karıştırılarak motora gönderilmesi,

Bu tür kullanımda alkol ve motor yakıtları için farklı iki tip motor vardır. Bu iki depodan alkol ve motor yakıtları bir karıştırıcı yardımı ile belirli oranlarda karıştırılarak motora gönderilir. Bu tür sistemlerde artan motor devrine göre yakıtların ayarlanması, özgül yakıt tüketiminin ölçülmesi zordur. Bu tür sistemlerde alkollerin aniden motor yakıtları ile karıştırılması, karışımın tam olarak karışamamasına da neden olmaktadır. Maliyeti yüksek bir sistemdir.

- Her bir yakıt için ayrı bir enjeksiyon sisteminin kullanılması,

Bu tür sistemlerde alkol ve motor yakıtları için ayrı ayrı enjeksiyon sistemi oluşturulmakta ve silindir içerisine her iki yakıt da püskürtülmektedir. Bu tür sistemlerde köklü bir değişikliğe gereksinimin duyulması maliyeti artırmaktadır. Ayrıca, basit bir donanıma sahip motorlarda sistemin karmaşıklılığı artmakta ve kontrolü zorlaşmaktadır [8].

1.2.1.1. Metanol

Oda sıcaklığı ve basıncında renksiz bir organik sıvı olan metanol, genel olarak metil alkol veya odun ispiertosu olarak bilinir. Metanol içerisinde metil alkol bulunan, odun, kömür gibi fosil yakıtların ısı altında damıtılmaları yolu ile doğal gaza birtakım damıtma işlemleri uygulanarak veya CO ve hidrojenin katalitik ortamda sentezleri sonucunda elde edilebilir. Metanol üretimi düşük basınçta sentez prosesi yaparak gerçekleştirilir. Benzin ve metanolün özellikleri Tablo 1.1’de verilmektedir [12]:

Tablo 1.1. Benzin ve Metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri [12, 45]

Yakıt Özellikleri	Benzin	Metanol
Kimyasal formülü	$C_{5-10}H_{12-22}$	CH_3OH
Moleküler kütle [g/mol]	95-120	32,04
C/H oranı [%]	0,444	0,25
20°C'deki yoğunluk [g/cm ³]	0,740	0,792
Alt ısı değeri [kJ/kg]	44300	20100
Stokiyometrik H/Y oranı	14,6	6,46
Araştırma oktan sayısı	90-100	108,7
Motor oktan sayısı (MOS)	82-92	88,6
Tutuşma sıcaklığı [°C]	257	455
Alevlenme noktası [°C]	25	11
20°C'deki buhar basıncı [kPa]	45-90	12,8
Gizli buharlaşma ısısı [kJ/kg]	349	1100
Kaynama noktası [°C]	27-225	64,5
Laminer yanma hızı [cm/s]	28	42
Adyabatik alev sıcaklığı [°C]	2002	1870

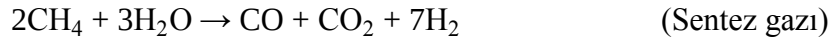
Metanol denizaşırı pazarlara gemi tankerleri, lokal satışlar içinde borular ya da varillerle sevk edilir. 2007 yılında dünya genelinde tüketimi 40 milyon tonu bulan metanolün en çok üretildiği yerler Karayipler ve Basra Körfezi'dir.

Metanol kullanımında bazı noktalara dikkat edilmelidir. Çünkü metanol, havada kolaylıkla yanabilen bir kimyasal maddedir. Ayrıca metanol buharı da bazı ortamlarda patlayıcı olabilmektedir. Zehirli bir kimyasal olması, insanlarda kalıcı körlüğe, hatta ölümlere bile sebep olabilir. Su ile her oranda karışabilecek yanıcı bir çözelti oluşturabilir. Üretilen metanolün hemen hemen %40'ı formaldehit üretimi için kullanılmaktadır. Ayrıca metanol; yakıt, yakıt katkısı, çözücü ve soğutucu olarak da kullanılmaktadır [13].

Metanolün hammaddeleri doğalgaz ve kömürdür. Metanol üretimi iki aşamada gerçekleştirilir. İlk adım, hammaddeyi CO, CO₂, H₂O ve hidrojenen oluşan bir sentez

gazına dönüştürmektir. Doğal gaz için bu, genellikle besleme gazı ve buharının katalitik olarak yeniden yapılandırılmasıyla gerçekleştirilir (buharla reforme etme). Kısmi oksidasyon başka olası bir yoldur. İkinci aşama, sentez gazından metanolün katalitik sentezidir. Bu adımların her biri birçok yolla gerçekleştirilebilir ve birden fazla teknoloji, istenilen herhangi bir uygulama için en uygun olabilecek bir spektrum yelpazesi sunar.

Metan (doğalgazın ana bileşeni) için buhar dönüştürme reaksiyonu:



Bu süreç endotermiktir ve dışarıdan temin edilen reaksiyon enerjisini gerektirir.

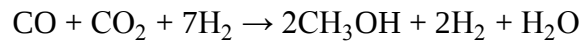
Kömür durumunda, sentez gazı hem oksijen hem de buhar kullanılarak gazlaştırma yoluyla üretilir:



Biyokütle, kömürüne benzer bir süreçle sentez gazına dönüştürülür. Biyokütle durumunda, sentez gazı düşük metan içeriği ve uygun H_2/CO oranı ile sentez gazı üretmek için yükseltilmeli (düzeltme ya da su-gaz dönüşümü yoluyla) ve temizlenmelidir.

Gazlaştırmada üretilen katranların (ağır HC) yanı sıra kül de (kuru veya cüruf olarak çıkarılabilir) vardır ve bunların katalitik reaktörden yukarı akış yönünde alınması gerekir.

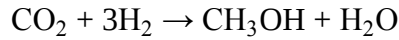
Doğal gaz durumunda:



Oldukça yüksek dönüşüm ve seçicilik ile nispeten yumuşak koşullarda çalışan

metanolün katalitik üretimi için geliştirilmiş mükemmel katalizörler vardır.

Doğal gaz süreci, önemli bir hidrojen fazlalığı ile sonuçlanır. Harici bir CO₂ kaynağı mevcutsa, fazla hidrojen tüketilebilir ve ek metanole dönüştürülebilir. En uygun gazlaştırma işlemleri, fazla hidrojenin aşağıdaki reaksiyona göre CO₂ ile reaksiyona girdiği süreçlerdir:



Buhar ile reformasyon işleminden farklı olarak, metanol sentezi ekzotermiktir. Çoğu tesis tasarımları, bu ekstra enerjiyi, süreçte ihtiyaç duyulan elektriği üretmek için kullanırlar. Aşırı enerjinin kontrolü/uzaklaştırılması zor olabilir ve bu nedenle çeşitli işlemler metanol üretimi için faz prosesleri kullanır [14].

Günümüzde, metanol yakıtı, düşük emisyon ve CO₂-nötr bir şekilde üretilme özelliği nedeniyle IYM için geçerli bir yeşil yakıt olarak kabul edilmektedir. Metanol; renksiz, saf bir maddedir ve yapısı en basit olan doymuş alkoldür. Yakıt olarak metanol kullanıldığında motor geometrisi sıkıştırma oranı önemli ölçüde artırılabilir. Bunun nedeni, daha yüksek bir oktan sayısının, sıkıştırma oranında önemli bir artışa izin vermesi ve daha yüksek buharlaşma ısısının volümetrik verimi artırmasıdır.

Metanol, IYM için çeşitli yollarla en uygun yakıtlardan biri olarak kabul edilir:

- Belirli mesleki uygulamalarda dizellerin yerini alabilecek yüksek sıkıştırma oranı ile benzinli (SI) bir motorda;
- Bir giriş port enjeksiyon benzinli motorda;
- Yüksek basınçlı direkt enjeksiyon tabakalı şarj benzinli motorda;
- Doğrudan enjeksiyonlu bir benzinli motorda;
- Turboşarjlı, liman yakıtı enjekte edilmiş, yüksek sıkıştırma oranı ile orta dereceli bir görev motorunda kullanılabilir.

Hali hazırda, geleneksel benzinli motorlar, bazı spesifik tekniklerle saf metanol (M100) veya ikili yakıt kullanılmak üzere modifiye edilebilir. Modifiye metanol motorları, çeşitli binek araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yakıt Olarak Metanol-Benzin Karışımı Kullanılan Motorlar: Metanol, performans, yakıt ekonomisi ve emisyon parametrelerini artırması nedeniyle benzin ile karıştırılabilir. Motorda vuruntu temayülünü ve HC, CO, partikül maddeler ve NO_x emisyonlarını azaltabilir; termal verimliliği arttırabilir. Metanoldeki oksijen içeriği sayesinde benzinli motorlarda yanma prosesi geliştirilebilir. Metanol-benzin yakıt karışımları, CO ve yanmamış HC emisyonlarında önemli bir düşüşe neden olabilir.

Yakıt Olarak Metanol-Su Karışımı Kullanılan Motorlar: SI motorlarında çeşitli oranlarda metanol yakıtı su ile karıştırılabilir. Örneğin, M85W15 (% 85 metanol ve %15 su) veya başka oranlarla da karıştırılabilir. Metanol yakıtı, nakliye veya depolama sırasında olduğu gibi, önemli bir süre atmosfere maruz kaldığında suyu emmeye eğilimlidir. İçten yanmalı motorlar için yakıt olarak kullanılan metanol-su karışımları, metanolün üretim sürecinde tamamen kurutulması gerekmediğinden, saf metanole kıyasla ekonomik bir avantaj sağlayabilir.

Yakıt Olarak Metanol-Etanol-Benzin Karışımı Kullanılan Motorlar: Benzinli motorlarda metanol ve etanol gibi sıvı alkollerin kullanılması, ulaştırma ve yurtiçi enerji tedarikinin güvence altına alınması için umut verici bir yaklaşımdır. Metanol ve etanol, mevcut yakıt ve dağıtım altyapısı ile uyumludur ve bir araçta kolayca depolanabilir. İçten yanmalı motorlarda sadece küçük ayarlarla kullanılabilir ve benzinli motorlara kıyasla verimliliği artırma ve zararlı emisyonları azaltma potansiyeline sahiptir.

Yakıt Olarak Metanol-Benzin-n-Bütanol Karışımı Kullanılan Motorlar: Bütanol, metanole göre daha az aşındırıcıdır ve benzini taşımak için kullanılan aynı altyapı kullanılarak dağıtılabilir. Bütanol alkol, bazı küçük modifikasyonlarla benzinle kullanılmak üzere tasarlanan IYM'da kullanılabilir. Benzinde harmanlanan daha yüksek n-bütanol-metanol oranları benzinli bir motorun performans parametrelerini artırabilir. Çift alkollü-benzin karışımlarının performansı (daha yüksek performans ve daha düşük emisyon), tek alkollü benzin karışımlarını ve daha yüksek oranlarda saf benzininkini aşabilir [15].

%3 - %15'lik metanol karışımının kullanılması durumunda, doğrudan metanol ile temas eden yakıt sisteminin (plastikler) materyallerinin uyarlanması gerekir. Saf metanol, başlangıçta düşük buhar basıncı soğuk başlatma sorunlarına yol açtığı için araçlarda

kullanıma uygun değildi. Bu nedenle, metanole hacimce %10-15'lik benzin ilave edilmiştir. M85'in yakıt özelliklerini en uygun şekilde kullanmak için, mevcut motor yapısında değişiklikler gereklidir [16].

Metanol daha ekonomik olarak uygulanabilir ve sıvılaştırılmış doğalgazdan daha fazla fayda sağlayabilir. Her şeyden önce, metanol, yıllık 55 milyon tonluk üretimiyle büyük bir hammadde piyasasıdır. Kolayca temin edilebilir ve doğal gaz, kömür ve biyokütle gibi çeşitli hammaddelerden üretilebilir. Oda sıcaklığında sıvıdır, bu nedenle sıvılaştırılmış doğalgaz durumunda olduğu gibi yüksek basınçlı veya soğuk depoda veya karada depolama gerektirmez. Metanol makul yakıt ve dönüşüm maliyetlerine sahiptir. [17].

1.2.1.2. Etanol

Genellikle C_2H_5OH olarak kısaltılmış en basit ikinci alkoldür. Uçucu, yanıcı, renksiz bir sıvıdır. Biyokütleden üretilen etanol, tamamen biyolojik olarak parçalanabilir ve yenilenebilir olabilir. Diğer bir avantajı, benzine kıyasla yüksek oktan sayısına sahip olmasıdır. Etanol çok kolay su çeker ve bu da depolamayı sorunlu hale getirir. Etanol, gaz yakıtından daha yüksek enerji yoğunluğuna ve nispeten düşük C/H oranına (0,33) sahiptir [18].

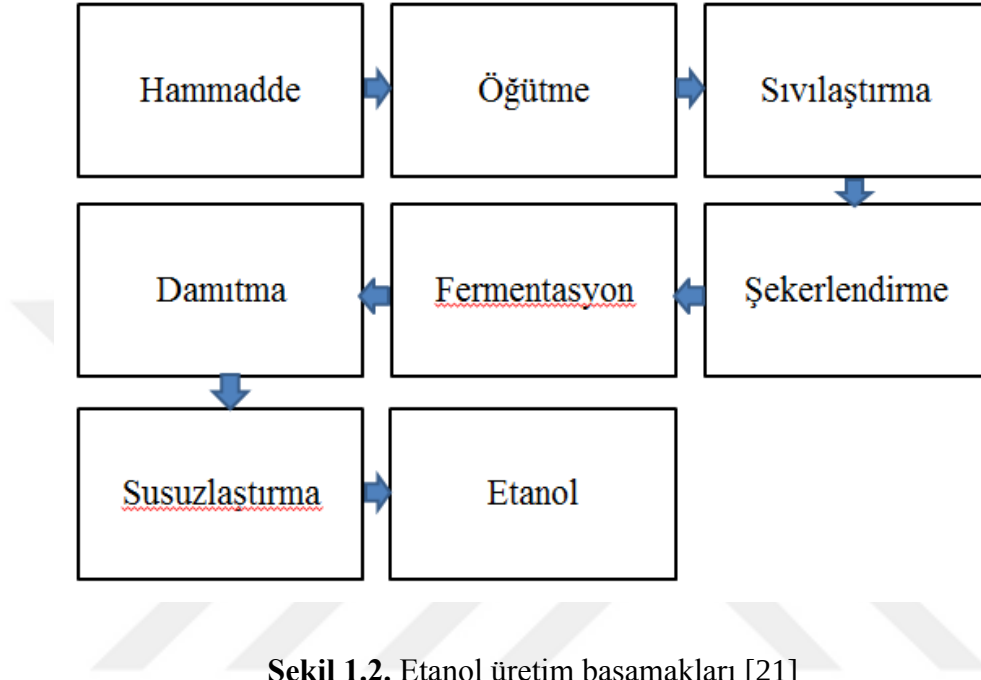
Tablo 1.2. Etanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri [19]

Özellikler	
Kimyasal formül	C ₂ H ₅ OH
Moleküler kütle [kg/kmol]	46,07
Özgül ağırlık [kg/m ³]	0,794
15 °C'deki yoğunluk [kg/m ³]	785-810
Kinematik viskozitesi [mm ² /s]	1,221
Isıl değer [MJ/kg]	26,8
Gizli buharlaşma ısısı [kJ/kg]	900-920
Uçuculuk endeksi	<234
Buhar basıncı (37.815 °C'de) [kPa]	17
Seçilebilir oktan sayısı (ROS)	108,6-110
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı [°C]	425
Hava/Yakıt oranı	8,97
C/H oranı	0,33
Karbon içeriği [kütle %]	52,2
Oksijen içeriği [kütle %]	34,7
Hidrojen içeriği [kütle %]	13
Su içeriği [kütle %]	0,5-5 (kalite ve depolama durumuna bağlı)
Suda çözünürlüğü [%]	100

Büyük ölçekli biyokütle-etanol endüstrisi çoğunlukla şeker kamışı veya şeker pancarı suyu, mısır veya buğday kullanır. Etanol ayrıca, bir yan ürün olarak kağıt hamuru ve kağıt endüstrisinde de ticari olarak üretilmektedir. Lignoselülozik biyokütle, düşük maliyet ve bulunabilirliklerinin fazla olması nedeniyle orta ve uzun vadede biyo-etanol üretimi için hammaddelerin önemli bir kısmını sağlamak için öngörülmektedir [20].

Kullanılan hammadde kaynağı ne olursa olsun etanol üretimi sırasında kullanılan yöntemlerin temel prensipleri aynıdır. Etanol üretiminde biyokütle, dört aşamadan geçerek etanole dönüşür. Bu aşamalar; şekerin açığa çıkması için ön işlemlerin

uygulanması, bakteri ya da mayaların kullanılması ile şekerin etanol ve CO₂'e dönüşmesi, etanolün distilasyon yöntemi ile fermentasyon ortamındaki diğer bileşenlerden ayrılması, dehidrasyon uygulaması ile etanolde karışık bulunan suyun uzaklaştırılmasıdır. Şekil 1.3' de etanol üretimindeki temel basamaklar gösterilmiştir.



Hammadde temini, etanol üretiminde karşılaşılan önemli bir problemdir. Hammadde fiyatı ve kalitesi mevsimden mevsime değişiklik gösterebilmektedir. Çoğu tarım ürününü her yıl aynı miktar ve kalitede üretmek imkansızdır. Coğrafi koşullar, mevsim durumları, toprak verimliliği, toprak eğimi ve tarımsal çalışmalar, ürünün miktar ve kalitesini önemli oranda etkileyebilmektedir. Bu gibi çevresel faktörler daha farklı doğal kaynaklar arayışına sebep olmaktadır. Etanolün büyük çoğunluğunu mısır ve şeker kamışından sağlayan ABD ve Brezilya, dünya etanol üretiminin yaklaşık %70'ini oluşturmaktadırlar. Kullanılan hammadde ülkelerin iklim ve coğrafi koşullarına göre değişiklik göstermektedir. Tablo 1.3'de farklı biyokütle kaynaklarının etanol potansiyelleri verilmiştir [21].

Tablo 1.3. Farklı biyokütle kaynaklarının etanol potansiyelleri [21]

Hammadde	Etanol Potansiyeli [l/ton]
Şeker kamışı	70
Şeker pancarı	110
Mısır	360
Pirinç	430
Buğday	340
Arpa	250
Tatlı Sorgum	60
Küspe ve diğer selülozik biyoküteller	280

Etanolün buharlaşma ısısı, oktan sayısı ve kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olması benzinli motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarında kullanılmasını ve böylece motor gücünün artmasını sağlamaktadır. Ayrıca etanol, yüksek buharlaşma ısısına sahip olması sebebiyle emilen taze karışım üzerinde soğutucu etki oluşturmakta ve bu durum da motorun volümetrik verimini artırmaktadır. Etanol, benzinli motorlarda saf olarak ya da benzinle belirli oranlarda karıştırılarak kullanılmaktadır. Etanol ile çalışan motorlarda CO, CO₂ ve NO_x emisyonları benzine göre daha az oranlarda oluşmaktadır [22].

E5 (%5 Etanol-%95 Benzin karışımı) ve E10 (%10 Etanol-%90 Benzin karışımı) tüm dünyada pazarda yer almakta ve genellikle mevcut benzinli motorlarla uyumluluk göstermektedir. Gözlemlenen problemler eski araçlarla ilişkilidir. Bu problemler temel olarak yakıt hatlarındaki korozyon, yakıt hattındaki kauçuk veya plastik parçaların şişmesi ve çatlaması ve motorun soğuk çalıştırılması ile ilgilidir [23].

1.2.1.3. Propanol

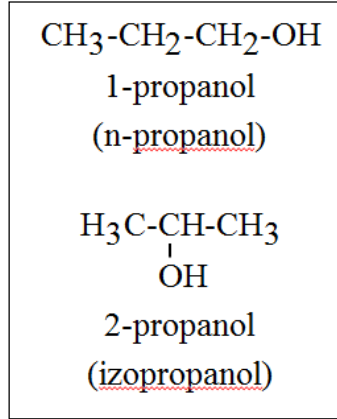
Fosil rezervlerini tüketme endişeleri nedeniyle, bu alkolü üretmek için çeşitli sürdürülebilir yollar geliştirilmiştir. Propanol, biyokütle veya belediye katı atık gibi hammaddeden üretilir. Bu hammaddeler, sentez gazına (CO, H₂ ve CO₂)

gazlaştırılır ve daha sonra *Clostridium ljungdahlii* ve *Clostridium ragsdalei* gibi mikrobiyal katalizörler kullanılarak biyoyakıtlara dönüştürülür. Bununla birlikte, *Clostridium* türlerinden, treonin katabolizması veya mayadan bira fermentasyonunda mikrobik propanol üretimi, 70 mg / L'den daha az olan çok küçük miktarlarda üretilmiştir. Doğal olarak, büyük miktarlarda glikozdan propanol üretebilen herhangi bir mikroorganizma yoktur. Bu nedenle, araştırmacılar, geleneksel kompleks *Clostridium* türlerine göre kolayca manipüle edilebilen bir mikroorganizma olan *Escherichia coli*'den sanayi ile ilgili miktarlarda propanol üretmek için biyo-sentetik yollara yönelmişlerdir. Son zamanlarda, yeni bir mühendislik çalışması *Escherichia coli*'den 1-propanol ve etanolün birlikte çalışmasını geliştirmek için çeşitli biyokimyasal, genetik ve metabolik mühendislik stratejileri tasarlanmıştır [24].

Tablo 1.4. Propanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri [25]

Özellikler	
Kimyasal formül	C ₃ H ₇ OH
Saflık [%, v/v]	99,5
15°C'deki yoğunluğu (kg/m ³)	803,7
40°C'deki kinetik viskozitesi [cSt]	1,74
Alt ısı değeri [MJ/kg]	30,63
C [wt %]	59,96
H [wt %]	13,42
O [wt %]	26,62
İçerdiği su miktarı [ppm wt]	309
Moleküler ağırlık [kg/kmol]	60,09
Kaynama noktası	97,1
Stokiyometrik yakıt/hava oranı	1/10,35
Setan numarası	12

Propanol ve propanolden sonraki alkollerin izomerleri vardır. Kapalı formülleri aynı olup açık formülleri farklı olan alkollere izomer alkoller denir. Propanolün izomeri iso-propanoldür ve kimyasal formülü aşağıdaki gibidir:



Şekil 1.3. Propanol ve iso-propanolün açık kimyasal formülleri [26]

Tablo 1.5. İzopropanolün kimyasal özellikleri [27]

Özellikler	
Kimyasal Formül	$\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$
Yoğunluk [kg/m^3]	813
Kaynama noktası [$^{\circ}\text{C}$]	118
Laminer alev hızı [cm/s]	45
Gizli buharlaşma ısısı [kJ/kg]	758
Oktan numarası	112
Oksijen içeriği [%]	26,6
Alt ısı değeri [MJ/kg]	30,4
Stokiyometrik H/Y oranı	10,4
Oto-ateşleme sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]	399

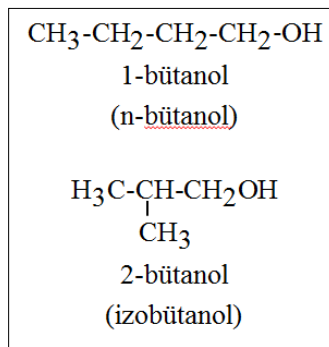
Etanol ve metanol ile karşılaştırıldığında n-propanol ve iso-propanolün yanma kimyası ile ilgili çok az detaylı deneysel ve kinetik modelleme çalışmaları yapılmıştır. Yakın zamanda, 3-karbonlu yakıtlar (propan, n-propanol, propanal ve aseton) arasında, propanal en yüksek alev hızlarını gösterirken, n-propanol ve propanın benzer laminar alev hızları ve özellikle de H ve OH gibi benzer radikal konsantrasyonları sunduğu

bulunmuştur. Propanol yanmanın temelleri hakkında daha derin bilgiler sağlamanın yanı sıra, bu çalışmalar ayrıca, alkol yanmasının yan ürünleri olan toksik oksijenli kirleticiler (aldehitler ve asetonlar gibi) hakkında da bilgi vermektedir. Propanolün oksidasyonu sırasında üretilen ana aldehidlerin formaldehit ve propanaldehid olduğu bulunmuştur [24].

1.2.1.4. Bütanol

Bütanol, dört karbon düz zincirli, renksiz ve yanıcı bir alkoldür. Bütanol, etanol, eter ve diğer organik çözücü ile karıştırılabilir. Bütanol, kozmetikte, hidrolik sıvılarda, deterjan formülasyonlarında, ilaçlarda, antibiyotiklerde, hormonlarda ve vitaminlerde, bütül akrilat ve metakrilat üretiminde kimyasal bir ara madde olarak ve ilaveten ecza üretiminde ek bir çözücü olarak kullanılabilir. Bütanol, 4-karbonlu bir yapıya sahiptir ve karbon atomları farklı özelliklere sahip olan düz zincirli veya dallı bir yapı oluşturabilir. OH ve karbon zinciri yapısının konumuna bağlı olarak farklı izomerler vardır (n-bütanol, 2-bütanol, iso-bütanol, tert-bütanol). Bütanol izomerlerinin özellikleri oktan sayısı, kaynama noktası, viskozite vb. bakımından farklı olmasına rağmen, ana uygulamalar, çözücüler, endüstriyel temizleyiciler veya benzin katkı maddeleri olarak kullanılma gibi bazı yönlerde benzerdir. Bütün bu bütanol izomerleri fosil yakıtlardan farklı yöntemlerle üretilmektedir. Sadece n-bütanol, biyokütleden elde edilen düz zincirli bir molekül yapısıdır [28].

İzobütanollerin kapalı formülleri bütanol (n-bütanol) ile aynı, fakat açık formülleri farklıdır. Bütanol ve iso-bütanollerin kimyasal formülleri ve kimyasal özellikleri aşağıdaki gibidir:



Şekil 1.4. Bütanol ve iso-bütanolün açık kimyasal formülleri

Tablo 1.6. Bütanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri [29]

Özellikler	
Molekül formülü	C ₄ H ₉ OH
Alt ısı değeri [MJ/kg]	32,01
Seçilebilir oktan sayısı (ROS)	96
Motor oktan sayısı (MOS)	78
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	11,12
Buharlaşma ısısı [kJ/kg]	584
20°C'deki yoğunluk [kg/m ³]	791,3
H/C oranı	2,5
Ağırlıksal oksijen içeriği [%]	21,6
Kaynama noktası [°C]	117,7
Oto-kıvılcım sıcaklığı [°C]	385
40°C'deki viskozite [mm ² /s]	2,63
20°C'de sudaki çözünürlük	7,7

Tablo 1.7. İzobütanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri [30]

Özellikler	
Kimyasal formül	C ₄ H ₉ OH
15°C'deki yoğunluk [g/cm ³]	0,8106
Kinematik viskozite [mm ² /s]	4,5761
Alt ısı değeri [MJ/kg]	35,69
Ağırlıksal oksijen içeriği [%]	21,6
Seçilebilir oktan numarası (RON)	105,1
Gizli buharlaşma ısısı [kJ/kg]	683
37.8 °C'deki buhar basıncı [kPa]	6,6
Özgül ağırlık	0,8106

n-bütanolün üretimi hali hazırda etanolden daha düşüktür ve n-bütanolün fiyatı da etanolünkünden daha yüksektir. Bununla birlikte, son yıllarda, verimli ve ekonomik biyo-butanol üretim teknikleri geliştirilmiştir. Böylece, n-butanol üretimi arttıkça maliyetin daha rekabetçi hale geleceği öngörülmektedir [31].

Biyobütanol; aseton, bütanol ve etanol fermantasyonu ile oluşmaktadır. Kısaca aseton bütanol etanol (ABE) veya solvent olarak da adlandırılan aseton bütanol ve etanol fermantasyonu, bilinen ve endüstriyel olarak uygulanan en eski fermantasyonlardan biridir. *Clostridium acetobutylicum*, *Clostridium beijerinckii*, *Clostridium saccharobutylicum* ve *Clostridium sacchaoperbutylacetonicum* gibi *Clostridium*’lar ve bunların alt türleri, solvent üretme yeteneğine sahip olan mikroorganizmalardır. Etanol üreticisi mikroorganizmaların kullanamadığı lignoselülozik yenilenebilir tarımsal atıkların parçalanma ürünleri dahil pek çok şekeri karbon kaynağı olarak kullanabilmeleri, solvent üreticisi *Clostridium*’ların en önemli avantajlarından biridir. Yüksek amilolitik aktiviteye sahip olmaları sayesinde mayaların aksine nişastalı hammaddeleri ön işlem uygulamasına gerek kalmadan doğrudan fermente edebilmektedirler. ABE üretiminde kullanılan hammaddeler; pirinç, arpa, buğday samanları, mısır kepeği ve koçanları, kepek gibi lignoselülozik maddeler, mısır, patates, kassava gibi nişastalı substratlar ve melas gibi pek çok yenilenebilir tarımsal ürün ve atıklardır [32].

1.2.2. Performans Parametreleri

1.2.2.1. Termal Verim (TV)

Yakıttan elde edilen termal girdinin bir fonksiyonu olarak ısı motorunun efektif gücü olarak tanımlanmaktadır. Termal verim, bir motorun yakıttan elde edilen ısıyı mekanik enerjiye ne kadar iyi dönüştürdüğünü değerlendirmek için kullanılır [37].

$$TV = \frac{\text{Efektif Güç (EG)}}{\text{Yakıt Tüketim oranı } (\dot{m}_y) \cdot \text{Alt Isıl Değer(LHV)}} \quad (1)$$

1.2.2.2. Tork (T)

Pistonun krank milinden gelen basınçla üretilen bir dönme kuvvetidir. Motor strokunun uzunluğuna, şarj durumuna ve ortalama efektif silindir basıncına bağlıdır [38].

1.2.2.3. Efektif Güç (EG)

Dişli, şanzıman, sürtünme vb. aracılığıyla meydana gelen güç kayıpları hariç tutularak motor tarafından üretilen güç çıkışı olarak tanımlanmaktadır. Bu güç, “efektif güç” olarak adlandırılır [38].

$$EG = 2 \cdot \pi \cdot N \cdot T \quad [\text{kW}] \quad (2)$$

N: Motor devri [rpm]

T: Tork [N/m]

1.2.2.4. Volümetrik Verim (VV)

Motordaki emiş sistemi (hava filtresi, karbüratör, gaz kelebeği plakası, emme manifoldu, emme deliği, emme valfi) motora giren hava miktarını kısıtlar. Bu parametre, motorun emme prosesinin etkinliğini ölçmek için kullanılır. Volümetrik verim, belirli bir emme prosesine sahip 4 stroklu motorlarda kullanılır [39].

$$VV = \frac{2\dot{m}_h}{\rho_h \cdot V_d \cdot N} \quad (3)$$

$\dot{m}_h$: Silindire alınan havanın kütleli debisi [kg/s]

ρ_h : Havanın yoğunluğu [kg/m³]

V_d : Strok hacmi[m³]

1.2.2.5. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)

Bir motorun iş üretmek için verilen yakıtı ne kadar verimli kullandığını belirten bir parametredir. Verilen yakıtın kütleli debisinin efektif güce oranı bize ÖYT değerini verir [39].

$$\text{ÖYT} = \frac{\dot{m}_y}{N_e} \left[\frac{\text{g}}{\text{kWh}} \right] \quad (4)$$

$\dot{m}_y$: Kütleli yakıt debisi [g/h]

N_e : Efektif güç [kW]

1.2.3. Yanma Karakteristikleri

1.2.3.1. Silindir Gaz Basıncı (SGB)

Yanma analizi, sistemin basınç ve hacmi için temel bir analizdir. Silindir – krank açısı, bir IYM'nun yanma analizinin önemli bir özelliğidir. Silindir gaz basıncı; silindir hacmindeki değişiklikler, yanma, yanma odası duvarlarına ısı transferi, yarık bölgelerin içine ve dışına akış ve sızıntılardan elde edilen sonuçlara bağlı olan krank açısı ile değişmektedir [38].

1.2.3.2. Isı Salınım Hızı (ISH)

Yanma sırasında açığa çıkan ısısal hızı olarak tanımlanmaktadır. Isı salınım hızı, bir çevrim sırasında termodinamiğin birinci yasasından hesaplanır ve dışına akış ve sızıntılardan elde edilen sonuçlara bağlı olan krank açısı ile değişmektedir [38].

1.2.3.3. Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGS)

Egzoz gazı sıcaklığı, silindir sıcaklığının önemli bir göstergesidir. Ayrıca EGS, egzoz emisyonunu analiz etmek için de kullanılır. Başka bir deyişle, EGS, yanma sıcaklığının bir fonksiyonudur. Yanma sıcaklığı da yakıtın alt ısısal değeri (LHV) ile yakından ilişkilidir. Buna ek olarak, NO_x oluşumu temel olarak yanma sıcaklığına bağlıdır [38].

1.2.4. Emisyonlar

1.2.4.1. Hidrokarbon (HC)

HC, karter havalandırmadan buharlaşma yolu ile egzozdan ise hatalı hava/yakıt oranı, düşük kompresyon, supap bindirmesi ve silindir içerisinde homojen olmayan sıcaklık dağılımından dolayı ya kısmen yanmış ya da yanma olayına hiç dahil olmadan atmosfere bırakılan emisyonlardır. Atmosferde süspansiyon halinde bulunan HC emisyonları, NO_x 'lerle reaksiyona girerek “fotokimyasal sis-smog” olarak bilinen bir sis tabakası oluşturup, solunum sistemi ve canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Özellikle solunum sistemi ve göz bozukluklarına neden olup, oluşturdukları polisiklik aromatik bileşiklerle başta kan kanseri olmak üzere başka kanser türlerine de neden olmaktadır [40].

1.2.4.2. Karbonmonoksit (CO)

CO emisyonları, yük ve hız değişimlerine büyük oranda duyarsız olup, hava/yakıt oranına karşı ise daha duyarlı davranmaktadır. Hava fazlalık katsayısı, CO oluşumunu etkileyen en önemli etkidir. Karışım zenginleştikçe CO oranı, yanma odasına alınan yakıtın içindeki karbonun tamamını CO_2 şeklinde yakacak oksijen bulunmaması dolayısıyla hızlı bir şekilde artmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlar, kısmi yüklerde yakıt ekonomisi açısından stokiometrik orandan biraz fakir karışımlarla çalışmakla beraber, tam yükte belirli bir kurs hacmi için emilen havadan tam olarak yararlanmak amacıyla zengin karışımla çalışmaktadırlar. Bu nedenle buji ateşlemeli motorların CO emisyonunun kontrolü oldukça önemlidir. Otomobillerden yayılan CO emisyonları soğuk havalarda önemli ölçüde artmaktadır ve bu durum, otomobillerin soğuk havalarda çalıştırılması için daha fazla yakıtı ihtiyaç duymasından ve O_2 sensörleri ile katalitik dönüştürücüler gibi bazı emisyon kontrol aygıtlarının soğuk iken daha az etkin çalışmalarından kaynaklanmaktadır.

CO'nin kana geçmesi ve vücudun organ ve dokularına O_2 dağıtımını azaltması nedeniyle CO'ye maruz kalmak hasta bireylerin yanında sağlıklı bireyleri de olumsuz yönde etkilemektedir. Yükseltilmiş CO seviyelerinde iş, görüş bozukluğu, iş yapma kapasitesinde, el becerisi gerektiren işlerde ve öğrenme kabiliyetinde azalma gibi

olumsuzlukları meydana getirmektedir [41].

1.2.4.3. Karbondioksit (CO₂)

CO₂ emisyonu, fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkmakta ve sera gazı emisyonu üzerindeki en büyük etkiyi tek başına oluşturmaktadır. İklim değişikliğine neden olan birçok kirleticiler arasında yer alan CO₂, tüm sera gazlarının %58,8'ini oluşturmaktadır. Bu durumun oluşumunda 1970'li yıllardan beri dünyada ekonomik büyümenin hızla artış eğilimi göstermesi etkili olmuş ve buna bağlı olarak CO₂ emisyonunun etkisi gittikçe artmıştır [42].

İçten yanmalı motor teknolojisindeki gelişmeler de alternatif yakıt kullanımı ile birlikte, CO₂ emisyonlarının kontrolünde özellikle kısa ve orta dönemde önem taşımaktadır. Özellikle Japonya ve AB ülkelerinde fakir karışimli yanmanın uygulandığı doğrudan püskürtmeli benzin motorları (GDI) düşük yakıt tüketimi sebebiyle yaygın hale gelmektedir. Bunun dışında motorlarda elektronik kontrol donanımlarının kullanımı, verimi artırıcı tasarıma dayalı önlemlerin alınması, küçük strok hacimli motorların şehir içi koşullarda tam yüke yakın işletme koşullarında çalıştırılması da yakıt tüketimi açısından avantaj oluşturacaktır. Bunun yanında, LPG, doğal gaz, hidrojen, alkol yakıtlar ve biyodizel gibi yakıtların benzin ve dizel yakıtına alternatif olarak veya katkı maddesi olarak kullanılması da yakıt tüketiminde veya emisyonların düşürülmesinde fayda oluşturacaktır [43].

1.2.4.4. Azot Oksitler (NO_x)

Azot ve oksijen gazlarının farklı oranlarda birleşmesi ile NO, NO₂, N₂O, N₂O₃ gibi çeşitli gazlar ortaya çıkar ve bunların hepsine birden “azot oksitler” denir ve NO_x olarak ifade edilir. Hava-yakıt karışımı içindeki NO_x, yanma odası sıcaklığı 1800 °C'ye yükseldiğinde azot (N₂) ve oksijen (O₂)nin birleşmesi sonucu oluşur. Eğer sıcaklık 1800 °C'nin üzerine çıkmaz ise N₂ ve O₂, NO gazını meydana getiremeden egzoz sisteminden tahliye edilir.

NO_x, kandaki hemoglobinle birleşir ve ayrıca akciğerdeki nemle birleşerek nitrik asit oluştururlar. Zamanla birikerek solunum yolu hastalıkları bulunan kişilerde tehlike oluştururlar. Ayrıca NO_x'ler aerosol ve foto kimyasal duman oluşumu yolu ile ozon

tabakasının zarar görmesine sebebiyet verirler [44].

1.3. Günümüze Kadar Yapılan Literatür Araştırmaları

Literatürde, pek çok araştırmacı alkollü yakıtların benzinli motorlarda kullanılması durumunda motor performansı, emisyonlar ve yanma karakteristikleri üzerine birçok literatür araştırmaları gerçekleştirmiştir.

Awad vd. yapmış oldukları çalışmada, benzinli motorda yakıt olarak bütanol, metanol, etanol ve fuzel yağı, MTBE (Metil Tert Bütıl Eter) ve DME (Dimetil Eter) gibi alkol ve eterlerin kullanımını sistematik olarak gözden geçirmişlerdir. Ayrıca, mevcut çalışma performans (fren torku, efektif güç, ÖYT, etkin verimlilik ve EGS), emisyonlar (CO, CO₂, NO_x ve HC) ve alkol ve eter ile yanma özelliklerinin etkilerini araştırmışlardır. Motor performansındaki artışın, daha yüksek oktanlı bir değere sahip olan alkol yakıtlarının kullanımı ile birlikte artan bir sıkıştırma oranı ile elde edilebileceğini açıklamış, ayrıca, alkol ve eterin, normal benzinden çok temiz yandığını ve daha az CO ve NO_x ürettiğini savunmuşlardır. Öte yandan, alkol ve eter yakıtlarının enerji değerinin, benzine göre yaklaşık % 30 daha düşük olduğunu; böylece, alkol ve eteri bir yakıt olarak kullanırken, yakıt tüketiminin aynı anda artacağını belirtmişlerdir. Son olarak, alkolün motor titreşimine, motor gürültüsüne ve benzinin oktan güçlendiricisi olarak kullanılma potansiyeline etkisini tartışmışlardır. Alkolün, benzinli motorda saf bir yakıt olarak kullanılabileceğini, ancak motorda bazı değişikliklerin yapılması gerektiğini savunmuşlardır [45].

Awad vd. yapmış oldukları bir başka çalışmada, benzinli bir motorda kullanılan benzinin oktan güçlendiricisi olarak kullanılan alkol ve eter dahil olmak üzere oksijenli yakıtların üretimini, çevresel etkilerini ve potansiyelini sistematik olarak gözden geçirmişlerdir. Oksijenli yakıtların benzinli bir motorun performansları ve emisyon özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Alkolün ve eterin normal benzinden çok temiz yandığını ve daha az CO ve NO_x ürettiğini açıklamışlardır. Esas olarak eter yakıtları (metil tersiyer butil eter MTBE ve Dimetil Eter DME), benzinin oktan sayısını ve oksijen içeriğini arttırmak için düşük karışım oranında katkı maddesi olarak kullanıldığını, ayrıca, alkollerin ve eterlerin çevre, sera gazı ve insan sağlığı üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu savunmuşlardır. Buna ek olarak, oksijenli yakıtın SI

motorlarına uygulanmasının, çevre kirliliğini azaltabileceğini, tarım ekonomisini güçlendirebileceğini ve benzin yakıt gereksinimlerini azaltabileceğini açıklamışlardır. Motor performansındaki artışın, daha yüksek oktanlı bir değere sahip olan alkol yakıtlarının kullanımı ile birlikte artan bir sıkıştırma oranı ile de elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Genel olarak, oksijenli yakıtların, yüksek termal verimlilik ve düşük NO_x seviyeleri sağlayabilen, SI motorları için çok ümit vaat eden bir alternatif yakıt olduğunu bulmuşlardır [46].

Awad vd. yapmış oldukları bir başka çalışmada, petrol bazlı yakıtların yerini alabilecek veya yakıt özelliklerini iyileştirebilecek oksijenli yakıtlarla çalışan IYM'da sıkıştırma oranının performans, yanma ve emisyonlar üzerindeki etkisini sistematik olarak gözden geçirmişlerdir. Bu inceleme çalışmasından ortaya çıkan daha önemli bulgulardan biri, IYM'da orijinal sıkıştırma oranında alkol yakıt kullanıldığında, güçteki kısmî artış veya azalış olmuştur. Ayrıca, yakıt tüketimi artarken CO, HC ve NO_x emisyonlarının azaldığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, daha yüksek sıkıştırma oranında, hem benzin hem de dizel motorları için motor performansının arttığı ve yakıt tüketiminin azaldığı görülmüştür. Benzinli bir motorda artan sıkıştırma oranı ile NO_x , CO ve CO_2 emisyonları azalmış, ancak HC artmıştır [47].

Chansauria ve Mandloi yapmış oldukları çalışmada, geleneksel benzinli bir motorda etanol-benzin karışımlarının etkisini araştırmışlardır. Etanolün özellikleri, üretim prosedürü ve çeşitli etanol karışımlarının motorun performansına etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada odaklanılan parametreler; mevcut temel sorunlardan biri olan egzoz emisyonları, motor fren torku, motor volümetrik verimi ve termal verimdir. Avantajların yanı sıra, benzinli motorlarda yakıt olarak etanol kullanımının dezavantajlarını da tartışmışlardır. Karışımdaki artan etanol oranı ile genel ısı verim, ısı salınım hızı, volümetrik verim ve silindir gaz basıncının arttığını görmüşlerdir. Optimum tutuşma başlangıcının belirlenmesi için belirli bir sıkıştırma oranında etanol oranının artırılması gerektiğini öngörmüşlerdir [48].

Yusri vd. yapmış olduğu çalışmada, alkol yakıtlarını (metanol, etanol, propanol ve bütanol) kullanarak buji ateşleme motorunun performansını ve emisyonlarını analiz etmişlerdir. Metanol, etanol, propanol ve bütanol ile ilgili literatürleri gözden geçirmiş

ve alternatif bir yakıt olarak uygulanabilirliğini göstermek için özetlemişlerdir. Metanol, etanol, propanol ve bütanolün yakıt özellikleri, bu tür yakıtların uygun adaylar olarak benzinli motorlar için alternatif yakıt olarak kullanılmasını sağlayan en önemli özellikleri sunduğunu belirtmişlerdir. Fren torku, efektif güç, termal verim, özgül yakıt tüketimi, NO_x , partikül madde, CO, CO_2 , HC ve is gibi performans ve motor emisyonu göstergeleri dizel ve benzinli yakıtlarda değerlendirmişlerdir. Alkol yakıtlarının motor performansına ve emisyonlara farklı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Şaşırtıcı bir şekilde, bazı araştırmaların, normal dizel ve benzinli yakıtlara kıyasla alkol için olumlu sonuçlar verdiğini açıklamışlardır. Metanol, etanol, propanol ve bütanolün motorun düşük motor performans özelliklerine karşılık olarak zararlı motor egzoz emisyonlarını azaltabileceği sonucuna varmışlardır [49].

Thakur vd. yapmış oldukları çalışmada, benzinli motorlarda değişen oranlarda benzin-etanol karışımlarının, hava-yakıt oranı, silindir basıncı, ateşleme zamanlaması ve sadece performans parametreleri gibi özellikleri araştırmış ve analiz etmişlerdir. Daha düşük oranlarda etanol karışımlarının, motor torku için %2,31-4,16 aralığında ve efektif güç için %0,29-4,77 arasında bir artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Fren özgül yakıt tüketimi, daha yüksek hacimde etanol içeriği için %5,17-56 aralığında arttığını, etanol-benzin karışımı kullanıldığında, fren ısı veriminin %2,5-6 aralığında yükselişle kısmen arttığını belirtmişlerdir [37].

Trindade ve Santos yapmış oldukları çalışmada, butanol karakteristiklerini ve özelliklerini sunma amacı ile kapsamlı bir literatür taraması yapmışlardır. Bu alkolün daha iyi anlaşılmasını sağlamak ve özellikle otomotiv endüstrisi için biyoyakıt olarak potansiyel kullanımını değerlendirmek odak noktaları olmuştur. Biyo-bütanol üretimi için işlemlere ve hammaddelere vurgu yaparak, bütanol üretimi hakkında genel bir bilgilendirme yapmışlardır. Aseton-bütanol-etanol sürecini iyileştirmeye yönelik yeni çalışmaları, yeni gelişmeleri ve daha iyi işlem verimi arayışında, fermantasyon için farklı hammaddelerin kullanımını da gözden geçirmişlerdir. Bütanolün yakıt olarak uygulanması üzerine, kimyasal kinetiğine odaklanan diğer yazarların çalışmalarına dair bazı önemli noktaları tanıtmış ve bu alkolün potansiyeli hakkında bir tartışma başlatmak için faydalı olmuştur [50].

Babu M vd. yapmış oldukları çalışmada, çeşitli test koşullarında çalışan IYM'nın

yanma, performans ve egzoz emisyonları üzerinde bütanol ve pentanol kullanılmasının etkileri üzerine literatürü gözden geçirmişlerdir. IYM'lardaki yakıtların yenilenebilir oranını arttırmak için bütanol ve pentanolün düzgün veya harmanlanmış halde kullanılması için kullanılan stratejilerin gözden geçirilmesine dikkat etmişlerdir. Egzoz gazı resirkülasyon oranları, gecikmeli enjeksiyon ve daha yüksek oranda alkollerin kullanılması, IYM'da düşük sıcaklıkta yanma stratejisini mümkün kıldığını, bunun da NO_x ve artan verimlilikle kurum emisyonlarını eşzamanlı olarak azalttığını belirtmişlerdir. Daha yüksek alkollerin IYM'da biyoyakıtların kullanımına katkıda bulunan daha önceki araştırmacıların temel bulgularını özetlemişlerdir. Bu biyoyakıtların, IYM'da geliştirilmiş performans ve zararlı emisyonların azaltılması için potansiyel ve cazip alternatifler olduğunu savunmuşlardır [51].

Thakur vd. yapmış oldukları çalışmada, hava/yakıt oranı, silindir gaz basıncı, ateşleme avansı ve performans parametrelerine bağlı sıkıştırma oranı gibi çeşitli özellikleri teşhis ederek benzin-etanol karışımı, benzin ile diğer alkol türevleri ve değişen oranlarda alternatif yakıtların fırsat çeşitleri üzerinde çalışmış ve analiz etmişlerdir [52].

Ghadikolaei yapmış olduğu çalışmada, ilk olarak, IYM'da düzenlenmiş emisyonlar (partikül madde, CO, HC, NO_x) üzerinde harmanlanmış ve fümigasyon modunda alkollerin (metanol ve etanol) etkisinin kısa bir detayını sunmuşlardır. İkinci olarak, (bu çalışmanın ana kısmı), IYM'da düzensiz emisyonlar (alkoller, alkenler, alkil nitritler, monoaromatikler, partikül emisyonlar, peroksvasetil nitrat, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, nitro-polisiklik aromatik hidrokarbonlar, oksipolisiklik aromatik hidrokarbonlar, karbonil bileşikler, azotdioksit, kinonlar, sülfürdioksit, metal oksitler ve zehirli aromatikler) üzerinde harmanlanmış ve fümigasyon modunda metanol ve etanolün etkisi ile ilgili literatürleri kapsamlı bir şekilde gözden geçirmişlerdir. Benzinli motorlar ve IYM ve motosikletler gibi geniş tipte IYM'ı farklı koşullarda çalıştırmışlardır. Alkolün düzenlenmiş ve düzenlenmemiş IYM emisyonları üzerindeki etkisi hakkında bilgi almak için farklı alkol karışımlarını ve fümigasyon yüzdelерini belirtmişlerdir. Düzenlenmiş emisyonlar için, IYM'da fümigasyon modunda alkollerin alternatif yakıt olarak uygulanmasının, çoğu durumda NO_x ve CO_2 'nin azaltılmasına yol açtığı ve tüm durumlarda partikül maddenin bulunduğunu saptamışlardır. Bununla birlikte, çoğu durumda fümigasyon modunda alkollerin kullanılmasıyla CO ve HC'nin

arttığını gözlemişlerdir. Düzenlenmiş emisyonlardaki fümigasyon moduna kıyasla harmanlanmış modda alkol uygulamasının farklı bir etkisinin, partikül madde dışında önemli testlerde kaydedildiğini vurgulamışlardır. Düzensiz emisyonlar için, çoğu durumda harmanlanmış modda BTEX (benzen, toluen, etilbenzen ve oksilen, m/p-ksilen)de, majör deneylerde karıştırılmış modda polisiklik aromatik hidrokarbonlarda (PAH) ve tüm testlerde her iki modda da 1,3-butadien, etin ve etende fosil yakıtlara kıyasla bir azalma gözlemişlerdir. Diğer yandan, tüm testlerde her iki modda yanmamış etanol, metanol ve toplam karbonillerin arttığını görmüşlerdir. Ayrıca, her iki mod için de, araçlarda egzozdaki baskın karbonil olan formaldehit ve asetaldehit artışının, başlıca testlerde kaydedildiği belirtmişlerdir. Ek olarak, çözünabilir organik kesrinin (SOF), başlıca testlerde her iki modda da bir artışa sahip olduğunu belirtmişlerdir. Önemli testlerde, fümigasyon modunda benzen, toluen, ksilen (BTX) artışının gözlemlendiğini açıklamışlardır [53].

Thangavelu vd. yapmış oldukları çalışmada, farklı lignoselülozik biyokütleden biyoetanol üretim teknikleri ve potansiyel etanol verimini incelemişlerdir. Biyoetanol yakıt karışımlarının benzinli motor yanma karakteristikleri (silindir basıncı, silindir sıcaklığı, alev hızı, yanma verimi, yanma süresi, ısı salınım hızı, vuruntu ve soğuk çalışma şartları) üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bunun yanı sıra, motor performans parametreleri (tork, efektif güç, fren özgül yakıt tüketimi, fren ortalama efektif basınç, fren termal verimliliği ve volümetrik verim) ve emisyon (CO , NO_x , CO_2 , yanmamış HC ve diğer düzenlenmemiş emisyonlar) özellikleri üzerindeki etkilerini gözden geçirmişlerdir. Motor test sonuçlarının çoğunun, biyoetanol yakıtı için motor performansında ve yanma karakteristiklerinde kayda değer bir gelişme gösterdiğini vurgulamışlardır. Ayrıca, CO ve yanmamış HC emisyonlarının azaldığını öne sürmüşlerdir. CO_2 ve NO_x emisyonlarının önemli ölçüde azaltılmadığı belirtilmiştir [54].

Yusoff vd. yapmış oldukları çalışmada, SI motorunda alternatif taşıt yakıtları olarak biyoetanol ve biyobutanolün fizibilitesini vurgulamışlardır. İlk olarak biyoetanol ve biyobutanolü benzin alternatifleri olarak incelemişlerdir. Daha sonra, benzin, biyoetanol ve biyobutanolün karşılaştırmalı fizikokimyasal özellikleri ve potansiyel üretim kaynaklarını sunmuşlardır. Biyoetanol ve biyobutanolün motor performansları, yanma

analizi, egzoz emisyonları, motor dayanıklılığı ve bunların yağlama yağı üzerindeki etkilerini tartışmışlardır. Biyoetanol ve biyobutanolün kullanımıyla motor performansının arttığını ve ayrıca egzoz emisyonlarının azaldığını gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, karışımdaki alkol oranının artmasıyla, motor dayanıklılığı ve yağlama yağı özellikleri üzerinde olumsuz etkilere yol açtığını belirtmişlerdir [38].

Mokhtar vd. yapmış oldukları çalışmada, benzinli bir motora biyo-etanolün eklenmesi sonucunda performans ve emisyonlar üzerindeki etkileri incelemeyi amaçlamışlardır. Biyo-etanol oranının (E0, E50, E85) ve motor çalışma koşullarındaki (farklı sıkıştırma oranları) değişimin, motor emisyonlarını azalttığını ve verimi arttırdığını tespit etmişlerdir. Biyo-etanolün silindir gaz basıncını artırabileceğini, egzoz emisyonlarını azaltabileceğini ve sürtünme katsayısını büyük ölçüde azaltabileceğini gözlemlemişlerdir. Benzine ilave kullanımının daha iyi motor performansı ve emisyon kontrolü için ayrılmaz olduğu sonucuna varmışlardır [55].

Manzetti ve Andersen yapmış oldukları çalışmada, benzin ve biyoetanol karışımlarının yanmasının, bilinen ve beklenen emisyon ürünleri ve toksik özellikleri üzerindeki rolüne ışık tutmuşlardır. Elde edilen sonuçlar, benzaldehit, asetaldehit, formaldehit ve uçucu organik bileşenlerin biyoetanolden etanol-benzin karışımlarına benzer baskın emisyon ürünleri olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, ETBE (Etil Tert Bütıl Eter) ve MTBE gibi katkı maddelerinin varlığının, beklenen emisyon profillerine daha fazla karmaşıklık kattığını, bunu takiben sınırlı miktarda mevcut bilgilere dayanan, daha fazla araştırmanın gerekli olduğunu gösteren tescilli katkı maddelerinin olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçlar, karışımlardaki amin bazlı katkı maddelerinin azaltılmasının biyoetanol-benzin karışımlarının toksisitesini azaltmak için güvenli bir yaklaşım olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, oksijenli katkı maddelerinin, amin bazlı tiplere kıyasla emisyonlardan daha düşük bir toksisiteye sahip olmasını beklemişlerdir. Bununla birlikte, bunların konsantrasyonlarına bağlı olarak, sağlık ve çevre için önemli riskler oluşturabildiğini göstermişlerdir. Biyoetanol-benzin karışımları üzerine uygulanan yeni katalizör teknolojilerinin uygulanması, bu nedenle biyoetanol-benzin karışımlarından türeyen toksik bileşenlerin azaltılması için bir yol olabildiğini vurgulamışlardır [56].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Mevcut enerji kaynaklarının etkin kullanılması, petrole bağımlılığın azaltılması ve ekolojik dengenin korunmasına katkının sağlanması açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu olumsuzlukların minimum seviyeye indirilmesi için araştırmacılar, alternatif yakıtlar üzerinde çalışmalarını sürdürmektedirler. Araştırmacıların yaptıkları çalışmalarda motorlu taşıtlarda alternatif yakıt olarak alkol (metanol, etanol vb.), hidrojen, bitkisel yağlar, doğalgaz ve sıvılaştırılmış petrol belirtilmektedir. Belirtilen alternatif yakıtların tercih edilebilmeleri için birim fiyatlarının;

- Ucuz olması,
- Yerli kaynaklardan üretilmesi,
- Taşıtlardaki mevcut yakıt donanımlarında en az değişiklikle kullanılabilmesi,
- Motor performansında önemli bir azalma meydana getirmeyecek nitelikte olmaları
- Emisyonlarının düşük olması gerekmektedir [6].

Alternatif yakıtlar arasında bulunan alkoller, saf olarak ya da belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak kullanılmaktadır. Metanol, etanol, propanol ve bütanol, taşıtlarda kullanılabilecek alkol çeşitleridir. Alkollerin kullanımıyla; ham petrol yataklarına sahip olmayan ülkeler alkol kullanarak enerji ihtiyaçlarını karşılayabilirler, yüksek oktan sayılarına sahip olması özellikleriyle motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarına çıkılarak motor performansını artırabilirler ve oksijen içeriğine sahip olması özelliği ile fakir karışımlarda çalışabilirler [7]. Alkollerin söz konusu avantajlarından yola çıkılarak, benzinli motorlarda alkol yakıt kullanılması üzerine geçmişten günümüze pek çok deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, benzinli motorlarda alkol yakıt kullanılması durumunda motor performansında (termal verim, tork, efektif güç, volümetrik verim ve özgül yakıt tüketimi), egzoz emisyonlarında (HC, CO, CO₂ ve NO_x) ve yanma karakteristiklerinde (silindir gaz basıncı, ısı salım hızı ve egzoz gazı sıcaklığı) ne gibi değişikliklerin olduğu üzerine gerçekleştirilen deneysel çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Performans parametreleri, egzoz emisyonları ve yanma karakteristikleri üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmaların incelenmesi safhasında ilk olarak; deneylerin kim tarafından gerçekleştirildiği, deneylerde hangi çeşit ve hangi oranlarda alkollerin kullanıldığı, deneylerin gerçekleştirildiği benzinli motorların ne gibi özelliklere sahip olduğu (silindir ve strok sayısı), ölçümlerin hangi değişken koşullarda (artan motor hızı, artan motor yükü, artan sıkıştırma oranı gibi) yapıldığı tespit edilmiştir. Daha sonra; bu deneylerde, performans grubuna dahil olan termal verim, motor torku, efektif güç, volümetrik verim ve özgül yakıt tüketimi; egzoz emisyonları grubuna dahil olan HC, CO, CO₂ ve NO_x; yanma karakteristikleri grubuna dahil olan silindir gaz basıncı, ısı salınım hızı ve egzoz gazı sıcaklığı parametrelerinde söz konusu koşullar altında ne çeşit değişimler gözlemlendiği belirlenmiştir. Edinilen bu bilgiler “Performans Parametreleri”, “Emisyonlar” ve “Yanma Karakteristikleri” başlıkları altında Microsoft Office Excel programında tablolar oluşturularak yansıtılmıştır. Bu parametrelerdeki söz konusu değişimlerin nedenleri gerçekleştirilen her bir deney için tespit edilerek tez çalışmasında belirtilmiştir. Ayrıca, optimum alkol oranlarını belirlemek için, yine Excel programında, deneylerde, benzinli motorlarda hangi çeşit ve ne kadarlık oranda alkolün kullanılmasıyla performans, emisyon ve yanma karakteristiklerinde benzinin kullanılmasına kıyasla ortalama ne kadarlık değişimin gerçekleştiğini belirten şekiller oluşturulmuştur.

Son olarak; benzinli motorlarda alkol yakıt kullanılmasıyla performans parametreleri, egzoz emisyonları ve yanma karakteristikleri üzerinde ölçümlerin yapıldığı bu deneylerden yola çıkılarak her bir parametre için hangi çeşit ve hangi oranda alkolün kullanılmasının avantajlı olduğu ve bu parametrelerdeki değişimlerin nedenleri hususunda genel sonuçlara varılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Benzinli motorlarda alkollü yakıtların kullanılması durumunda meydana gelen değişimler 52 adet performans parametrelerinde üzerine yapılmış, 45 adet emisyon değerleri üzerine yapılmış ve 28 adet yanma karakteristikleri üzerine yapılmış deneysel çalışma incelenerek tablolar ve şekiller halinde sunularak bu üç parametrelerdeki artış ve azalışların nedenleri açıklanmıştır.

3.1. Performans Parametreleri

EK 1-Tablo 1’de ilgili deneysel çalışmalar incelenerek benzinli motorlarda alkol kullanılması durumunda performans parametrelerinde meydana gelen değişimler belirtilmiştir.

3.1.1. Termal Verim (TV)

EK 1-Tablo 1’de görüldüğü üzere, geçmişten günümüze yapılmış deneysel çalışmalarda alkoller saf halde ya da belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak benzinli motorlarda kullanılmış ve termal verimleri hesaplanmıştır.

Metanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalara baktığımızda; Agarwal vd. M0, M10 ve M20 yakıtlarının kullanıldığı 4 silindirli benzinli motorda ayrı ayrı 1500, 2500 ve 3500 d/d’lık devirler için 0 – 8 bar arasında değişen fren ortalama efektif basınç koşullarında gerçekleştirdiği deneysel çalışmada, metanolün TV değerinin benzininkinden yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Bunun nedeni olarak, metanolün alev hızının benzininkinden yüksek olduğunu vurgulamışlardır. Böylece silindir içerisinde hızlı ve tam yanmanın gerçekleşmesi ile silindir duvarlarından ısı kaybının azaldığını, bunun yanı sıra, metanolün oksijen içeriğine sahip olmasının daha iyi bir yanma işlemine olanak sağladığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, metanolün gizli buharlaşma ısısının benzine kıyasla yüksek olmasının sıkıştırma evresinde buharlaşma boyunca silindir bileşenlerinden ısı absorbe ettiğini belirtmişlerdir. 2500 d/d ve tüm yük şartlarında TV değerleri M10 ve M20 kullanımıyla benzine kıyasla ortalama olarak sırasıyla %3 ve %6 oranında artmıştır [82].

Çelik vd. tek silindirli benzinli motorda M0 ve M100 yakıtlarını kullanarak 6,0/1, 8,0/1

ve 10,0/1'lik sıkıştırma oranlarında 1500, 2000, 2500, 3000 ve 3500 d/d'lık beş farklı devir hızlarında yapmış oldukları deneysel çalışmada, M100 yakıtı için TV değerin benzininkinden yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır. Buna gerekçe olarak, metanolün alev hızının birçok HC yakıtı göre yüksek olmasını, bunun sonucunda ise yanmanın erken gerçekleştiğini ifade etmişlerdir. Böylece silindirdeki ısı kaybı azalmaktadır. Ayrıca, metanolün yüksek oksijen içeriğine ve yüksek buharlaşma ısısına sahip olması; sıkıştırma evresinde buharlaşma boyunca silindirden daha fazla ısı absorbe etmekte ve böylece hava yakıt karışımının sıkıştırılması için gereken enerjiyi azalttığını ifade etmişlerdir. M100 yakıtının kullanımıyla TV'deki artış 6/1 sıkıştırma oranı için %2,9, 8/1 sıkıştırma oranı için %8,1 ve 10/1 sıkıştırma oranı için %11,1 olarak hesaplanmıştır [89].

Mallikarjun ve Mamilla, M0, M3, M5, M10 ve M15 yakıtlarını kullandığı benzinli motorda 0, 1,479; 2,958; 4,437; 5,917 ve 7,396 kW ayrı motor güçlerinde çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, yakıt içerisindeki metanol oranı arttıkça TV değerin artmasının nedenini, motorun efektif gücüne ve yakıtın ısıl değerine bağlamışlardır. M3, M5, M10 ve M15'in ortalama TV değerleri, M0'a kıyasla sırasıyla %8, %22,72, %28,57 ve %42,1 oranında artmıştır [97].

Yapılan bir başka deneysel çalışmada Bilgin ve Sezer, M0, M5, M10, M15 ve M20 yakıtlarını dört stroklu benzinli bir motorda kullanarak 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500 ve 1600 d/d sekiz farklı devir hızı koşullarında test etmişlerdir. Bu çalışma neticesinde, metanol içeriği arttıkça TV değerin artmasının nedeni olarak metanolün bünyesinde oksijen bulundurması sonucu yanma veriminin arttığını ileri sürmüşlerdir. Bunun yanı sıra, benzinin düşük vuruntu direncine sahip olması nedeniyle TV değerin azaldığını ve metanolün yüksek oktan sayısına sahip olmasından dolayı sıkıştırma oranı arttıkça TV değerin arttığını belirtmişlerdir. M5, M10, M15 ve M20 yakıtlarının kullanımı esnasındaki TV miktarındaki artış ortalama olarak sırasıyla %1,5, %2,5, %3,4 ve %3,9'dur [98].

Etanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalar incelenecek olursa; Deng vd. E0, E10 ve E20 karışımları kullanılan benzinli bir motoru altı farklı hız (1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500 ve 5000 d/d) ve tam yük şartlarında test ettiklerinde, motor hızı azaldıkça TV değerin de paralel olarak azaldığını görmüşlerdir. Motor hızının

azaltılması silindir duvarlarındaki ısı transferini arttığını ve buna bağlı olarak TV'in düştüğünü, ayrıca, etanolün oksijen içeriği ve benzine kıyasla daha yüksek alev hızına sahip olması yanma periyodunu kısalttığını ifade etmişlerdir. Etanol kullanımı ile yanmanın daha kısa sürede gerçekleşmesi, hem yanma verimini artırmakta hem de silindirlerden transfer edilen ısı miktarını azalttığından TV'in arttığını vurgulamışlardır. E10W ve E20W kullanımında TV değerindeki artış benzinle kıyaslandığında sırasıyla %1 ve %3 seviyelerindedir [57].

Gupta vd. E0, E5 ve biyoetanol yakıtları kullanılan benzinli bir motoru altı farklı yük (0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 ve 3 kW) ve 3200 d/d sabit hız şartlarında test etmişlerdir. Motor yükünün artması ile maksimum silindir basınç ve sıcaklık değeri yükselmekte olduğunu buna bağlı olarak da termal verimin arttığını belirtmişlerdir. E5 yakıtının kullanımı ile TV değerinin arttığını belirtmişlerdir. E5 yakıtının kullanımı esnasındaki TV değerindeki artış ortalama olarak %0,14'tür [60].

Akansu vd. E0 ve E20 yakıtları ile yapmış oldukları deneysel çalışmada dört silindirli bir benzin motorunu iki farklı hız ve dört farklı yük şartlarında (1/4, 1/2, 3/4 ve 1) çalıştırmış, benzinin TV değerinin E20'den yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bunun sebebi olarak, benzine etanol ilavesinin yakıttaki enerji yoğunluğunu azaltmasını göstermişlerdir. Diğer taraftan, motor hızının artmasının volümetrik verimi ve termal verimi yükselttiğini belirtmişlerdir. 1500 d/d motor devri sabit motor hızında %50 ve %100 motor yükü koşulları için E0 yakıtı kullanımıyla TV değerlerindeki artış E20'ye kıyasla sırasıyla %5,8 ve %1,6 oranındadır [63].

Renzi vd. yakıt olarak E0, E50 ve E80 kullanılan dört silindirli benzinli bir motorda altı farklı hız (2000, 2200, 2400, 2600, 2800 ve 3000 d/d) ve tam yük şartlarında yaptıkları deneysel çalışmada, E50 yakıtının diğer yakıtlardan daha yüksek TV değerine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Bu sonucun elde edilmesinin nedeni olarak, hava/yakıt oranının 1'e yakın olmasını ileri sürmüşlerdir. Diğer taraftan, E80 yakıtı için hız artışının volümetrik verimi artırmasına rağmen TV değeri azalttığını belirtmişlerdir. Bunun nedeni olarak yanmanın daha fakir gerçekleşmesi sonucu efektif gücün azalmasını göstermişlerdir. Bunun yanı sıra, ½ yük şartlarında maksimum termal verim değeri elde edilmiştir. Çünkü bu yük şartlarında ortalama çevrim sıcaklığının düşmesinin ısı kayıpları azalttığını söylemişlerdir. E50'nin ortalama TV değeri E0'a

kıyasla %1 oranında fazla iken, E80'in ortalama TV değeri %2 oranında az bulunmuştur [67].

Masum vd. E0 ve E15 yakıtları ile çalıştırılan 4 silindirli bir motorda tam yük ve altı devir sayısında (1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ve 6000 d/d) gerçekleştirdikleri araştırmada, etanol içerikli yakıtın benzininkine nazaran daha yüksek TV değeri ürettiğini görmüşlerdir. Bunun sebebinin, etanolün içeriğinde oksijen bulunmasının daha iyi bir yanmaya olanak sağladığını belirtmişlerdir. Ayrıca, etanolün benzinden daha yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olması sıkıştırma zamanında silindir duvarlarından daha fazla ısı absorbe etmekte olduğunu ve hava-yakıt karışımının sıkıştırılması için harcanan kayıp gücü azalttığını belirtmişlerdir. Tüm devir şartları dikkate alındığında, E15'in ortalama TV değeri E0'a göre %0,68 oranında artmıştır [78].

Bir başka çalışmada Costa ve Sodré, dört silindirli ve enjeksiyonlu benzinli bir motorda E22 ve E100W yakıtı kullanarak tam yük ve altı farklı devir (1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ve 6000 d/d) şartlarında yapmış oldukları deneysel çalışmada, su içerikli etanol yakıtının (E100W), E22 yakıtına oranla daha yüksek TV değeri ürettiğini gözlemlemişlerdir. E100W kullanımı ile alev cephesinin daha kısa sürede oluşması ve ateşleme başlangıcının daha erken olması sonucu yanma periyodunu kısaltmıştır. Böylece, silindir duvarlarındaki ısı kaybının azaldığını ve TV arttığını belirtmişlerdir. E100W kullanımı ile E22'ye kıyasla TV değerindeki artış %14,1 olarak hesaplanmıştır [92].

Propanol yakıtı üzerine yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde; Sivasubramanian vd. iP10, iP20 ve iP30 yakıtları kullanılan multi-enjesiyonlu, tek silindirli ve benzinli bir motorda 2,53 bar sabit yük ve 8 farklı devir sayısında (1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600 d/d) gerçekleştirdikleri çalışmada, iso-propanolün oksijen içeriğine sahip olması sonucu yakıttaki iso-propanol oranı arttıkça TV değerinin arttığını açıklamışlardır. Ayrıca, iP yakıtının buharlaştırılması için benzinden yaklaşık iki kat daha fazla ısıya ihtiyaç duymasının, silindirden daha fazla ısıyı absorbe etmesine neden olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak yakıttaki iP içeriği arttıkça ısı kaybının azaldığını ve TV değerinin arttığını ifade etmişlerdir. 1400 d/d'da TV değerleri iP10, iP20 ve iP30 kullanımıyla benzine kıyasla ortalama olarak sırasıyla %10,3, %21,01 ve

%29,95 oranında artarken; 2800 d/d'da ise TV değerlerindeki bu artış sırasıyla %8,05, %14,5 ve %19,65 oranındadır [104].

Bütanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalar incelenirse; Sayın ve Balki, iB10, iB20 ve iB30 yakıtları kullanılan benzinli bir motorda, üç farklı sıkıştırma oranı (9/1, 10/1 ve 11/1), 2600 d/d sabit hız ve tam yük şartlarında gerçekleştirdikleri çalışmada, tüm sıkıştırma oranları için yakıttaki iB oranı arttıkça TV değerinin arttığını belirtmişlerdir. Bu artışın nedeninin, iB yakıtının içerdiği oksijen olduğunu düşünmüşlerdir. Aynı zamanda, iB'nin gizli buharlaşma ısısının benzinden yüksek olması nedeniyle, sıkıştırma zamanında silindir duvarlarından daha fazla ısı çektiğini ve bunun sonucu olarak da kayıp sıkıştırma işinin azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, tüm yakıtlar için sıkıştırma oranının artırılması ile yanma sonu basınç ve sıcaklık değeri yükselmekte, buna bağlı olarak da termik verimin iyileşmekte olduğunu göstermişlerdir. Benzin ile karşılaştırıldığında, iB10, iB20 ve iB30 kullanımıyla TV değerindeki maksimum artış miktarı sırasıyla %0,8, %1,9 ve %3,5 olarak hesaplanmıştır [77].

Thomas vd. sıkıştırma oranı değiştirilebilen, tek silindirli, multi-enjeksiyonlu, benzinli bir motorda, üç farklı sıkıştırma oranı (7, 8,5 ve 10), beş farklı yük (0,5, 1, 1,5, 2 ve 2,5 kW) ve 2600 d/d sabit yük şartlarında gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada yakıt olarak B20'yi kullanmışlardır. Sıkıştırma oranının yükseltilmesi ile strok/yanma odası hacminin oransal olarak artması efektif gücü ve TV değerlerini artırmıştır. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda yanma veriminin artması sonucu yakılan yakıt için daha fazla enerji açığa çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, B20 yakıtının yüksek oktan sayısına sahip olmasıyla daha temiz bir yanma gerçekleşmekte ve böylece daha iyi anti-vuruntu karakteristikleri oluşmaktadır. B20 karışımı kullanımında TV değerindeki artış yaklaşık %4 olarak hesaplanmıştır [102].

Yusoff vd., saf benzin E10, E20, iB10, iB20, E5iB5 ve E10iB10 yakıtları kullanılan dört silindirli benzinli bir motorda, beş farklı devir (1000, 2000, 3000, 4000 ve 5000 d/d) ve tam yük şartlarında gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, etanol içerikli yakıtların iso-bütanol içerikli yakıtlara nazaran daha yüksek TV değeri gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Bunun nedeni, etanolün daha fazla oksijen içeriğine sahip olması sonucu yanma verimini artırmasından kaynaklandığını düşünmüşlerdir. Ayrıca, etanolün gizli buharlaşma ısısının iso-bütanolünkünden yüksek olması sonucu sıkıştırma

evresinde volümetrik verimi artırması nedeniyle etanol içerikli yakıtlar iso-bütanol içerikli yakıtlara kıyasla daha yüksek TV değerlerine sahip olduğunu göstermişlerdir. Tüm yük şartları dikkate alındığında TV değerleri E10, E20, iB10, iB20, E5iB5 ve E10iB10 yakıtları için saf benzine göre sırasıyla %8,01, %13,61, %5,54, %6,45, %7,97 ve %8,35 oranında artmıştır [58].

Li vd. %10, 20, 30 40, 50 ve 50 oranında metanol, etanol ve iso-bütanol-benzin karışımları kullanılan tek silindirli, benzinli bir motorda iki farklı yük (3 ve 5 fren ortalama efektif basınç) ve 1500 d/d sabit devir şartlarında testleri gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, karışım içerisindeki alkol oranının artması ile sıkıştırma zamanındaki kayıp işin arttığını ve yanma fazının uzaması neticesinde net işin azaldığını, sonuç olarak da TV değerinin düştüğünü belirtmişlerdir. M10, M30, M60, E10, E30, E60, iB10, iB30 ve iB60 kullanıldığında ortalama TV değerleri benzine göre sırasıyla %1,95, %1,76, %0,93, %2,09, %1,35, %2,5, %2,16, %1,8 ve %0,76 oranında azalmıştır [62].

Sharudin vd. dört farklı devir (1000, 1500, 2000 ve 2500 d/d) ve tam yük şartlarında saf benzin, M5, M5iB5, M5iB10 ve M5iB15 yakıtları kullanılarak gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, alkol içerikli yakıtların oksijen içeriğine sahip olmasının yanma verimini arttırdığını ve TV'in benzine kıyasla arttığını göstermişlerdir. Alkol yakıtların benzine kıyasla daha yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olmasından dolayı karışım içerisindeki alkol oranının artması ile sıkıştırma sürecinde yakıtın buharlaşma oranının artması TV değerlerini iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, karışımdaki metanol ve iso-bütanolün varlığı sıkıştırma zamanındaki iş kaybını azaltmakta ve TV değerini artırmakta olduğunu ifade etmişlerdir. M5, M5iB5, M5iB10 ve M5iB15 kullanıldığında ortalama TV değerleri benzine göre sırasıyla yaklaşık %0,3, %0,4, %0,4 ve %0,5 oranında artmıştır [30].

Li vd. saf benzin ve iPBE30 karışımları kullanılan benzinli bir motor 1200 d/d ve tam yük şartlarında testlere tabi tutmuşlardır. Yakıt fazlalık katsayısı (YFK) ve ateşleme avansı elektronik kontrol ünitesiyle kontrol edilen yakıtlardaki TV değerlerinin arttığını ileri sürmüşlerdir. Buna gerekçe olarak, ısı kaybının azalması sonucu izantropik verimi artırdığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, yanma kalitesinin artmasına bağlı maksimum yanma sonu sıcaklığının yükseldiğini, yakıt fazlalık katsayısının azaldığını ve TV değerinin arttığını göstermişlerdir. iPBE30 karışımının kullanımında TV değerindeki

artış yaklaşık %2,5 olarak hesaplanmıştır [27].

Balki ve Sayın, saf metanol, etanol ve benzin kullanılan bir benzin motoru dört farklı sıkıştırma oranı (8, 8,5, 9 ve 9,5), 2400 d/d sabit hız ve tam yük şartlarında test etmişlerdir. Bu deneysel çalışmada, motorun maksimum termal verimi metanol (%30,47) ve etanol (%30,22) 9,5/1 sıkıştırma oranında, benzin için ise (%29,73) 9/1 sıkıştırma oranında çalıştırılmasıyla elde etmişlerdir. Bu çalışma şartlarında, maksimum efektif basıncın elde edilmesi ile maksimum TV değerlerine ulaşıldığını belirtmişlerdir. Etanol ve metanol kullanıldığında ortalama TV değerleri benzine göre sırasıyla %0,49 ve %0,74 oranında artmıştır [83].

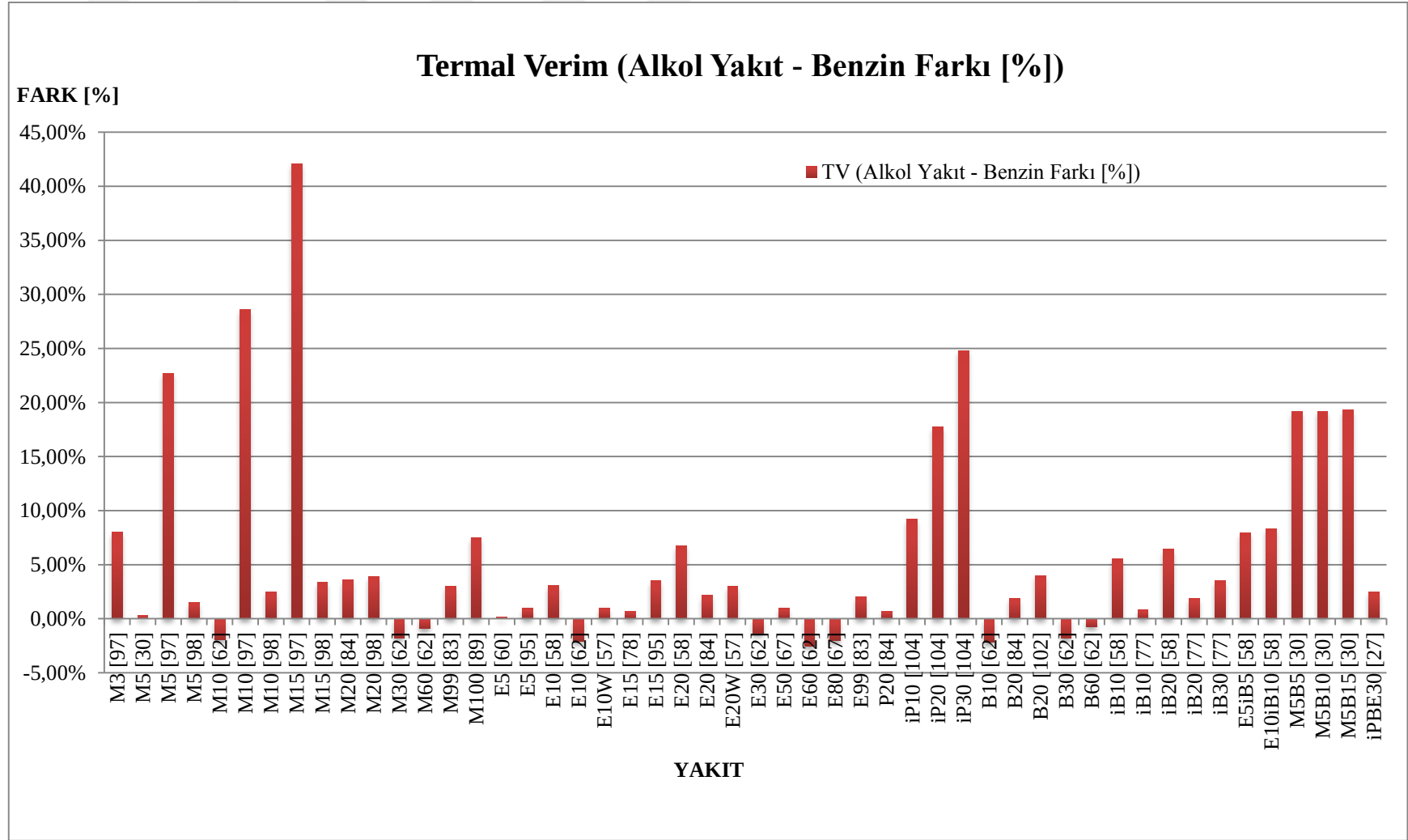
Masum vd. saf benzin, E20, M20, P20 ve B20 yakıtları kullanılan bir benzin motoru altı farklı devir (1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ve 6000 d/d) tam yük şartlarında test etmişlerdir. Alkol yakıtların oksijen içermesinin yanma verimini iyileştirdiğini ve maksimum TV değerlerinin oluşmasına sebep olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca, gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması sonucu buharlaşma için silindirden ısı çekmesi ile yakıt-hava karışımının daha kolay sıkıştırılması nedeni ile alkol içerikli yakıtların TV değerini arttırdığını ifade etmişlerdir. Ortalama TV değerleri E20, M20, P20 ve B20 karışımları kullanımıyla benzine kıyasla sırasıyla %2,15, %3,6, %0,7 ve %1,86 oranında artmıştır [84].

Farkade ve Pathre, saf benzin, %10, 20 ve 30 metanol, etanol ve bütanol-benzin karışımları kullanılan tek silindirli bir benzin motorunu 6 farklı yük (200, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 W) 3000 d/d sabit hız şartlarında test etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre en düşük alt ısı değerine sahip olsa bile, M10 yakıtının yüksek oksijen içeriğine (%5) sahip olması sonucu yanma verimi yükselmiş ve ortalama etkin basınç artmıştır. Bu sebeple, metanol içerikli yakıtların TV değeri benzininkinden yüksektir. Ancak M20 ve M30 yakıtları her ne kadar oksijen içeriğine sahip olsa da alt ısı değeri faktörü nedeniyle bu yakıtların TV değerleri benzininkinden düşük olmuştur. Ayrıca, etanolün ısı değerinin metanolden yüksek olması, E10 yakıtının TV değerinin M10'dan daha yüksek olmasına neden olmuştur. Bütanolün daha düşük oksijen içeriğine rağmen, ısı değerinin metanol ve etanolden yüksek olması bu yakıt karışımlarında daha yüksek TV değerleri elde edilmesine neden olduğunu ifade etmişlerdir. M10, E10 ve B20 kullanımında TV değerindeki artış benzinle kıyaslandığında sırasıyla %0,5, %2,8 ve %4

iken; M20, M30, E20, E30 ve B30 kullanımında ise TV değeriindeki azalış benzinle kıyaslandığında sırasıyla %1,5, %1,7, %2,8, %8,5 ve %4'tür [88].

Eyidoğan vd. dört silindirli, çok nokta enjeksiyonlu bir benzin motorunda, saf benzin, E5 E10, M5 ve M10 yakıtları dört farklı yük 5, 10, 15, 20 kW ve iki farklı hız (80 ve 100 km/h) şartlarında test etmişlerdir. Motor gücü arttıkça özgül yakıt tüketiminin düşmesinden dolayı tüm yakıtlara ait TV değeri artmıştır. 80 km/h'lik motor hızında M5, M10 ve E10 yakıtları E5 yakıtına nazaran daha yüksek TV değeri göstermiştir. Bunun nedeni olarak, daha fazla oksijen içeriğine sahip olmaları sonucu daha iyi yanmanın gerçekleşmesi olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, karışımdaki alkol içeriğinin artmasıyla gizli buharlaşma ısısının yükselmesi sıkıştırma zamanında buharlaşmanın devam etmesine ve silindirlerden ısı çekilmesine neden olduğunu, bunun da hava-yakıt karışımının sıkıştırılması için gereken kayıp işi azalttığını göstermişlerdir. 80 km/h motor hızında M5, M10 ve E10 kullanıldığında ortalama TV değerleri benzine göre sırasıyla %2,2, %2,5 ve %0,4 artarken E5 kullanıldığında bu değer %0,8 oranında azalmıştır. 100 km/h motor hızında M5, M10, E5 ve E10 kullanıldığında ise TV değerleri benzine göre sırasıyla %1,8, %4,7, %1,9 ve %2,5 artmıştır [93].

Şekil 3.1'de, gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalardan yola çıkılarak benzin yakıtı referans alınmış, kullanılan alkol içerikli yakıtların TV değerinin ortalama ne kadar farklılık gösterdiği yüzdesel [%] olarak belirtilmiştir. Şekle göre, M15 yakıtı kullanılarak benzine kıyasla %42,10'luk fark ile en yüksek TV değeri elde edilmiş; daha sonra bunu %28,57'lik fark ile M10 yakıtı takip etmiştir [97]. M5 yakıt karışımı %0,30'lik fark ile benzine kıyasla en düşük TV değerini göstermiştir [30]. Ayrıca bazı çalışmalarda ise kullanılan yakıt karışımları TV değerini benzine göre azaltıcı etki göstermiştir. Şekle göre, E60 ve E80 yakıt karışımlarının kullanılmasıyla TV değerinin benzine göre sırasıyla %2,5 ve %2 oranında azaldığı görülmektedir [62, 67].



Şekil 3.1. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının TV'e etkisi

3.1.2. Tork (T)

EK 1-Tablo 1’de görüldüğü gibi, geçmişten günümüze yapılmış deneysel çalışmalarda alkoller saf halde ya da belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak benzinli motorlarda kullanılmış ve tork değerleri hesaplanmıştır.

Etanol yakıtı üzerinde yapılacak deneylere incelendiğinde; Deng vd. E0, E10W ve E20W yakıtlarını dört silindirli benzinli bir motorda test etmişlerdir. Bu çalışmada, E10W ve E20W yakıtlarının benzine göre daha yüksek T değeri ürettiği görülmüştür. Alkol+su içerikli yakıtların daha fazla enerji absorbe edebilmeleri sonucu emme havasının sıcaklığının düşmesi sonucu T değerini artmıştır. Ayrıca, alkol yakıtların bünyelerinde oksijen bulundurmaları da T değerini artıran bir diğer etkidir. E0, E10W ve E20W’ün kullanılmasıyla elde edilen maksimum T değerleri sırasıyla 125 Nm, 131 Nm ve 128 Nm’dir. [57].

Doğan vd. tek nokta püskürtmeli, dört silindirli benzinli bir motorda E0, E10, E20 ve E30 yakıtlarını altı farklı hız ve (2000, 2500, 3000, 3500, 4000 ve 4500 d/d) tam yük şartlarında test etmişlerdir. Karışım içerisindeki etanol oranının artmasıyla T değerinin azalmasının temel nedeni olarak etanolün ısı değerlerinin benzine kıyasla daha düşük olması gösterilmiştir. E10, E20 ve E30’un ortalama T değerleri E0’a kıyasla sırasıyla %2, %3 ve %5 oranında az bulunmuştur [64].

Masum vd. E0 ve E15 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri araştırmalarda, etanolün gizli buharlaşma ısısının benzine kıyasla daha yüksek olması nedeniyle emme manifoldu ve silindirlerdeki volümetrik verimin artışının T değerini arttırdığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, E15 oksijen içeriğinin ve yüksek oktan sayısına sahip olmasının da T değerini iyileştirdiğini vurgulamışlardır. Tüm yakıtlar için maksimum T değerleri 4000 d/d motor devrinde elde edilmiştir. E15 kullanımında ile T değerinin benzine kıyasla yaklaşık %2,73 oranında arttığı görülmüştür [78].

Bir başka çalışmada Costa ve Sodré, dört silindirli ve enjeksiyonlu benzinli bir motorda E22 ve E100W yakıtı kullanarak yapmış oldukları deneysel çalışmada, yakıt içerisindeki benzinin alt ısı değerinin yüksek olması nedeniyle düşük motor hızlarında E22 yakıtı kullanılmasıyla yüksek T değeri elde edilmiştir. Yüksek motor hızlarında su

içerikli etanol (E100W) yakıtının yüksek T değerini göstermesinin nedeni ise, yakıtın yüksek yanma hızına sahip olmasına ve yanma zamanlamasının artmasına bağlanılmaktadır. Yüksek motor hızlarında bir motor çevriminden yanmanın tamamlanması için kısa bir zaman söz konusudur ve yüksek yanma hızı gereklidir. Yanma zamanlamasının artması, yanma odası basıncını artırır ve böylece yanma hızı da artar. Yüksek motor devrinde E100W'ün ortalama T değeri E22'ye kıyasla %3,7 oranında artmıştır [92].

Najafi vd. dört silindirli benzinli bir motorda E0, E5, E10, 15 ve E20 yakıtları kullanılan bir motoru beş farklı hız (1000, 2000, 3000, 4000 ve 5000 d/d) ve tam yük şartlarında yaptıkları test çalışmasında, karışımdaki etanol içeriğinin artmasıyla T değerinin arttığını belirtmişlerdir. Bunun nedenin ise etanol ilavesi ile hava-yakıt oranının artırması sonucu yanmanın daha verimli gerçekleşmesi olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, etanolün yüksek oktan sayısına sahip olması sayesinde sahip olduğu anti-vuruntu özelliğinin ateşleme avansını arttırması sonucu maksimum yanma sonu basıncının yükseldiğini ve buna bağlı olarak T değerinin arttığını gözlemlemişlerdir. E5, E10, 15 ve E20'ün ortalama T değerleri E0'a kıyasla sırasıyla %1,96, %1,47, %1,27 ve %2,94 oranında artmıştır [95].

Koç vd. E0, E50 ve E85 kullanılarak, tek silindirli benzinli bir motorda 500 d/d aralıklar ile 1500 d/d'dan başlayarak 5000 d/d'ya kadar tam yükte ve iki farklı sıkıştırma oranında (10/1 ve 11/1) ölçümleri yapmışlardır. Etanol, benzinden daha düşük ısı değere sahip olmasına rağmen, karışım içerisindeki etanol oranı arttıkça T değeri de beraberinde artmıştır. Araştırmacılar bunu birkaç etkene bağlamıştır. Öncelikle etanolün oksijen içeriğinin muhtemelen yanma kalitesini iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra, etanolün daha yüksek olması neticesinde aynı hacim şartlarında daha fazla yakıtın silindir içerisine enjekte edilmesinin T değerini arttırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca, etanolün gizli buharlaşma ısısının yüksek olması sonucu emme manifoldunun sıcaklığını düşürdüğünden volümetrik verimi arttırdığını tanımlamışlardır. 10/1 sıkıştırma oranında E50 ve E85'in ortalama T değerleri E0'a kıyasla yaklaşık %2 ve %2,2; 11/1 sıkıştırma oranında ise sırasıyla %2,3 ve %2,8 oranında fazla bulunmuştur [96].

Hsieh vd. E0, E5, E10, E20, E25 ve E30 yakıtları kullanılan dört silindirli, benzinli bir

motorda, 1000, 2000, 3000 ve 4000 d/d motor hızı %0, 20, 40, 60, 80 100 gaz keleşbeği açıklığında testleri gerçekleştirmişlerdir. Etanol oranının artması ile doğru orantılı olarak T değerinin artmasının gerekçesini, hava fazlalık katsayısının artışına bağlı olarak yanmanın stokiyometrik koşullara yaklaşması ile açıklamışlardır. Tüm devir şartları dikkate alındığında, E5, E10, E20 ve E30 karışımalarında ortalama T değerleri saf benzine göre sırasıyla %1,5, %2,4, %3 ve %4 oranında artmıştır [101].

Bütanol yakıtı üzerine yapılan araştırmalar incelenecek olursa; Elfasakhany'nin yaptığı çalışmada, tek silindirli ve benzinli bir motorda dokuz farklı devir (2600, 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300 ve 3400 d/d) ve tam yükte saf benzin, iBM3, iBM7, iBM10, nBE3, nBE7 ve nBE10 deney yakıtı olarak kullanılmıştır. Araştırmacı iB yakıtının fiziksel ve kimyasal zelliklerinin T değerinin değişiminde farklı sonuçlar oluşturduğun vurgulamıştır. Bütanolün ısıl değerinin olumsuz bir etken oluşturması nedeniyle T değeri üzerinde azaltıcı etki oluşturmuştur. Tüm devir şartları dikkate alındığında T değerleri iBM ve nBE'de saf benzine göre sırasıyla %0,5 ve %2 düşmüştür [59].

Elfasakhany'nin, 100 d/d'lık aralıklar ile 2600 – 3400 d/d arasında değişen dokuz farklı devir sayısında, iki farklı motor yükünde (1,3 ve 1,6 kW) iB0, iB3, iB7 ve iB10 yakıtları kullanarak yaptığı deneylerde, bütanolün ısıl değerinin benzininkinden %23 oranında düşük olması nedeniyle karışım yakıtlarının benzine nazaran daha düşük T değeri ürettiğini belirtmiştir. iB10 yakıtının daha yüksek silindir basıncı ve volümetrik verim değerlerine sahip olması nedeniyle diğer yakıt karışımlarından (B3 ve B7) daha yüksek T değeri göstermiştir. Tüm devir şartları dikkate alındığında niB3, niB7, niB10 karışimleri kullanıldığında, ortalama T değerleri saf benzine göre sırasıyla %3,6, %4 ve %2,1 azalmıştır [68].

Elfasakhany ve Mahrous, tek silindirli ve benzinli bir motor üzerinde saf benzin, nBM3, iBM7 ve iBM10 yakıtlarını kullanarak, 2600 d/d'dan başlayarak 3400 d/d'ya kadar 100 d/d aralıklar ile tam yükte, testleri gerçekleştirmişlerdir. iB ve M kullanımıyla T değerinde artma olduğunu dile getirilmiştir. Karışım yakıtlarının ısıl değerlerinin, benzinden düşük olmasının bir sonucu olarak yanma sonucu açığa çıkan ısı enerjisinde ve buna bağlı T değerinde azalma beklenebileceğine değinilmiştir. Buna karşın, volümetrik verimdeki artışıın sebep olduğu ortalama silindir basınç değerlerindeki

yükselmenin T değerini pozitif yönde etkilediği belirtilmiştir. nBM3, iBM7 ve iBM10 karışımları kullanıldığında T değerlerinin benzine göre sırasıyla %3,83, %3,19 ve %2,55 oranında azaldığı görülmüştür [72].

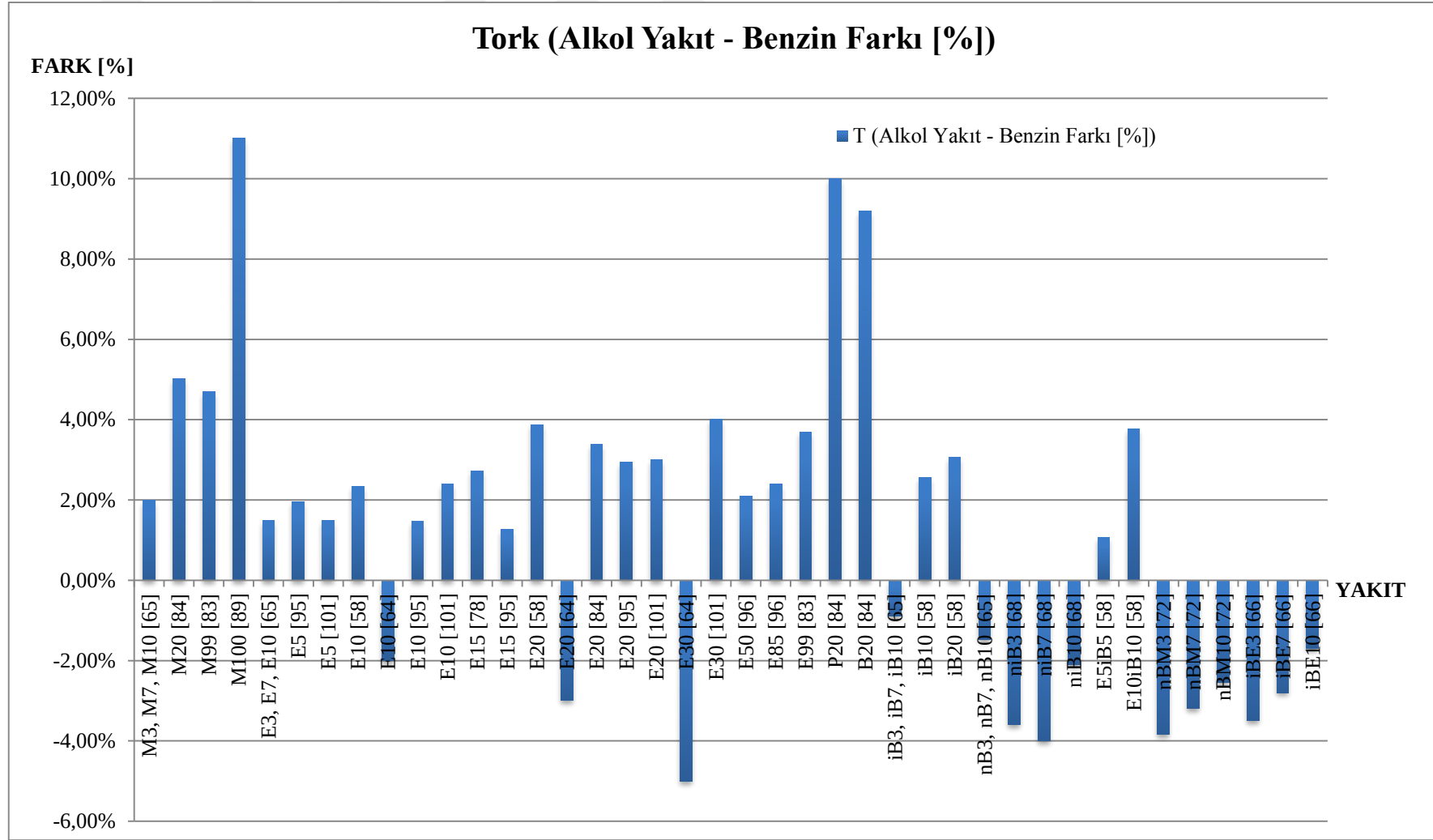
Yusoff vd. saf benzin, E10, E20, iB10, iB20, E5iB5, E10iB10 yakıtlarını dört silindirli benzinli bir motorda test etmişlerdir. Etanol ve bütanol içerikli yakıtların yüksek gizli buharlaşma ısılarına sahip olmaları sonucu volümetrik verimde artış meydana gelmektedir. Buna ek olarak, alkol yakıtların sahip olduğu oksijen içeriği yanma kalitesini olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenlere bağlı olarak da, T değerleri artış eğilimi göstermiştir. Tüm yük şartları dikkate alındığında T değerleri E10, E20, iB10, iB20, E5iB5 ve E10iB10 için saf benzine göre sırasıyla %2,33, %3,88, %2,56, %3,06, %1,06 ve %3,77 oranında azalmıştır [58].

Elfasakhany'nin yapmış olduğu diğer bir çalışmada, %3, %7 ve %10 oranında ve yüzdesel olarak eşit miktarda (örneğin E1,5+M1,5 toplam %3) etanol+metanol, bütanol+etanol, bütanol / benzin karışımları kullanılan tek silindirli benzinli bir motoru iki farklı hız (2600 ve 3400 d/d) ve ½ gaz kelebeği açıklığında deneylere tabi tutmuşlardır. EM karışımlarının diğer test yakıtlarından daha fazla oksijen içermeleri yanma performanslarını olumlu yönde etkilemektedir. Bunun yanı sıra, EM yakıt karışımlarının gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması sonucu volümetrik verim artmıştır. Diğer taraftan, EM karışımlarının gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması yanma sonu sıcaklıklarını ve basınçlarını düşürmektedir. Fakat EM karışımlarının volümetrik verim ve oksijen içeriği etkisi baskın görünmekte ve bu karışımlarının kullanımı ile T artmaktadır. Ayrıca, iB ve iBE yakıt karışımlarının ısı değerleri değerleri azalmış ve bunun neticesinde T düşmüştür. Etanol+metanol karışımı kullanıldığında 2600 d/d'da ortalama T değeri saf benzine göre sırasıyla %1,2 oranında artarken, iso-bütanol+etanol ve n-bütanol/benzin karışımları kullanıldığında T değerleri saf benzine göre sırasıyla %1 ve %1,5 oranında azalmıştır. 3400 d/d motor devrinde ise Etanol+metanol kullanıldığında ortalama T değeri saf benzine göre sırasıyla %3 oranında artarken, iso-bütanol+etanol ve n-bütanol/benzin karışımları kullanıldığında T değerleri saf benzine göre sırasıyla %2 ve %2,1 oranında azalmıştır [73].

Masum vd. saf benzin, P20, M20, E20 ve B20 karışımlarını kullanarak test etmişlerdir. Bu çalışmada, metanol, etanol, propanol ve bütanol içerikli yakıtların benzine nazaran

daha yüksek T değeri göstermiştir. Bu sonucun elde edilmesinin nedeni ilk olarak, alkol yakıtların gizli buharlaşma ısılarının yüksek olmasına bağlı olarak volümetrik verimin iyileşmesidir. Bir diğer neden, alkol yakıtların oksijen içeriğine sahip olmaları nedeniyle daha verimli yanmanın gerçekleşmesidir. Ayrıca, alkol yakıtların yüksek oktan sayısına sahip olması sonucu tutuşma gecikmesi gerçekleşmekte böylece silindirlerde meydana gelen ısı transferi miktarı azalmaktadır. Ortalama T değerleri M20, E20, P20 ve B20 için saf benzine kıyasla sırasıyla %5,02, %3,39, %10 ve %9,2 oranında artmıştır [84].

Şekil 3.2’de, gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalardan yola çıkılarak benzin yakıt referans alınmış, kullanılan alkol içerikli yakıtların T değerinin ortalama ne kadar fark gösterdiği yüzdeli [%] olarak belirtilmiştir. Şekle göre, M100 yakıtı kullanılarak benzine kıyasla %11’lik fark ile en yüksek T değeri elde edilmiş; daha sonra bunu %10’luk fark ile P20 yakıtı izlemiştir [89, 84]. E30 ve niB7 yakıt karışımlarının kullanılmasıyla T değerinin benzine göre sırasıyla %5 ve %4 oranında azaldığı görülmektedir [64, 68].



Şekil 3.2. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının T'a etkisi

3.1.3. Efektif Güç (EG)

EK 1-Tablo 1’de görüldüğü üzere, geçmişten günümüze yapılmış deneysel çalışmalarda alkoller saf halde ya da belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak benzinli motorlarda kullanılmış ve EG hesaplanmıştır. Bazı alkol kullanımlarda EG artarken, bazı kullanımlarda ise EG’nin azaldığı görülmüştür.

Etanol yakıt üzerinde yapılan deneyler incelenecek olursa; Deng vd., E0, E10W ve E20W yakıtlarını test etmişlerdir. Bu çalışmada, E10 ve E20 yakıtlarının E0’a göre daha yüksek EG değeri ürettiği görülmüştür. Alkol içerikli yakıtların gizli buharlaşma ısısının benzine kıyasla yüksek olması nedeniyle emme zamanındaki karışımın sıcaklığı düşmektedir. Böylece, volümetrik verim ve buna bağlı olarak da fren ortalama efektif basıncı artmaktadır. Ayrıca, alkol yakıtların oksijen içermeleri nedeniyle yanma performansındaki iyileşme de EG değerinin artmasındaki diğer bir etkidir. E10W ve E20W kullanımında EG değerindeki artış benzinle kıyaslandığında sırasıyla yaklaşık %3,57 ve %1,78 seviyelerindedir [57].

Abikusna vd., saf benzin, E5, E10 ve E15 yakıtları kullanılan bir benzin motorunu 1000 d/d’lık aralıklarla 4000-10000 d/d arasında değişen farklı devirlerde tam yük şartlarında test etmişlerdir. Bu çalışmada etanol içerikli karışımlar kullanıldığında, benzine kıyasla daha yüksek EG değeri elde edilmiştir. Alkol yakıtların benzine nazaran daha az karbon ve hidrojen içermesi nedeniyle hemen hemen tüm çalışma şartları için tam yanma koşulları sağlanmaktadır. Diğer taraftan, alkol yakıt kullanımı ile volümetrik verimin artışının EG’nin yükselmesindeki faktörlerden biri olduğu vurgulanmıştır. Tüm karışımlar için maksimum EG değerleri 8000 d/d motor devrinde elde edilmiştir. Bu motor devrinde E5, E10 ve E15’in kullanılmasıyla elde edilen EG değerleri benzine göre yaklaşık %9 oranında artmıştır [61].

Doğan vd., tek nokta püskürtmeli, dört silindirli benzinli bir motorda E0, E10, E20 ve E30 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri deneylerde, benzinin alt ısıl değerinin etanolden yüksek olması nedeniyle, karışımda etanol oranının artmasıyla doğru orantılı olarak EG değeri azalmıştır. E10, E20 ve E30’ün ortalama EG değerleri E0’a kıyasla sırasıyla %3, %4,5 ve %5,3 oranında az bulunmuştur [64].

Najafi vd., E0, E5, E10, E15 ve E20 yakıtlarının kullanıldığı 4 silindirli benzinli bir motoru beş farklı devir (1000, 2000, 3000, 4000 ve 5000 d/d) ve tam yük şartlarında test ettiklerinde, karışımda etanol içeriğinin artmasıyla ortalama efektif basıncın arttığını buna bağlı olarak da EG'nin yükseldiğini görmüşlerdir. Ayrıca, etanolün gizli buharlaşma ısısının benzinden yüksek olması nedeniyle volümetrik verimin artması sonucu EG artmıştır. E5, E10, E15 ve E20'nün ortalama EG değerleri E0'a kıyasla sırasıyla %0,48, %0,97, %1,46 ve %1,95 oranında artmıştır [95].

Bütanol yakıt üzerinde yapılan deneyler incelenirse; Elfasakhany deneysel çalışmasında, saf benzin, niB3, niB7 ve niB10 yakıtlarını kullanmıştır. Bu çalışmada, n-bütanol/iso-bütanolün ısı değerlerinin benzininkinden yaklaşık %23 oranında düşük olması nedeniyle genel olarak karışım yakıtlarından benzine nazaran daha düşük EG değeri elde edilmiştir. Ancak, niB10 karışımı diğer yakıt karışımlarından daha yüksek volümetrik verime ve silindir basıncına sahip olması nedeniyle maksimum EG değeri sağlamıştır. Tüm devir şartları dikkate alındığında niB3, niB7 ve niB10 kullanıldığında, ortalama EG değerleri saf benzine göre sırasıyla %5,9, %7,2 ve %4,6 seviyesinde azalmıştır [68].

Yine Elfasakhany, nB0, nB3, nB7 ve nB10 yakıtlarını tek silindirli benzinli bir motorda, 2600, 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300 ve 3400 d/d'lık devir sayılarında ve tam yükte test etmiştir. n-Bütanol'ün gizli buharlaşma ısısının yüksek olması sonucu buharlaşma ve yanma prosesinde daha fazla ısı absorbe etmektedir. Bu nedenle, n-bütanol içerikli yakıtların EG değerlerinin benzine kıyasla kısmen daha düşük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, ısı değerinin düşük olması dolayısıyla n-bütanol içerikli yakıtlar benzine nazaran daha düşük EG değeri göstermişlerdir. Tüm devir şartları dikkate alındığında EG değerleri nB3, nB7 ve nB10'da nB0'a göre sırasıyla %2,06, %4,13 ve %6,6 düşmüştür [81].

Yusoff vd., saf benzin, E10, E20, iB10, iB20, E5iB5, E10iB10 yakıtlarını kullanarak yaptıkları deneyler neticesinde etanol ve bütanol içerikli yakıtların benzine nazaran daha yüksek EG değeri gösterdiğini belirtmişlerdir. Buna gerekçe olarak, yüksek gizli buharlaşma ısılarına sahip olmaları sayesinde emme prosesinin sonunda daha fazla yoğunlukta karışım girdisinin gerçekleşmesi şeklinde açıklamışlardır. Tüm yük şartları dikkate alındığında EG değerleri E10, E20, iB10, iB20, E5iB5, E10iB10 için saf

benzine nazaran %1,64, %2,6, %1,92, %2,57, %0,95 ve %2,22 oranında artmıştır [58].

Elfasakhany'nin yaptığı çalışmada, saf benzin, iBM3, iBM7, iBM10, nBE3, nBE7 ve nBE10 kullanarak gerçekleştirdikleri deney sonucunda karışım yakıtlarının enerji içeriklerinin düşük olması ve gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması sonucu daha yüksek ısıyı silindirlerden çekmesi neticesinde n-bütanol içeriği arttıkça EG değeri azalma eğilimi göstermiştir. Saf benzinden sonra iBM10 yakıtının en yüksek EG değeri üretmesi nedeninin, iBM10 kullanımında yanma prosesinin daha hızlı gerçekleşmesi ve böylece ortalama silindir basıncının artması olduğunu ifade etmişlerdir. Tüm devir şartları dikkate alındığında EG değerleri iBM3, iBM7, iBM10, nBE3, nBE7 ve nBE10'da iB0'a göre sırasıyla %3,5, %2,8, %1,7, %7,89, %7,23 ve %6,57 oranında düşmüştür [59].

Sharudin vd., saf benzin, M5, M5iB5, M5iB10 ve M5iB15 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, metanol ve bütanol içerikli yakıtların benzine göre daha yüksek EG değeri gösterdiği ifade edilmiştir. Bu durumun nedeni ise karışım yakıtlarının silindir içerisindeki yanma verimlerinin yüksek olmasıdır. Ayrıca, metanol yakıtının yüksek yoğunluğu sayesinde enjeksiyon esnasında kütsel olarak daha fazla yakıtın püskürtülmesi EG'nin artışında önemli bir etki oluşturmuştur. M5, M5iB5, M5iB10 ve M5iB15 kullanıldığında ortalama EG değerleri saf benzine göre sırasıyla yaklaşık %3,9, %4,5, %9 ve %10,1 oranında artmıştır [30].

Elfasakhany'nin yaptığı diğer bir çalışmada, tek silindirli ve benzinli bir motorda dokuz farklı devir (2600, 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300 ve 3400 d/d) ve tam yükte saf benzin, iBE3, iBE7 ve iBE10 deney yakıtları kullanılmıştır. Etanol yakıtının ısı değeri benzin ile karşılaştırıldığında %38 oranında düşük olmasına karşın elde edilen efektif güç değeri ortalama olarak sadece %5 oranında az olduğu gözlemlenmiştir. Etanolün yüksek oktan sayısına sahibi olması ateşleme avansının yüksek olduğu çalışma şartlarında vuruntu temayülünü ortadan kaldırmakta ve buna bağlı olarak EG artmaktadır. iBE3, iBE7 ve iBE10 karışımlarının kullanımında EG değerlerindeki azalma sırasıyla %6,4, %5,5 ve %3,8 olarak hesaplanmıştır [66].

Balki vd., tek silindirli benzinli bir motorda saf benzin, M100 ve E100 yakıtlarını kullanarak altı farklı devir sayısı (1600, 2000, 2400, 2800, 3200 ve 3600 d/d), tam yük

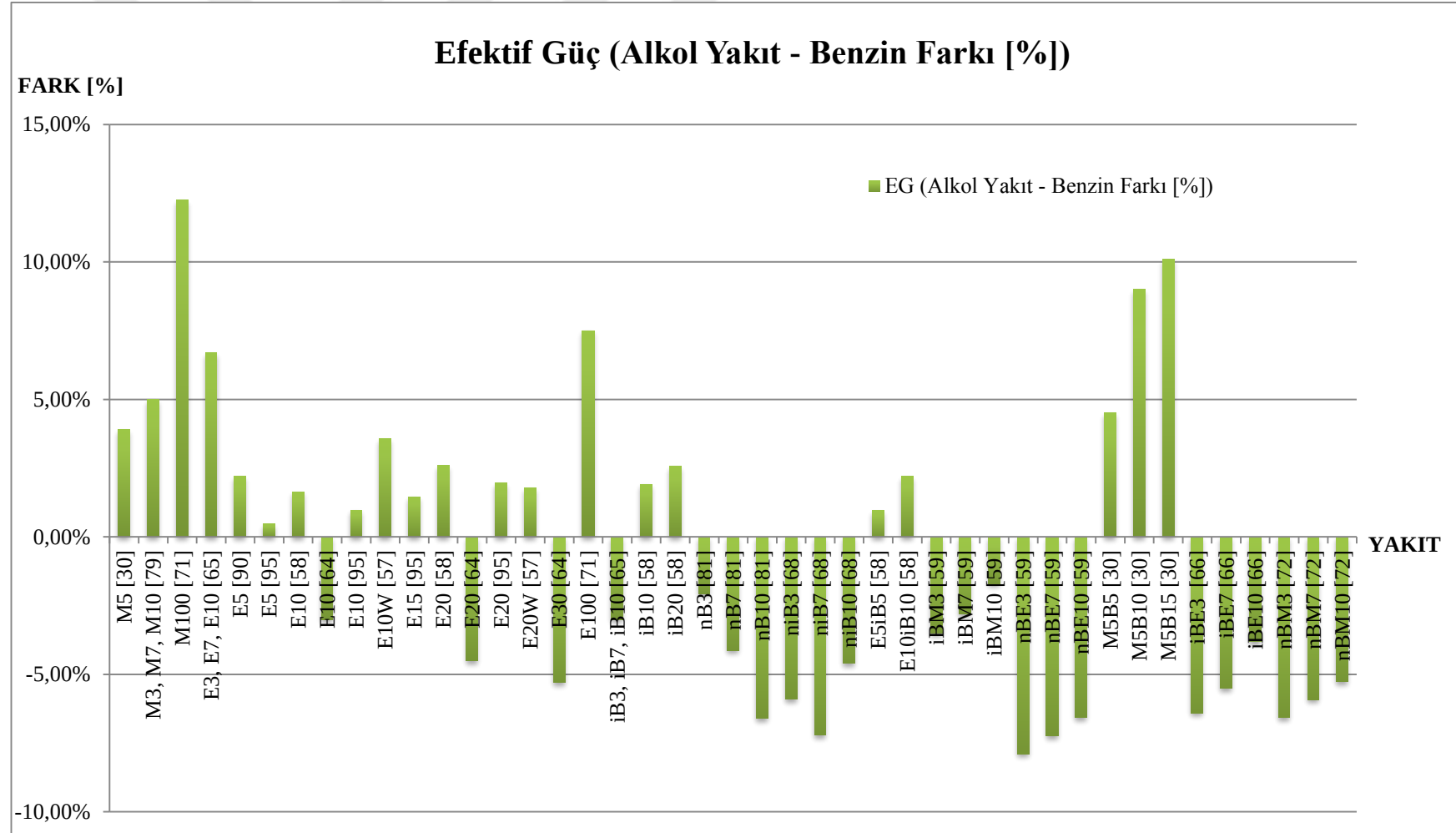
ve iki farklı sıkıştırma oranında (8/1 ve 9/1) deneysel çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Metanol ve etanol yakıtların kaynama noktalarının düşük olması yanma odasında daha homojen bir hava-yakıt karışımı oluşmasını sağlamaktadır. Bu etken yanma ve volümetrik verimi iyileştirmekte ve EG değeri yükselmektedir. Benzin ile karşılaştırıldığında EG değerlerindeki maksimum artış miktarı M100 ve E100 yakıtları için sırasıyla %12,25 ve %7,5 olarak hesaplanmıştır [71].

Elfasakhany ve Mahrous araştırmalarında, tek silindirli ve benzinli bir motor üzerinde saf benzin, nBM3, nBM7 ve nBM10 yakıtlarını kullanılarak, 2600 d/d'dan başlayarak 3400 d/d'ya kadar 100 d/d aralıklar ile tam yükte testleri gerçekleştirmişlerdir. Metanol ve bütanol yakıtları karışımlar içerisinde çok düşük oranlarda olmalarına karşın özellikle yüksek hızlarda çok belirgin bir şekilde EG'te azalmalara sebebiyet vermişlerdir. Bunun nedeninin, alt ısı değerlerinin düşük olması sonucu yanma prosesinde açığa çıkan ısı enerjisinin azalması olduğu düşünülmüştür. Gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması da EG değerinin düşük olmasının bir diğer neden olarak değerlendirilmiştir. Tüm devir şartları dikkate alındığında nBM3, nBM7 ve nBM10 karışımları kullanıldığında, ortalama EG değerleri benzine kıyasla sırasıyla yaklaşık %6,57, %5,92 ve %5,26 azalmıştır [72].

Elfasakhany'nin yapmış olduğu diğer bir çalışmada, %3, %7 ve %10 oranında ve yüzdesel olarak eşit miktarda (örneğin E1,5+M1,5 toplam %3) etanol+metanol, bütanol+etanol, bütanol / benzin karışımları kullanılan tek silindirli benzinli bir motorda deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Etanol+metanol+benzin karışımlarının daha fazla oksijen içeriğine sahip olması sonucu diğer yakıtlara oranla daha yüksek EG değeri göstermiştir. Bu karışımın kullanılmasıyla EG'nin artışındaki diğer bir etkenin ise gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması sonucu yanma odasındaki sıcaklığın düşmesi ve volümetrik verimin artması olduğu değerlendirilmiştir. Diğer taraftan, n-bütanol+iso-bütanol-benzin ve iso-bütanol+etanol+benzin karışımları daha düşük enerji içeriğine sahip olduklarından benzine nazaran daha düşük EG değeri göstermişlerdir. Ayrıca, n-bütanol+benzin karışımlarında daha düşük doygunluk basıncı oluşması sonucu beklenenden daha çok miktarda yakıt buharlaşmıştır. Böylece volümetrik verim düşmüş ve EG değeri azalmıştır. Etanol+metanol karışımı kullanıldığında 2600 d/d'da ortalama T değeri saf benzine göre sırasıyla %1,3 oranında artarken, iso-bütanol+etanol

ve n-bütanol/benzin karışımları kullanıldığında T değerleri saf benzine göre sırasıyla %1,3 ve %1,9 oranında azalmıştır. 3400 d/d motor devrinde ise Etanol+metanol kullanıldığında ortalama T değeri saf benzine göre sırasıyla %9 oranında artarken, iso-bütanol+etanol ve n-bütanol/benzin karışımları kullanıldığında T değerleri saf benzine göre sırasıyla %5,5 ve %5,9 azalmıştır [73].

Şekil 1.7’de, gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalardan yola çıkılarak benzin yakıt referans alınmış, kullanılan alkol içerikli yakıtların EG değerinin ortalama ne kadar fark gösterdiği yüzdeli [%] olarak belirtilmiştir. Şekle göre, M100 yakıtı kullanılarak benzine kıyasla %12,25’lik artış ile en yüksek EG değeri elde edilmiş; daha sonra bunu %10,1’luk artış ile M5B15 yakıtı izlemiştir [71, 30]. nBE7 ve nBE7 yakıt karışımları benzine kıyasla sırasıyla %7,89 ve %7,23’lük azalış ile en düşük EG değerlerini göstermiştir [59].



Şekil 3.3. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının EG'e etkisi

3.1.4. Volümetrik Verim (VV)

EK 1-Tablo 1’de görüldüğü üzere, geçmişten günümüze yapılmış deneysel çalışmalarda alkoller saf halde ya da belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak benzinli motorlarda kullanılmış volümetrik verim hesaplanmıştır.

Etanol yakıt üzerinde yapılan çalışmalar incelenirse; Renzi vd. yakıt olarak E0, E50 ve E80 kullanarak yaptıkları deneysel çalışmada, yakıt içerisindeki etanol oranı arttıkça VV’in de arttığı görülmüştür. Etanol’ün gizli buharlaşma ısısı benzinden daha yüksektir. Bu özellik karışımının sıcaklığının düşmesine ve yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak da VV artmaktadır. E50 ve E802’in ortalama VV değerleri E0’a kıyasla sırasıyla yaklaşık %10 ve %20 oranında yüksek bulunmuştur [67].

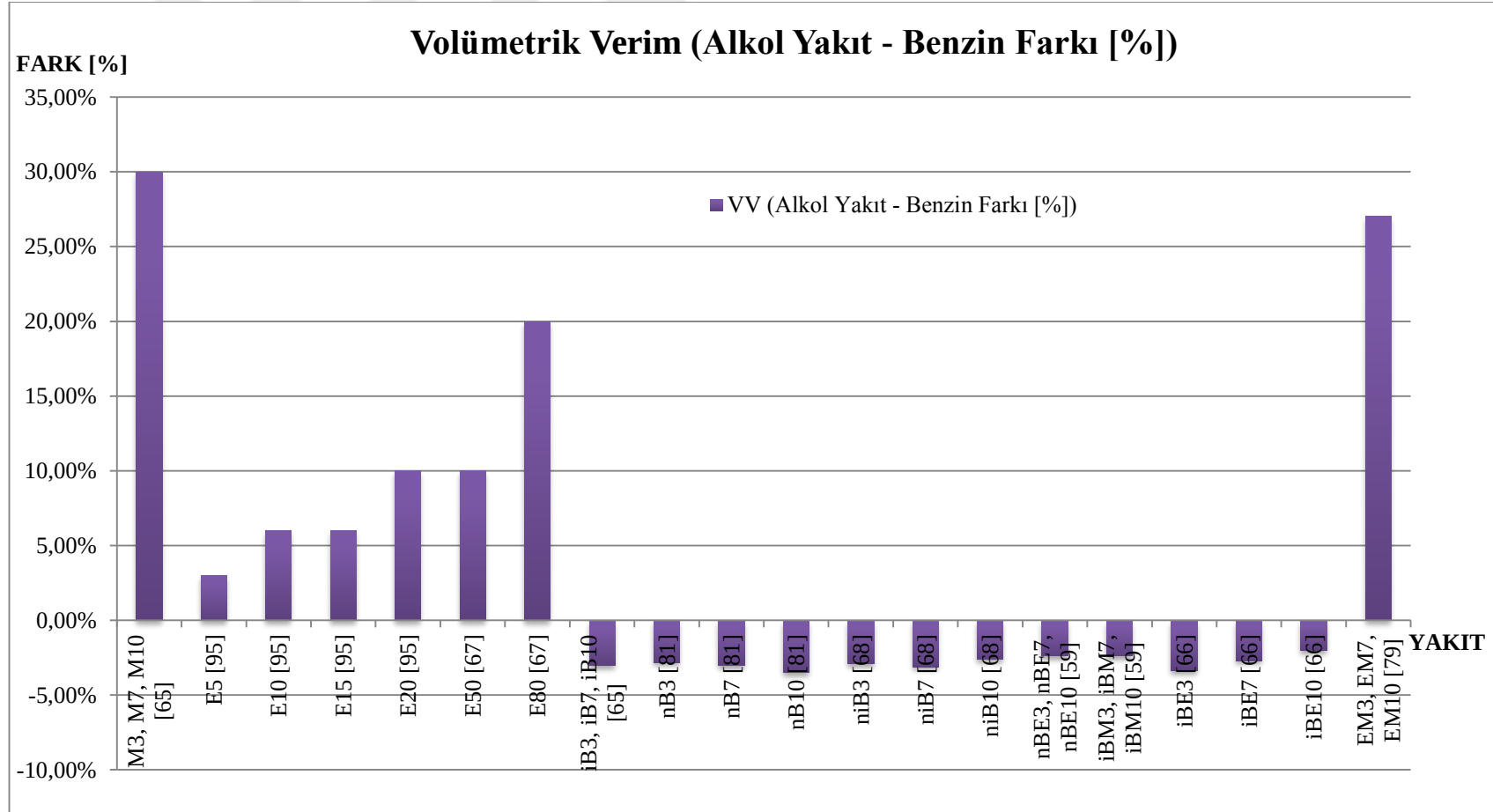
Bütanol yakıt üzerinde yapılan çalışmalar incelenecek olursa; Elfasakhany, niB0, niB3, niB7 ve niB10 yakıtları kullanarak deneyini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, n-bütanol/iso-bütanol’ün yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olması sayesinde silindirlere alınan havanın giriş sıcaklığının düşmesi VV’i arttırmıştır. Bütanolün doyma basıncı benzinin doyma basıncının yaklaşık 1/10’u kadar düşüktür. Buharlaşma sıcaklığı ise kısmen yüksektir. Karışımındaki bütanol oranının azalmasıyla (B3 ve B7 gibi), karışımındaki doyma basıncının volümetrik verim üzerindeki etkisinin buharlaşma sıcaklığının etkisinden daha baskın olmasının sonucu olarak VV değeri azalma eğilimi göstermiştir. Tüm devir şartları dikkate alındığında niB3, niB7 ve niB10 karışımları için ortalama VV değerleri saf benzine göre sırasıyla yaklaşık %2,9, %3,1 ve %2,6 oranında azalmıştır [68].

Elfasakhany’nin yaptığı çalışmada, saf benzin, iBM3, iBM7, iBM10, iBE3, iBE7 ve iBE10 deney yakıtı olarak kullandığı deneysel çalışmada, saf benzin iBM içerikli yakıtlara kıyasla daha yüksek VV değeri göstermiştir. Alkol yakıtların gizli buharlaşma ısıları benzininkinden yüksek olması volümetrik verimi arttırmaktadır. Diğer taraftan, iso-bütanolün doyma basıncı benzininkinden çok daha düşük olması ise karışım yakıtlarının volümetrik verimini kötüleştirmektedir. Buhar basıncının düşük olması baskın faktör olarak görülmüş ve karışım içerisinde alkol oranı arttıkça VV düşmüştür. Tüm devir şartları dikkate alındığında iBM ve nBE karışımları kullanıldığında ortalama

VV değerleri saf benzine göre %2,5 azalmıştır [59].

Elfasakhany'nin %3, %7 ve %10 oranında ve yüzdesel olarak eşit miktarda (rneğin E1,5+M1,5 toplam %3) etanol+metanol, iso-bütanol+etanol, n-bütanol+isobütanol bütanol-benzin karışımları kullandığı çalışmada, niB ve iBE içerikli yakıt karışımlarının benzine kıyasla daha düşük volümetrik verim ürettiğini hesaplamıştır. niB ve iBE kullanımında VV değerinin azalmasının sebebi ise bu yakıtların çok düşük doyma basıncına (benzinin yaklaşık 1/10 değerinde) sahip olması sonucu daha fazla miktarda yakıtın buharlaşmasıdır. Etanol+metanol karışımı kullanıldığında 2600 d/d'da ortalama VV değeri saf benzine göre %22 oranında artarken, iso-bütanol+etanol ve n-bütanol/benzin karışımları kullanıldığında VV değerleri saf benzine göre sırasıyla %5 ve %5,3 oranında azalmıştır. 3400 d/d motor devrinde ise Etanol+metanol kullanıldığında ortalama VV değeri saf benzine göre %14 oranında artarken, iso-bütanol+etanol ve n-bütanol/benzin karışımları kullanıldığında VV değerleri saf benzine göre sırasıyla %4,7 ve %4,9 oranında azalmıştır [73].

şekilde 3.4'de, gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalardan yola çıkılarak benzin yakıt referans alınmış, kullanılan alkol içerikli yakıtların VV değerinin ortalama ne kadar fark gösterdiği yüzdeli [%] olarak belirtilmiştir. şekle göre, metanol ve etanol içerikli yakıtlar yüksek VV değeri göstermişlerdir. Metanol içerikli yakıtlar (M3, M7, M10) kullanılarak benzine kıyasla %30'luk artışla ile en yüksek VV değeri elde edilmiş; daha sonra bunu %27'lik artış ile metanol ve etanol içerikli yakıtlar (EM3, EM7, EM10) izlemiştir [65, 79]. B (nB) ve iB içerikli yakıt karışımları benzine kıyasla ortalama %2,8'lik azalışla en düşük VV değerini göstermiştir [65, 68, 81, 59, 66].



Şekil 3.4. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının VV'e etkisi

3.1.5. Özgöl Yakıt Tüketimi (ÖYT)

EK 1-Tablo 1’deki gibi, alkoller saf halde ya da belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak benzinli motorlarda kullanılmış ve özgöl yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

Metanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde; Balki ve Sayın M0 ve M100 yakıtlarını kullandığı tek silindirli, benzinli bir motorda 8,0/1, 8,5/1, 9,0/1 ve 9,5/1’lik sıkıştırma oranlarında deneyleri gerçekleştirerek ÖYT değerlerini hesaplamıştır. Bu çalışmada, metanolün kullanılmasıyla benzine kıyasla daha yüksek ÖYT değeri elde edildiğini gözlemişlerdir. Bunun nedeni, metanolün ısıl değerinin benzininkinden düşük olmasıdır. Ayrıca, stokiometrik yakıt/hava oranlarının yüksek olması sonucu aynı çıkış gücü için daha fazla yakıt kullanılmasına ve dolayısıyla ÖYT’nin artmasına neden olduğu ifade edilmiştir. Metanol kullanımı ile ÖYT değerindeki ortalama artış yaklaşık %80’dir [74].

Agarwal vd. M0, M10 ve M20 yakıtlarının kullanarak yapmış oldukları deneysel çalışmalarda elde ettiği hesaplamalara göre, karışım içerisinde metanol oranının artmasıyla ÖYT artmıştır. Metanolün oksijen içeriği yanma performansını olumlu olarak etkilese bile metanolün ısıl değerinin benzinden çok daha düşük olması nedeniyle ÖYT değeri artmıştır. 1500 d/d ve tüm yük şartlarında ÖYT değerleri M10 ve M20 kullanımıyla benzine kıyasla ortalama olarak sırasıyla %3 ve %14 oranında artmıştır [82].

Çelik vd.’nin tek silindirli, benzinli bir motorda M0 ve M100 yakıtları kullanılarak yapmış oldukları deneysel çalışmada, metanolün alt ısıl değerinin benzinden düşük olması nedeniyle M100 kullanımında ÖYT değeri yükselmiştir. M100 yakıtının kullanılmasıyla ÖYT değerindeki artış 6/1 sıkıştırma oranı için %90 olarak hesaplanmıştır. M100 yakıtı kullanımıyla ÖYT değerindeki artış 6/1 sıkıştırma oranı için M0’a kıyasla %90 oranında artmıştır [89].

Mallikarjun ve Mamilla, M0, M3, M5, M10 ve M15 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri araştırmada, metanolün oksijen içeriği nedeniyle tam yanma şartlarına yaklaşılmıştır. Buna bağlı olarak, karışımda metanol oranının artmasıyla ÖYT azalma eğilimi göstermiştir. M3, M5, M10 ve M15’in ortalama ÖYT değerleri, M0’a

kıyasla sırasıyla %4, %6, %23 ve %37 oranında azalmıştır [97].

Etanol yakıtı üzerine yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde; Deng vd.'nin E0, E10W ve E20W karışımların kullanıldığı deneysel araştırmada, bünyesinde su bazlı etanolün stokiyometrik hava/yakıt oranının benzininkinden düşük olması sonucu motor kapalı döngüde çalışmaktadır. Kapalı döngü çalışma şartlarında ise oksijen sensöründen gelen geri dönüşüm sinyallerine bağlı olarak elektronik kontrol ünitesi HFK'yı 1'e yakın değerde tutabilmek için silindirlere gönderilen yakıt miktarını arttırmıştır. Sonuç olarak, etanol-benzin karışimli yakıtlara ait ÖYT değerinin arttığı gözlenmiştir. E10W ve E20W kullanımında ÖYT değerindeki artış benzinle kıyaslandığında yaklaşık %3,7 seviyelerindedir [57].

Doğan vd., çalışmalarında kullandıkları E10, E20 ve E30'ün ortalama ÖYT değerleri E0'a kıyasla sırasıyla %2,67, %3,57 ve %5,8 oranında fazla bulunmuştur [64]. Masum vd. gerçekleştirdikleri deneyler neticesinde, E15 karışımında ortalama ÖYT değeri saf benzine göre %6,7 oranında artmıştır [78]. Costa vd. gerçekleştirdikleri araştırmada, E100W yakıtının kullanılmasıyla ÖYT değerinin E22'ye kıyasla %54 oranında arttığını ifade etmişlerdir [92]. Koç vd. çalışmalarında kullandıkları E50 ve E85 yakıtları ile 10/1 sıkıştırma oranında ortalama ÖYT değerlerinin saf benzine kıyasla sırasıyla %20,3 ve %45,6; 11/1 sıkıştırma oranında ise ÖYT değerlerinin saf benzine kıyasla sırasıyla %16,1 ve %36,4 oranında arttığını belirtmişlerdir [96]. Bütün bu deneylerdeki ÖYT artışının nedeni, benzinin alt ısı değerinin etanolünkünden 1,6 kat daha yüksek olmasıdır [64].

Bütanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalar incelenecek olursa; Sayın vd., iB10, iB20 ve iB30 yakıtları kullanılan benzinli bir motorda yaptıkları araştırmada, iso-bütanol'ün alt ısı değerinin benzinden düşük olduğu belirtilmiştir. Buna bağlı olarak karışımda iso-bütanol oranı arttırıldığında, aynı H/Y oranını yakalayabilmek için benzine kıyasla daha fazla iso-bütanol kullanılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu ise ÖYT değerini arttırmıştır. Benzin ile karşılaştırıldığında ÖYT değerindeki ortalama artış miktarı iB10, iB20 ve iB30 için sırasıyla %2,64, %3,96 ve %4,84 olarak hesaplanmıştır [77].

Gu vd., benzinli bir motorda, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40°C'A'lık sekiz farklı ateşleme

avanslarında B0, B10, B30, B40 ve B100 yakıtlarını kullanarak deneyini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, alt ısıl değerinin etkisiyle, karışımdaki n-bütanol oranı arttıkça ÖYT değerinin arttığı gözlenmiştir. Tam yük şartları dikkate alındığında, B10, B30, B40 ve B100'ün ÖYT değerleri saf benzine göre sırasıyla yaklaşık %7,69, %34,61, %23,07 ve %46,15 oranında artmıştır [105].

Yusoff vd., saf benzin, E10, E20, iB10, iB20, E5iB5 ve E10iB10 yakıtlarını kullandıkları bilimsel incelemede, etanol ve/veya iso-bütanol içerikli yakıtlar kullanımıyla yanma veriminin artmasıyla beraber termal verimin artması sonucu, yüksek motor torklarında ÖYT değeri azalmıştır. Tüm yük şartları dikkate alındığında, E10, E20, iB10, iB20, E5iB5 ve E10iB10'un ÖYT değerleri saf benzine kıyasla sırasıyla %4, %4,83, %3,19, %3,17, %3,48 ve %5,77 oranında düşmüştür [58].

Li vd., %10, 20, 30 40, 50 ve 50 oranında metanol, etanol ve izobutanol-benzin karışımlarını kullanarak testleri gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, metanol, etanol ve bütanolün alt ısıl değerlerinin benzininkinden düşük olması nedeniyle, karışımdaki alkol oranı arttıkça ÖYT değerinin arttığını gözlemişlerdir. M10, M30, M60, E10, E30, E60, B10, B30 ve B60 kullanıldığında ortalama ÖYT değerleri benzine göre sırasıyla %8,28, %22,87, %51,75, %6,51, %15,36, %34,39, %4,96, %10,29 ve %18,32 oranında artmıştır [62].

Li vd., G ve iPBE30 karışımlarını deneylere tabi tutması neticesinde, hava/yakıt oranı düştükçe TV değerinin artması sonucu hem benzin hem de iBE30 için ÖYT değeri düşmüştür. Ayrıca, iBE'nin alt ısıl değerinin yüksek olması nedeniyle karışım yakıtı kullanıldığında ÖYT değeri yükselmiştir. iPBE30 karışımı kullanımında ÖYT miktarındaki ortalama artış %7,1 olarak hesaplanmıştır [27].

Sharudin vd., saf benzin, M5, M5iB5, M5iB10 ve M5iB15 yakıtları kullanarak deneysel bir araştırma gerçekleştirmişlerdir Alkol yakıtların benzine kıyasla daha düşük enerji içeriğine sahip olması nedeniyle, karışım yakıtları kullanıldığında motordan aynı gücün elde edilebilmesi için daha fazla yakıt tüketilmiştir. Bu da doğal olarak hesaplanan ÖYT verilerini artırmıştır. M5, M5iB5, M5iB10 ve M5iB15 kullanıldığında ortalama ÖYT değerleri saf benzine göre sırasıyla %0,5, %0,73, %1,16 ve %1,42 oranında artmıştır [30].

Balki vd., saf benzin, M100 ve E100 yakıtlarını kullandıkları araştırmada, metanol ve etanol kullanımıyla ÖYT değerlerinde belirgin bir artış olduğunu belirtmişlerdir. Alkol yakıtların alt ısı değerinin benzine kıyasla düşük olması nedeniyle, aynı ısı enerjisini elde etmek için benzinden yaklaşık 2 kat daha fazla saf metanol ve etanol yakıt kullanılmıştır. Yakıt tüketimin artışı da ÖYT değerlerini olumsuz olarak etkilemiştir. E100 ve M100 kullanıldığında ortalama ÖYT değerleri benzine göre sırasıyla %56,25 ve %103,12 oranında artmıştır [71].

Masum vd., saf benzin, E20, M20, P20 ve B20 yakıtları kullanarak teste tabi tutmuşlardır. Bu çalışmada kullanılan tüm alkol yakıtların (metanol, etanol, propanol ve bütanolün) alt ısı değerleri benzininkinden düşüktür. Bu nedenle, karışım yakıtları kullanıldığında aynı motor gücünün elde edilmesi için kullanılan yakıt miktarının artırılması beraberinde ÖYT değerlerini yükseltmiştir. Propanol ve bütanolün ÖYT değerinin benzininkine yakın olmasının nedeni ise bu alkollerin metanol ve etanole göre daha yüksek oktan sayısı ve ısı değerlere sahip olmasıdır. Ortalama ÖYT değerleri M20, E20, P20 ve B20 karışımları kullanımıyla sırasıyla %7,58, %5,17, %4,43 ve %1,95 oranında artmıştır [84].

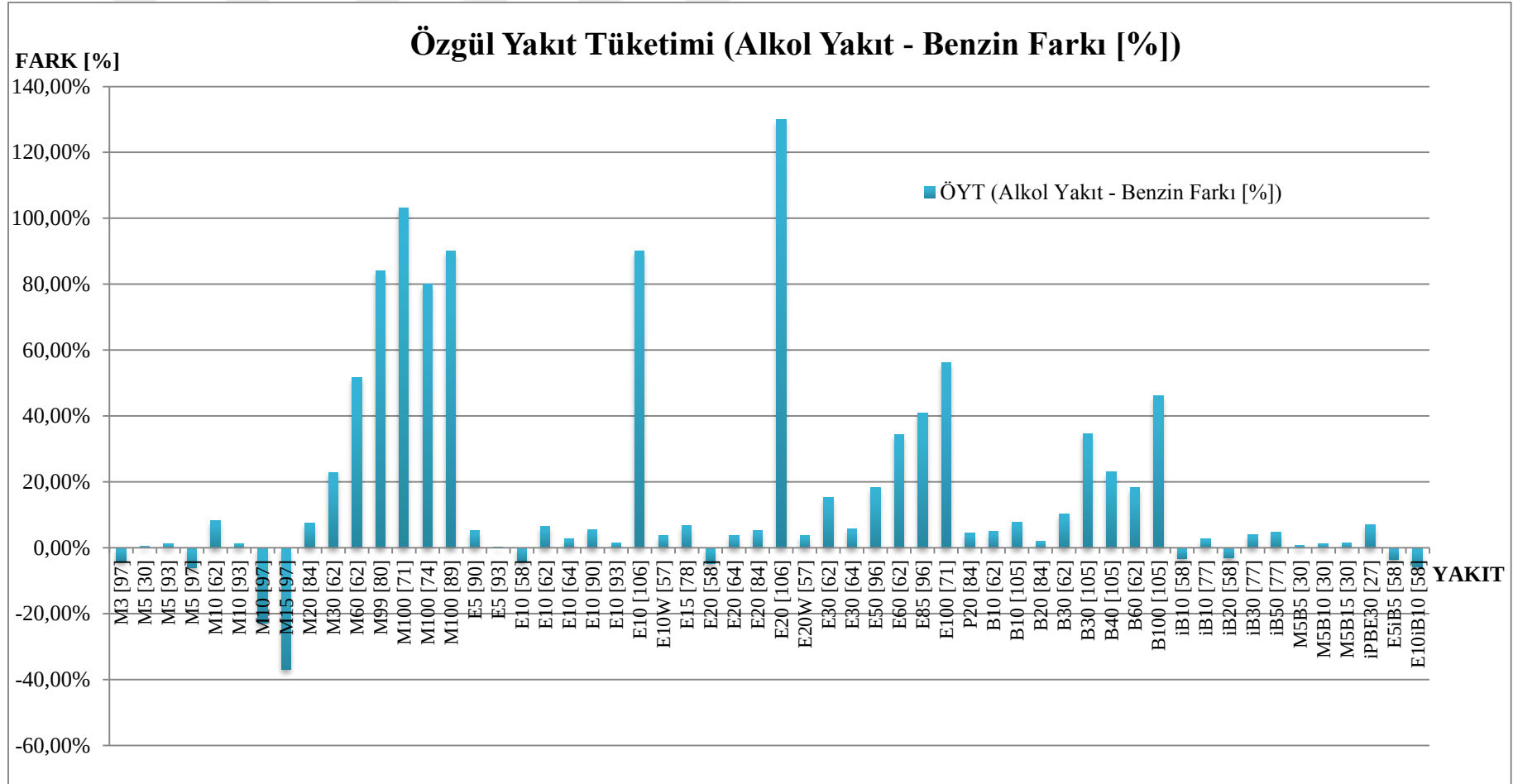
Eyidoğan vd. dört silindirli, çok nokta enjeksiyonlu bir benzin motorunda, saf benzin, E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarını kullanarak deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Metanol ve etanol içerikli yakıtların alt ısı değerlerinin benzininkinden düşük olması sebebiyle, alkol karışımlı yakıtların ÖYT değeri benzininkinden yüksek çıkmıştır. Ancak metanolün alt ısı değerinin etanolünkünden düşük olmasına rağmen, M5 yakıtının ÖYT değeri E5 yakıtın ÖYT değerinden; M10 yakıtının ÖYT değeri ise E10 yakıtın ÖYT değerinden düşük çıkmıştır. Bu durumun nedeni, metanolün etanole nazaran daha fazla oksijen içeriğine sahip olması yanma verimini artırmasıdır. E5, E10, M5 ve M10 kullanıldığında ortalama ÖYT değerleri saf benzine göre sırasıyla yaklaşık %0,2, %1,5, %1,1 ve %1,2 oranında artmıştır [93].

Farkade ve Pathre, saf benzin, %10, 20 ve 30 metanol, etanol ve bütanol-benzin karışımları kullanılan tek silindirli bir benzin motorunda test etmişlerdir. Bu çalışmaya göre, alkollerin alt ısı değerlerinin benzininkinden düşük olması nedeniyle alkol içerikli yakıtların ÖYT değeri benzininkinden daha yüksektir. M10, M20, M30, B10 ve B30 kullanımında ÖYT değerindeki artış benzinle kıyaslandığında sırasıyla %4, %10, %22,

%3,4, %20'dir. E10, E20 ve E30 kullanımında ÖYT değerindeki azalış benzin ile kıyaslandığında ise sırasıyla %1,6, %3,2 ve %4,8'dir [88].

Şekil 3.5'de, gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalardan yola çıkılarak benzin yakıt referans alınmış, kullanılan alkol içerikli yakıtların ÖYT değerinin ortalama ne kadar fark gösterdiği yüzdesel [%] olarak belirtilmiştir. Şekle göre, en yüksek ÖYT değerleri metanol ve etanol içerikli yakıtlarda görülmektedir. E20 yakıtı kullanılarak benzine kıyasla %130 artış ile en yüksek ÖYT değeri elde edilmiş; daha sonra bunu %103,12 artış ile M100 yakıtı izlemiştir [106, 71]. M15 ve M10 yakıt karışımları benzine kıyasla sırasıyla ortalama %37 ve %23 azalışla en düşük ÖYT değerini göstermiştir [97].





Şekil 3.5. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının ÖYT'e etkisi

3.2. Emisyon

EK 2-Tablo 1’de ilgili deneysel çalışmalar incelenerek benzinli motorlarda alkol yakıt kullanılması durumunda egzoz emisyonlarında meydana gelen değişimler belirtilmiştir.

3.2.1. Hidrokarbon (HC) Emisyonu

EK 2-Tablo 1’de görüldüğü gibi, geçmişten günümüze yapılmış deneysel çalışmalarda alkoller saf halde ya da belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak benzinli motorlarda kullanılmış ve HC miktarı llmştir.

Metanol yakıtı üzerinde yapılan deneysel araştırmalar incelendiğinde; Balki ve Sayın, M0 ve M100 yakıtların kullanarak deneylerini gerçekleştirmiş ve HC emisyon miktarını ölçmüşlerdir. Bu çalışmada, metanolün benzine göre daha yüksek oranda oksijen içermesi ve daha düşük kaynama noktasına sahip olması HC emisyonunu azaltmıştır. Ayrıca, metanolün laminar yanma hızının yüksek olması ve metanol kullanımıyla volümetrik verimin iyileşmesinin de HC emisyonunu azaltıcı etkenler arasında olduğu belirtilmiştir. Diğer taraftan, metanolün gizli buharlaşma ısısının yüksek olması, yanma odasındaki ısının düşmesine ve dolayısıyla HC emisyonun artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden, HC emisyonundaki azalmanın sınırlı kaldığı ifade edilmiştir. Metanol kullanımı ile HC miktarındaki azalma 8,5/1, 9,0/1, 9,5/1 ve 10/1 sıkıştırma oranı için sırasıyla %20,37, %40,12, %14,81 ve %2,47 olarak hesaplanmıştır [74].

Agarwal vd. dört silindirli, benzinli bir motorda M0, M10 ve M20 yakıtlarını kullanarak deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Bu deneylerde, düşük motor hızlarında karışımın çok fakir olması ve alev hızının oldukça düşük düzeylerde kalması nedeniyle HC salınımı artış göstermektedir. Yüksek motor hızlarında da karışımın zengin olması nedeniyle yanma odasında yeterli miktarda oksijen bulunmamaktadır. Sonuç olarak yanma tamamlanamadığından HC emisyonu artmaktadır. Metanolün gizli buharlaşma ısısının benzinden yüksek olması nedeniyle, düşük motor hızlarında yanma odasında ortalama sıcaklık değerleri düşmekte, silindir cidarlarına yakın bölgelerde alev snme bölgeleri oluşmakta ve genellikle HC emisyonu artış göstermektedir. 1500 d/d ve tüm yük şartlarında HC emisyon değerleri M10 ve M20 kullanımıyla benzine kıyasla ortalama olarak sırasıyla %1,2 ve %7,9 oranında artmıştır. Yüksek motor hızlarında ise sıcaklıkların artması nedeniyle HC emisyonu değişiminde farklı eğilimler

görülmektedir. 2500 d/d ve yine tüm yük şartları için HC emisyon değerleri benzine kıyasla ortalama olarak M10 kullanımıyla %1,2 artarken M20 kullanımıyla %8,6 oranında azalmıştır. [82].

Çelik vd. tek silindirli benzinli bir motorda M0 ve M100 yakıtlarını kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Saf metanolün gizli buharlaşma ısısının benzininkinden yaklaşık 3 kat yüksek olması nedeniyle ortalama silindir sıcaklığı düşmektedir. Bu durum, silindir duvarlarına yakın bölgelerde kısmî yanmaya yol açtığından HC emisyon emisyonunu arttırmıştır. M100 yakıtı kullanımıyla HC emisyonu oranındaki artış 6/1 sıkıştırma oranı için %12 ve 10/1 sıkıştırma oranı için ise %50 olarak hesaplanmıştır [89].

Mallikarjun ve Mamilla, M0, M3, M5, M10 ve M15 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdiği deneysel çalışmada, karışımdaki metanol miktarının artmasıyla HC miktarının azaldığını gözlemlemişlerdir. Metanolün oksijen içeriğinin yanma verimini arttırmasının, bu sonucu oluşturan temel etken olduğu vurgulanmıştır. M3, M5, M10 ve M15'in ortalama HC değerleri, M0'a kıyasla sırasıyla %14,32, %15,19, %15,98 ve %1,67 oranında azalmıştır [97].

Etanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalara bakılacak olursa; Deng vd., E0, E10W ve E20W karışımlarını test etmişlerdir. E10W ve E20W karışımlarının oksijen içeriğinin E0 yakıtına göre yüksek olması sonucu, tam yanma gerçekleşmiştir. Ayrıca, etanolün gizli buharlaşma sıcaklığının düşük olmasına bağlı olarak silindirlere alınan hava-yakıt karışımı miktarı artmış ve tam yanma şartları sağlanmıştır. Bunun sonucu olarak da HC emisyon miktarını azalmıştır. E10W ve E20W kullanımında HC emisyonundaki azalma benzine kıyaslandığında sırasıyla %17,0 ve %11,8 seviyelerindedir [57].

Gupta vd., E0, ve E5 yakıtlarını kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma neticesinde, etanolün benzine nazaran daha yüksek oksijen içeriğine sahip olması ve hava/yakıt oranının düşük olması sonucu HC miktarı azalmıştır. E5 yakıtı kullanımı esnasındaki HC miktarındaki azalma ortalama olarak %23,2'dir [60].

Akansu vd., E0 ve E20 yakıtları ile yapmış oldukları deneysel çalışmada, E20 yakıtı

kullanımı ile ısı verimin artması sonucu ile HC emisyon miktarının azaldığı sonucuna varmışlardır. E20 kullanımıyla HC miktarında azalma benzine kıyasla ortalama olarak %9,8 olarak hesaplanmıştır [63].

Doğan vd., E0, E10, E20 ve E30 yakıtlarını kullanarak deneysel bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışma neticesinde, tüm yakıtlar için motor hızının artmasıyla birlikte HC emisyon miktarı azalmıştır. Çünkü, motor hızının artmasıyla silindir içerisinde türbülans artmaktadır. Bu suretle, daha homojen bir karışımın elde edilmesi sonucu HC emisyonu azalma eğilimi göstermektedir. Bu çalışmada ayrıca, etanolün buharlaşma sıcaklığının benzin kıyasla düşük olmasına bağlı olarak, karışımın içerisinde etanol miktarının artmasıyla silindirlerdeki ortalama sıcaklık düşmekte ve HC emisyon miktarı artmaktadır. HC emisyonunun maksimum ve minimum değerleri sırasıyla, E30 yakıtı için 2000 d/d'da 144,93 ppm ve E0 yakıtı için 4000d/d'da 58 ppm olarak ölçülmüştür [64].

Renzi vd., yakıt olarak E0, E50 ve E80 kullanarak karbüratörlü bir motorda gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, biyoetanolün akış debisinin yüksek olması ve güçlü soğutma etkisi nedeniyle yanma odasına giren yakıt zerreciklerinin buharlaşma yüzdesini artırdığını ve HC emisyon azalttığını vurgulamışlardır. E50 ve E80'in ortalama HC değerleri E0'a kıyasla sırasıyla %26,2 ve %27,4 oranında az bulunmuştur [67].

Najafi vd., E5, E7,5, E10, E12,5 ve E15 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, karışımdaki etanol miktarının artmasıyla hava/yakıt oranının artması ve etanoldeki oksijen içeriği sayesinde tam yanmanın gerçekleşmesi nedeniyle HC emisyon miktarının azaldığı ifade edilmiştir. En düşük HC emisyon değerleri E5, E7,5, E10, E12,5 ve E15 yakıtları için sırasıyla 193, 152, 148, 147, 143 ppm olarak 3000 d/da ölçülmüştür [75].

Najafi vd., E0, E5, E10, E15 ve E20 yakıtlarını kullanarak deneysel çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, etanolün benzine nazaran az sayıda karbon içermesi ve etanol içerikli yakıtların oksijen içeriğine sahip olması HC emisyon miktarını benzine kıyasla azaltmıştır. Ayrıca, etanol katkısıyla hava/yakıt oranının düşmesi sonucu tam yanma şartlarının oluşması nedeniyle HC emisyon miktarı

azalmıştır. E5, E10, E15 ve E20'ün ortalama HC değerleri, E0'a kıyasla sırasıyla %16,94, %24,04, %25,14 ve %31,69 oranında azalmıştır [95].

Masum vd., E0 ve E15 yakıtları ile çalıştırılan 4 silindirli bir motorda çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Etanolün oksijen içeriğine sahip olması yanma verimini iyileştirmektedir. Bu nedenle E15 yakıt karışımı benzine kıyasla HC emisyonunu azaltıcı etki göstermiştir. Ayrıca, etanolün laminar yanma hızının benzininkinden yüksek olması ve bunun da alkol-benzin karışımının tam olarak yanmasını sağlaması nedeniyle yanma performansı iyileşmektedir. Bu iki etken nedeniyle karışımda etanol miktarının artmasıyla HC miktarı azalmıştır. Ayrıca, motor hızı arttıkça tüm karışımlar için HC miktarı düşmüştür. Bunun nedeni ise, yüksek hızlarda silindir sıcaklığının yükselmesi ile karışımın daha homojenize olması sonucu yanma veriminin artmasıdır. Tüm devir şartları dikkate alındığında E15 karışımında ortalama HC değeri saf benzine göre %4,5 oranında düşmüştür [78].

Propanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalara bakılacak olursa; Sivasubramanian vd., saf benzin, iP10, iP20 ve iP30 yakıtları kullanılan multi-enjesiyonlu, tek silindirli ve benzinli bir motorda gerçekleştirdikleri çalışmada, yakıttaki propanol içeriğinin artmasıyla beraber oksijen içeriğinin de artması sonucu tam yanma şartlarının gerçekleşmesi nedeniyle HC miktarı azalmıştır. Ayrıca, propanolün tutuşma sıcaklığının benzine kıyasla daha düşük olmasına bağlı olarak, düşük sıcaklıklarda karışımın kolaylıkla buharlaşması sonucu yanma odasında yakıt hemen hemen tümüyle yakılabilmektedir. Böylece kısmî yanma oluşmamış ve HC miktarı azalmıştır. iP10, iP20 ve iP30'un ortalama HC değerleri, saf benzine kıyasla sırasıyla %4,16 %6,25 ve %10,41 oranında düşük ölçülmüştür [104].

Bütanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalara bakılacak olursa; Elfasakhany, saf benzin, iB0, iB3, iB7, iB10, nB0, nB3, nB7, nB10 yakıtları kullanarak yaptığı araştırmada, ilk olarak n-bütanol ve iso-bütanolün tek tip HC'a sahip olması sonucu daha hızlı yanma gerçekleşmiştir. İkinci olarak bu alkollerin yapılarında oksijen bulundurması sonucu yanma verimini artmakta ve daha fazla miktarda yakıt yanmaktadır. Son olarak, alkol yakıtlar hava-yakıt oranlarının düşük olması nedeniyle çok fakir karışimli çalışma şartlarında bile optimum yanma şartlarını sağlamaktadırlar. Bu etkenlere bağlı olarak, karışımdaki n-bütanol ve iso-bütanol oranının artması ile HC

miktarı azalmıştır. Tüm devir şartları dikkate alındığında niB3, niB7 ve niB10 karışımları kullanıldığında, ortalama HC değerleri saf benzine göre sırasıyla %8,2, %12 ve %15 azalmıştır [68].

Sayın ve Balki, iB10, iB30 ve iB50 yakıtları kullanılan benzinli bir motorda çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. İso-bütanolün yaklaşık %29-30 oranında oksijen içeriğine sahip olması sayesinde silindir içerisinde daha iyi yanma gerçekleşmiştir. Ayrıca, sıkıştırma oranının arttırılması ile silindirlerdeki ortalama sıcaklık değerleri yükselmiş ve HC emisyon miktarı azalmıştır. Benzin ile karşılaştırıldığında, HC emisyonundaki maksimum azalma miktarı iB50 yakıtında %28,13 olarak hesaplanmıştır [77].

Feng vd., B0 ve B35 yakıtlarını tek silindirli, benzinli bir motorda, 3500-9000 d/d motor devirleri arasında 500 d/d'lık aralıklarla gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, bütanol içerikli yakıt kullanımıyla HC emisyon miktarı azalmıştır. Bu sonucu oluşturan etken ise, bütanolün benzine nazaran daha düşük karbon ve hidrojen içeriğine sahip olmasına bağlı olarak daha düşük hava-yakıt oranlarında tam yanma şartlarının sağlanmasıdır. B35 karışımı kullanımında HC miktarındaki azalma %16,65 olarak hesaplanmıştır [85].

Gu vd., benzinli bir motorda, B0, B10, B30, B40 ve B100 yakıtlarını kullanarak deneyini gerçekleştirmiştir. Bütanolün buharlaşması sırasında ortalama silindir sıcaklığının düşmesi sonucu genişleme ve egzoz prosesi boyunca HC oksidasyonunun azaması nedeniyle B100 yakıtına ait HC emisyon miktarı benzininkinden fazladır. Gu vd. yine aynı motorda, %0, %5, %10, %15 ve %20 egzoz gazı devridaim oranlarında aynı yakıt karışımlarını kullanarak test etmişlerdir. Test sırasında, HC emisyonunun egzoz gazı geri dönüşümü oranıyla doğru orantılı olarak arttığı ifade edilmiştir. Egzoz gazı geri dönüşüm oranının artması alev yayılma hızının ve efektif gücün düşmesine yol açmıştır. Bu etkenler HC miktarını artmıştır. Tüm yük şartlarında, B0, B10, B30, B40 ve B100 karışımları için HC değerleri sırasıyla 1,33, 1,11, 1,04, 0,82 ve 2,28 g/kWh olarak hesaplanmıştır [105].

Yusoff vd., saf benzin, E10, E20, iB10, iB20, E5iB5, E10iB10 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, etanol ve iso-bütanol içerikli yakıtların özellikle yüksek hızlarda HC emisyonunu düşürdüğü öne sürmüşlerdir. Bunun nedeni ise yüksek

hızlarda, silindirlerdeki ortalama sıcaklık değerlerinin yükselmesi ve alkol katkısıyla yanma veriminin artması sonucu hava-yakıt karışımının daha homojenize olması olarak açıklanmıştır. Ayrıca, motor torkunun artmasıyla çevrim başına daha fazla yakıtın silindirlere enjekte edilmesiyle HC emisyon miktarı artış eğilimi göstermektedir. Tüm yük şartları dikkate alındığında HC değerleri E10, E20, iB10, iB20, E5iB5 ve E10iB10'de saf benzine göre %21,31, %44,39, %25,24, %34,87, %55,06 ve %31,49 düşmüştür [58].

Elfasakhany'nin yaptığı çalışmada, saf benzin, iBM3, iBM7, iBM10, nBE3, nBE7 ve nBE10 deney yakıtları kullanılmıştır. İso-bütanolün moleküler yapısında benzine kıyasla %21,6 oranında daha fazla oksijen bulunmaktadır. Özellikle oksijen miktarının minimum değerde olduğu fakir karışimli çalışma şartlarında HC emisyonundaki azalma çok belirgin ortaya çıkmaktadır. Tüm devir şartları dikkate alındığında HC değerleri iBM3, iBM7, iBM10, nBE3, nBE7 ve nBE10'da iB0'a göre sırasıyla %30, %32, %34, %15, %17 ve %19 düşmüştür [59].

Elfasakhany, tek silindir benzinli bir motorda 2600 ve 3400 d/d motor devirlerinde saf benzin, E3, E7, E10, M3, M7, M10, nB3, nB7, nB10, iB3, iB7 ve iB10 yakıtlarını test etmiştir. Alkol yakıtların içerisinde oksijen bulunmasının yanma performansını iyileştirmesi nedeniyle HC miktarını azaltmaktadır. Ayrıca, alkol yakıtlarda moleküler benzine kıyasla daha az miktarda C ve H atomu bulunmaktadır. Bu nedenle, oksijenin sınırlı değerlerde olduğu fakir karışımlarda dahi tam yanma şartları gerçekleşmekte ve HC miktarı azalmaktadır. Dahası, alkol yakıtların buharlaşma sıcaklıklarının benzinden düşük olması ile silindirlerde ilk alev cephesinin oluşması çok daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Böylece, yanma performansının iyileşmesi ve HC emisyonu ile volümetrik verimin artması da HC emisyonunun azalmasında bir diğer etkidir. Etanol, metanol, n-bütanol ve isobütanol karışımları kullanıldığında ortalama HC emisyonları saf benzine göre sırasıyla %7,8 %13,4, %15,1 ve %18,8 oranında azalmıştır. [65].

Elfasakhany'nin yapmış olduğu diğer bir çalışmada, %3, %7 ve %10 oranında ve yüzdesel olarak eşit miktarda (örneğin E1,5+M1,5 toplam %3) etanol+metanol, iso-bütanol+etanol, n-bütanol/benzin karışımları kullanılan tek silindirli benzinli bir motoru deneylere tabi tutmuştur. Alkol içerikli yakıtların kaynama noktalarının benzininkine nazaran düşük ve gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması sonucu volümetrik verim

artmaktadır. Böylece tam yanmanın gerçekleşmesiyle HC emisyonu azalmaktadır. Ayrıca, alkol içerikli yakıtların oksijen içeriğine sahip olması yanmayı iyileştirmekte ve HC emisyonu azalmaktadır. Etanol+metanol, iso-bütanol+etanol, ve n-bütanol/benzin karışımları kullanıldığında ortalama HC emisyonları saf benzine göre sırasıyla %13,32 %7,83 ve %6,33 oranında azalmıştır [73].

Yine, Elfasakhany, M3, M7, M10, E3, E7, E10, EM3, EM7 ve EM10 yakıtlarını tek silindirli benzinli motorda kullanarak 2600 ve 3400 d/d motor hızlarında başka bir deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Bu deneyde, etanol ve metanol içerikli yakıtların oksijen içeriğine sahip olması sonucu yanma prosesinin iyileşmesi, düşük kaynama noktaları ile yakıtın tamamıyla buharlaşması nedeniyle HC emisyonunda azalma gerçekleşmiştir. Ayrıca, buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması volümetrik verimin artmasını ve silindir içerisine daha fazla havanın alınmasını sağlamaktadır. Bunun sonucunda HC emisyon miktarı azalmıştır. M3, M7, M10, E3, E7, E10, EM3, EM7 ve EM10 kullanıldığında HC emisyonlarının benzine göre sırasıyla %3,42, %14,86, %2,44, %22,11, %17,46, %27,32, %13,26, %18,49 ve %14,12 oranında azaldığı görülmüştür [79].

Li vd., %0, 10, 30, ve 60 oranında metanol, etanol ve butanol/benzin karışımları kullanılan benzinli bir motorda testleri gerçekleştirmişlerdir. E ve iB yakıtlarının oksijen içeriğine sahip olması ile yanma kalitesi artmış ve HC miktarı azalmıştır. Metanol ise diğer alkol yakıtlardan daha düşük hava/yakıt oranına sahiptir. Sonuç olarak enjeksiyonlu yakıt sistemine sahip deney motorunda, metanol kullanımıyla daha fazla yakıt silindirlere enjekte edilmekte ve HC miktarı artmaktadır. M10, M30 ve M60 kullanıldığında ortalama HC emisyonları benzine göre sırasıyla %22,4, %2,31 ve %13,01 oranında artmıştır. E10, E30, E60, B10, B30 ve B60 kullanıldığında ise ortalama HC emisyonları benzine göre sırasıyla %10,98, %16,47, %50,03, %1,45, %13,29 ve %8,67 oranında azalmıştır [62].

Sharudin vd., saf benzin, M5, M5B5, M5B10 ve M5B15 yakıtları kullanarak gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, metanol ve bütanolün oksijen içeriğine sahip olması sayesinde yanma veriminin artması ve tam yanma şartlarının gerçekleşmesi nedeniyle HC emisyon miktarı azalmıştır. M5, M5B5, M5B10 ve M5B15 kullanıldığında ortalama HC emisyonları saf benzine göre sırasıyla yaklaşık %0,5,

%1,5, %1 ve %2 oranında azalmıştır [30].

Li vd., saf benzin ve yakıtlarını kullanarak benzinli bir motoru testlere tabi tutmuşlardır. Yapılan testlerde, iPBE30 yakıtının oksijen içermesi sayesinde yanma kalitesi artmış ve HC miktarı azalmıştır. iPBE30 karışımı kullanımında HC miktarındaki azalma %17,7 olarak hesaplanmıştır [27].

Balki vd., saf benzin, M99 ve E99 yakıtlarını tek silindirli, benzinli bir motoru 1600, 2000, 2400, 2800, 3200 ve 3600 d/d'da çalıştırarak deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Yapılan testlerde, metanol ve etanol yakıtlarının karbon/hidrojen oranlarının düşük ve laminer yanma hızlarının yüksek olması sonucu yanma performansı iyileşmiştir. Böylece, HC miktarı azalmaktadır. M99 ve E99 kullanıldığında ortalama HC emisyonları benzine göre sırasıyla %27,12 ve %13,6 oranında azalmıştır [80].

Balki ve Sayın, saf metanol, etanol ve benzin kullanarak gerçekleştirdikleri testlerde, metanol ve etanolün oksijen içeriğine sahip olması sayesinde yanma veriminin artması sonucu HC emisyon miktarında azalma görülmüştür. Ancak 9.5:1'lik sıkıştırma oranında, yanma odasındaki yüzey-hacim oranının artması nedeniyle HC emisyon miktarında artma gözlenmiştir. Etanol ve metanol kullanıldığında ortalama HC değerleri benzine göre sırasıyla %22,79 ve % 28,82 oranında azalmıştır [83].

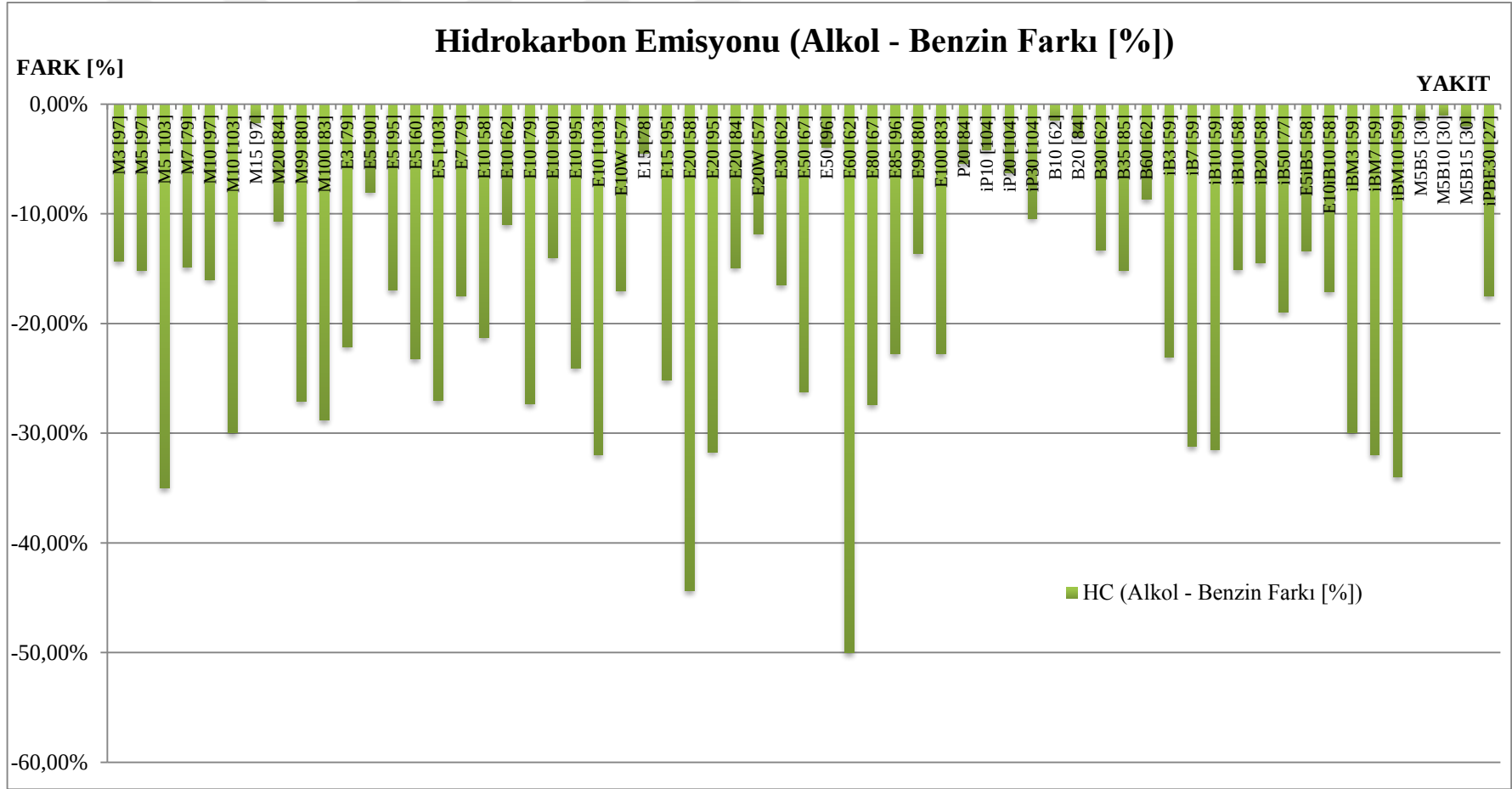
Masum vd., saf benzin, E20, M20, P20 ve B20 yakıtlarını test etmişlerdir. Alkol yakıtların tam yanma şartları için HYO'nın benzinden düşük olması ve oksijen içeriğine sahip olması nedeniyle HC emisyon miktarı azalmıştır. Ayrıca, yüksek motor hızlarında, hava-yakıt karışımının daha homojen olması nedeniyle ortalama silindir sıcaklığı artmaktadır. Böylece, özellikle silindir cidarlarına yakın konumlarda alev sönme bölgelerinin azalmasıyla HC miktarı azaltmıştır. Ortalama HC değerleri E20, M20, P20 ve B20 karışımları kullanımıyla sırasıyla %14,9, % 10,7, % 5,4 ve %2,0 oranında azalmıştır [84].

Çanakçı vd., çalışmalarında, saf benzin, M5, M10, E5 ve E10 yakıtlarını benzinli bir motorda, 80 ve 100 km/h motor hızları için ayrı ayrı dört farklı yük (5, 10, 15 ve 20 kW) koşulunda testlere tabi tutmuşlardır. Metanol ve etanolün oksijen içeriğine sahip olması sayesinde yanma veriminin artmasıyla HC emisyon miktarı azalmıştır. E5, E10

M5 ve M10 kullanıldığında ortalama HC emisyonları benzine göre sırasıyla %27, % 32 %35 ve %30 oranında azalmıştır [103].

Şekil 3.6’da, gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalardan yola çıkılarak benzin referans alınmış, kullanılan alkol içerikli yakıtların oluşturduğu HC emisyon değerinin ortalama ne kadar fark gösterdiği yüzdesel [%] olarak belirtilmiştir. Şekle göre, E60 yakıtı kullanılarak benzine kıyasla %50 oranında en düşük HC emisyon değeri elde edilmiş; daha sonra bunu %44,39 azalma ile E20 yakıtı izlemiştir [62, 58]. B10 karışımı benzine kıyasla HC emisyon değerini minimum azaltıcı etkiyi gösteren karışımdır [62].





Şekil 3.6. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının HC emisyonuna etkisi

3.2.2. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu

EK 2-Tablo 1’de görüldüğü üzere, geçmişten günümüze yapılmış deneysel çalışmalarda alkoller saf halde ya da belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak benzinli motorlarda kullanılmış ve CO emisyon miktarları ölçülmüştür.

Metanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalar incelenirse; Agarwal vd. M0, M10 ve M20 yakıtlarını kullanarak yapmış olduğu deneysel çalışmada, motor yükünün artışıyla g/kWh cinsinden birim çıkış gücü başına kütleli CO miktarı azalmıştır. Yük artışıyla karışımın zenginleşmesine bağlı olarak yanma odasındaki ortalama sıcaklık değerleri artmaktadır. Sıcaklık artışı, C ve O₂ atomları arasındaki kimyasal reaksiyon hızını artırmakta ve CO emisyonunu düşürmektedir. Diğer taraftan, yüksek yüklerde çalışma koşullarındaki yanma odasındaki oksijen yetersizliği CO emisyonu artırmaktadır. Düşük motor hızlarında ise emme ve sıkıştırma sürecinde hava ile yakıtın homojen bir şekilde karışması için daha fazla zaman olduğundan CO emisyonu azalma eğilimi göstermektedir. Düşük motor hızlarında, karışımdaki metanol oranının artmasıyla yanma reaksiyonlarına aktif olarak katılan oksijen oranı artmış ve sonuç olarak CO miktarı azalmıştır. 1500 d/d ve tam yük şartlarında CO miktarı M10 kullanımıyla benzine kıyasla ortalama olarak %7,5 artarken M20 kullanımıyla %50 oranında azalmıştır [82].

Çelik vd., tek silindirli, benzinli bir motorda M0 ve M100 yakıtlarını kullanarak yapmış olduğu deneysel çalışmada, yüksek motor hızlarında yanma odasındaki türbülansın artması ve daha homojen karışımın oluşması nedeniyle CO miktarı azalmıştır. Metanolün yapısında serbest oksijen bulunması CO miktarını düşürmüştür. Motor sıkıştırma oranının artırılmasına bağlı olarak ortalama sıcaklık değerlerinin yükselmesi C ve O₂ arasındaki oksidasyonu arttırmış ve CO verilerini düşürmüştür. M100 yakıtı kullanımıyla CO emisyonu oranındaki azalma miktarı benzine kıyasla 6/1, 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranları için sırasıyla %1,33, %1,25 ve %1,23 olarak hesaplanmıştır [89].

Mallikarjun ve Mamilla, M0, M3, M5, M10 ve M15 yakıtlarını test ettikleri deneysel çalışmada, benzine oksijen içeriğine sahip metanol katkısıyla daha iyi yanmanın gerçekleştiğini, CO emisyon miktarının azaldığını belirtmişlerdir. M3, M5, M10 ve M15’in ortalama CO değerleri, M0’a kıyasla sırasıyla %0,2, %1,4, %2 ve %2,8

oranında azalmıştır [97].

Etanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalar incelenecek olursa; Deng vd. E0, E10W ve E20W yakıtlarını dört silindirli benzinli bir motorda test etmişlerdir. Bu çalışmada, oksijen içeriğine sahip etanol kullanımıyla homojen bir karışım ve bunun neticesinde tam yanma şartları sağlanmıştır. Yanma veriminin artması CO₂ oluşumu arttırırken eksik yanma sonucu oluşan CO emisyonunu azaltmıştır. Ayrıca, etanol ve suyun hidroksil kökü ile alev yayılımının ve yanma hızının artması sonucu tam yanmanın gerçekleşmesi C ve O₂ arasındaki oksidasyonu arttırmış ve sonuç olarak CO emisyon miktarını azaltmıştır. E10W ve E20W kullanımında CO emisyonundaki azalma benzinle kıyaslandığında sırasıyla %23 ve %33,3 seviyelerindedir [57].

Gupta vd., E0, E5 ve biyoetanol yakıtlarını kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. E5 yakıtının benzine nazaran yüksek oksijen içeriğine sahip olması ve daha verimli yanmanın gerçekleşmesi nedeniyle CO emisyon miktarı düşmüştür. E5 yakıtı kullanımı esnasındaki CO miktarındaki azalma ortalama olarak %1,23'tür [60].

Akansu vd. E0 ve E20 yakıtları ile yapmış oldukları deneysel çalışmada, düşük motor yüklerinde, tam yanmanın gerçekleşmemesi nedeniyle etanol içerikli yakıtın kullanılması durumunda CO emisyon miktarı benzininkine nazaran artmıştır. E20 kullanımıyla CO miktarında artma benzine kıyasla ortalama olarak %5 olarak hesaplanmıştır. Yüksek motor yüklerinde ise yüksek termal verimin sağlanmış olması nedeniyle etanol içerikli yakıtın kullanılmasıyla CO emisyon miktarı benzine kıyasla azalmıştır [63].

Doğan vd., E0, E10, E20 ve E30 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri deneylerde, etanolün benzine göre daha iyi buharlaşma özelliğine sahip olması ve kimyasal yapısında oksijen bulundurması sonucu optimum yanma koşullarının gerçekleşmesi nedeniyle karışımındaki etanol miktarı arttıkça CO emisyon miktarı azalmıştır. E10, E20 ve E30'ün ortalama CO değerleri E0'a kıyasla sırasıyla %5, %3 ve %2 oranında az bulunmuştur [64].

Renzi vd., yakıt olarak E0, E50 ve E80'ı kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışma neticesinde, etanol kullanımıyla karışımın fakirleştiğini, yanma sıcaklığının düştüğünü ve yanma odasının her noktasında eşit hava-yakıt oranının sağlanamadığını belirtmişlerdir. Bu etkenlere bağlı olarak oksidasyonun yavaşladığı ve böylece CO emisyon miktarı arttığı vurgulanmıştır. E50 ve E80 kullanımında CO emisyonundaki artma benzinle kıyaslandığında sırasıyla %1 ve %1,5 seviyelerindedir [67].

Najafi vd., E5; E7,5; E10; E12,5 ve E15 yakıtlarını kullanarak testlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında etanolün yapısında oksijen bulunması ve gizli buharlaşma ısısının yüksek olmasının volümetrik verimi arttırdığı belirtilmiştir. Yanma odasındaki sıcaklıkların artmasına bağlı olarak da C ve O₂ arasındaki oksidasyonun maksimum ölçütlerde sağlanması nedeniyle CO miktarı düşmüştür. Ortalama CO emisyon miktarlarındaki azalma oranı benzine nazaran E5; E7,5; E10; E12,5 ve E15 yakıtları için sırasıyla %5, %4,8, %3,8, %3,3 ve %3 düzeyindedir [75].

Masum vd., E0 ve E15 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri araştırmada, yüksek motor hızlarında tam yanma çevriminin gerçekleşmesi için gereken zamanın kısıtlı olduğu vurgulanmıştır. Ancak bu çalışma koşullarında, yüksek alev hızına sahip etanol katkısının yanma verimini iyileştirdiğini ve CO verilerinde benzine kıyasla azaltıcı etki gösterdiğini belirtmişlerdir. Düşük motor hızlarında ise etanole kıyasla daha yüksek enerji değerine sahip saf benzin kullanımıyla yanma sıcaklıkları maksimum düzeyde gerçekleşmiş ve sonuç olarak CO emisyonu azaltmıştır. Tüm devir şartları dikkate alındığında E15 karışımında ortalama CO değeri saf benzine göre %4,46 oranında düşmüştür [78].

Kyriakides vd., E0 ve E40 yakıt karışımlarını dört silindirli ve benzinli bir motorda test etmişlerdir. 0,88, 0,9, 0,92, 0,94, 0,96 ve 0,98 HFK koşullarında yapmış oldukları deneysel çalışmada, etanolün benzine kıyasla daha düşük molar C/H oranına sahip olması nedeniyle E40 yakıtı ile CO emisyonunda kısmen azalma gözlenmiştir. E40 karışımı kullanımında CO miktarındaki azalma yaklaşık %0,3 olarak hesaplanmıştır [86].

Najafi vd., E0, E5, E10, E15 ve E20 yakıtlarını kullanarak deneysel çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Etanolün yapısında serbest oksijen bulundurması nedeniyle oksijen/yakıt oranı artmaktadır. Ayrıca, etanol benzine kıyasla daha düşük sayıda

karbon ve hidrojen içermesi nedeniyle çok düşük hava-yakıt oranlarında bile tam yanma şartlarını sağlamaktadır. Bu etkenlerin sonucu olarak karışım içerisindeki etanol miktarı arttıkça CO değerleri azalmıştır. E5, E10, E15 ve E20 karışımlarının kullanımıyla CO emisyonu benzine kıyasla %13,7, %24,31, %27,93 ve %45,42 oranında azalmıştır [95].

Propanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalar incelenirse; Sivasubramanian vd. iP0, iP10, iP20 ve iP30 yakıtları kullanılan multi-enjeksiyonlu, tek silindirli ve benzinli bir motorda gerçekleştirdikleri çalışmada, iso-propanol benzine nazaran daha fazla oksijen içeriğine sahip olması sebebiyle CO emisyonunu azaltıcı etki göstermiştir. Ayrıca, yüksek motor hızlarında yanmanın tam olarak gerçekleşebilmesi için sınırlı zamanın olması nedeniyle CO emisyon miktarı artmıştır. iP10, iP20 ve iP30 kullanıldığında ortalama CO emisyonları benzine göre sırasıyla %5,56, %11,77 ve %16,66 oranında azalmıştır [104].

Bütanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalar incelenecek olursa; Elfasakhany'nin niB0, niB3, niB7 ve niB10 yakıtları kullanarak yaptığı deneylerde, bütanol katkısıyla CO emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. Bu sonucu oluşturan ilk etken bütanolün tek tip HC'a sahip olması sonucu yanmanın daha hızlı gerçekleşmesidir. İkincisi, bütanolün yapısında serbest oksijen barındırması ile yanma veriminin artmasıdır. Üçüncü ve son olarak, bütanol kullanımında çok düşük HYO'da bile tam yanma şartları sağlanmaktadır. Bu özellik fakir karışım ile çalışma koşullarında tam yanma oluşumunu desteklemektedir. Tüm devir şartları dikkate alındığında niB3, niB7 ve niB10 karışımları kullanıldığında ortalama CO değerleri saf benzine göre sırasıyla %2,9, %4,3 ve %5,7 azalmıştır [68].

Sayın ve Balki, iB10, iB20 ve iB30 karışımlarının kullanıldığı çalışmalarında, iso-bütanol yakıtların oksijen içeriğine sahip olmasıyla yanma performansının artması sonucu CO emisyonu azalmıştır. Ayrıca, hava/yakıt oranı ile stokiyometrik değer arasındaki yakınlık ve ateşleme zamanlamasının ideal değerlerde kalması nedenleriyle iso-bütanol içerikli yakıtların kullanılmasıyla CO emisyon miktarında düşüş gözlenmiştir. Ayrıca, yüksek sıkıştırma oranlarında yanma odası sıcaklığının yüksek olması da CO emisyonunu azaltıcı etki göstermiştir. iB10, iB20 ve iB30 karışımları kullanımında CO miktarındaki azalma sırasıyla yaklaşık %1,78, %6,25 ve %13,4'tür [77].

Feng vd., B0 ve B35 yakıtlarını kullanarak araştırmalarını yapmışlardır. Bu çalışmada, B35 yakıtının HYO'nın yüksek olması ve düşük karbon içeriğine sahip olması yanma hızını artırmakta ve yanma verimini iyileştirdiği öne sürülmüştür. Bunun sonucu olarak da CO emisyon miktarında düşüş gözlenmiştir. B35 karışımı kullanımında CO miktarındaki azalma %12,8 olarak hesaplanmıştır [85].

Thomas vd., gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada yakıt olarak B20'yi kullanmışlardır. Yüksek sıkıştırma oranlarında daha fazla oksidasyonun gerçekleşmesi nedeniyle CO miktarında düşüş gerçekleşmiştir. Ayrıca B20 yakıtı kullanıldığında, oksijen/yakıt oranının artması nedeniyle CO emisyon miktarında da azalma görülmüştür. B20 yakıtı kullanımında, benzine kıyasla CO emisyonundaki ortalama azalma miktarı %1 oranındadır [102].

Gu vd., B0, B10, B30, B40 ve B100 yakıtlarını kullanarak testlerini gerçekleştirmiştir. Yapılan bu deneylerde, motordaki ateşleme başlangıcı geciktirildiğinde CO emisyonu artmıştır. Ateşleme başlangıcı geciktirildiğinde, genişleme ve egzoz proseslerinde silindir sıcaklıklarının artmasıyla yanmamış HC'nin CO'ya dönüşmesi nedeniyle CO artmıştır. Ayrıca, bütanol katkısıyla yanma veriminin iyileşmesi nedeniyle CO emisyonu düşmüştür. B100 kullanımında ise yanma sonrası oksidasyonun ve motor gücü çıkışının azalması nedeniyle benzine nazaran daha fazla CO emisyonu oluşmuştur. Tüm yük şartlarında B10, B30 ve B40 karışımları için CO emisyonundaki azalma sırasıyla %13,04, %17,4 ve %26,08 oranında iken, B100 karışımı için CO emisyonundaki artma ise yaklaşık %30,43 oranındadır [105].

Yusoff vd., saf benzin, E10, E20, iB10, iB20, E5iB5 ve E10iB10 yakıtlarını kullanarak yapmış oldukları deneysel çalışmada, yüksek motor torklarında daha fazla miktarda yakıtı ihtiyaç duyulması nedeniyle CO emisyonunun arttığı açıklanmıştır. Ayrıca, etanol ve iso-bütanolün yüksek oksijen içeriği ve yüksek yanma hızına sahip olması nedeniyle tam yanmanın gerçekleştiği böylece CO emisyonunun düştüğü belirtilmiştir. Tüm yük şartları dikkate alındığında, E10, E20, iB10, iB20, E5iB5 ve E10iB10'nun CO değerleri saf benzine göre %10,29, %12,20, %6,82, %9,21, %6,35 ve %11,21 oranında düşmüştür [58].

Elfasakhany'nin saf benzin, iBM3, iBM7, iBM10, nBE3, nBE7 ve nBE10 yakıtlarını

kullanarak gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, alkol yakıtların moleküler yapısında oksijen bulunması (etanol için yaklaşık %34.8, bütanol için yaklaşık %21.6 oranında) ve fakir karışım koşullarında optimum yanma performansının sağlanması nedeniyle karışımdaki alkol içeriğinin artmasıyla CO emisyon miktarı düşmüştür. Tüm devir şartları dikkate alındığında CO değerleri iBM3, iBM7, iBM10, nBE3, nBE7 ve nBE10'da saf benzine göre sırasıyla %29, %31, %33, %16, %18 ve %21 düşmüştür [59].

Elfasakhany, saf benzin, E3, E7, E10, M3, M7, M10, nB3, nB7, nB10, iB3, iB7 ve iB10 yakıtlarını test etmiştir. Genel olarak karışımdaki alkol oranı arttıkça tam yanmanın gerçekleşmesi nedeniyle CO emisyon miktarında azalma görülmüştür. 2600 d/d devir şartında E, M, nB, iB yakıtları kullanıldığında CO emisyon miktarı benzine kıyasla sırasıyla %7, %17, %33 ve %32 azalırken; 3400 d/d devir şartında ise E ve M yakıtları kullanıldığında sırasıyla %31 ve %51 azalmakta, nB ve iB yakıtları kullanıldığında ise sırasıyla %10 ve %5 oranında artmaktadır [65].

Elfasakhany'nin yapmış olduğu diğer bir çalışmada, %3, %7 ve %10 oranında ve yüzdesel olarak eşit miktarda (örneğin E1,5+M1,5 toplam %3) etanol+metanol, bütanol+etanol, bütanol/benzin karışımlarını kullanmıştır. Bu deneyler neticesinde, EM yakıtının diğer yakıtlara oranla daha fazla oksijen içeriğine sahip olması ve kaynama noktasının düşük olması nedeniyle CO emisyonu diğer alkol yakıt ve benzine kıyasla düşmüştür. Ayrıca, EM yakıtının gizli buharlaşma ısısının yüksek olması sonucu yanma odasında hava miktarı fazla oranda artmıştır. Sonuçta, tam yanma gerçekleşmiş ve CO miktarı diğer alkol içerikli yakıt ve benzininkine nazaran azalmıştır. EM, iBE ve niB karışımları kullanıldığında ortalama CO emisyonları saf benzine göre sırasıyla %21, %14 ve %5 oranında azalmıştır [73].

Yine, Elfasakhany'nin M3, M7, M10, E3, E7, E10, EM3, EM7 ve EM10 yakıtlarını kullanarak yapmış olduğu bir diğer deneysel çalışmada, etanol ve metanol içerikli yakıtların oksijen içeriğine sahip olması sonucu yanma prosesini iyileştirmesi ve kaynama noktalarının düşük olması ile karışım yakıtının tamamıyla yanması nedeniyle CO emisyon miktarı azalmıştır. Ayrıca, etanol ve metanol yakıtların gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması sonucu dolgu sıcaklığının düşmesine bağlı olarak VV'nin artması ile silindir içerisine daha fazla miktarda hava alınmış ve CO miktarı azalmıştır.

M3, M7, M10, E3, E7, E10, EM3, EM7 ve EM10 kullanıldığında CO emisyonlarının benzine göre sırasıyla %17,7, %51,1, %55,5, %15,5, %31, %42, %17,5, %35,5 ve %46,6 oranında azaldığı görülmüştür [79].

Li vd., %10, 20, 30 40, 50 ve 50 oranında metanol, etanol ve isobutanol-benzin karışımları kullanılan benzinli bir motorda testleri gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, lokal olarak zengin karışım bölgelerinin oluşması, yetersiz oksidasyon ve yanma odasındaki sıcaklıkların düşmesi CO seviyesini artırmıştır. Ancak, alkol katkısı oksijen yetersizliği nedeniyle meydana gelen CO artışını ortadan kaldırmıştır. M10, M30, M60, E10, E30, E60, B10 ve B60 kullanıldığında ortalama CO emisyonları benzine göre sırasıyla %52, %0,125, %22, %48, %34, %88, %12 ve %20 oranında artarken; B30 kullanıldığında ise benzine göre %8 oranında azalmıştır [62].

Sharudin vd., saf benzin, M5, M5iB5, M5iB10 ve M5iB15 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, M5B15 karışımının havayla homojenize olması sonucu maksimum silindir sıcaklıkları artmıştır. Bunun sonucu olarak da motor veriminin artması CO miktarını azaltmıştır. Ayrıca, alkol yakıtların oksijen içermeleri ve ısı değerlerinin düşük olması, tam yanma şartlarını oluşturmuş ve CO emisyonu düşmüştür. Diğer taraftan, metanol ve iso-bütanolün benzine göre daha yüksek laminar yanma hızına sahip olması da CO emisyon miktarındaki azalmanın bir diğer nedeni olarak ifade edilmiştir. M5, M5iB5, M5iB10 ve M5iB15 kullanıldığında ortalama CO emisyonları saf benzine göre sırasıyla yaklaşık %1,93, %3,93, %5,59 ve %7,34 oranında azalmıştır [30].

Balki ve Sayın, saf benzin, M99 ve E99 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri testlerde, metanol ve etanolün yakıt bileşimindeki karbon oranı ve laminar alev hızı özellikleri sayesinde CO emisyon miktarı azalmıştır. M99 ve E99 kullanıldığında ortalama CO emisyonları benzine göre sırasıyla %29,07 ve %31,34 oranında azalmıştır [80].

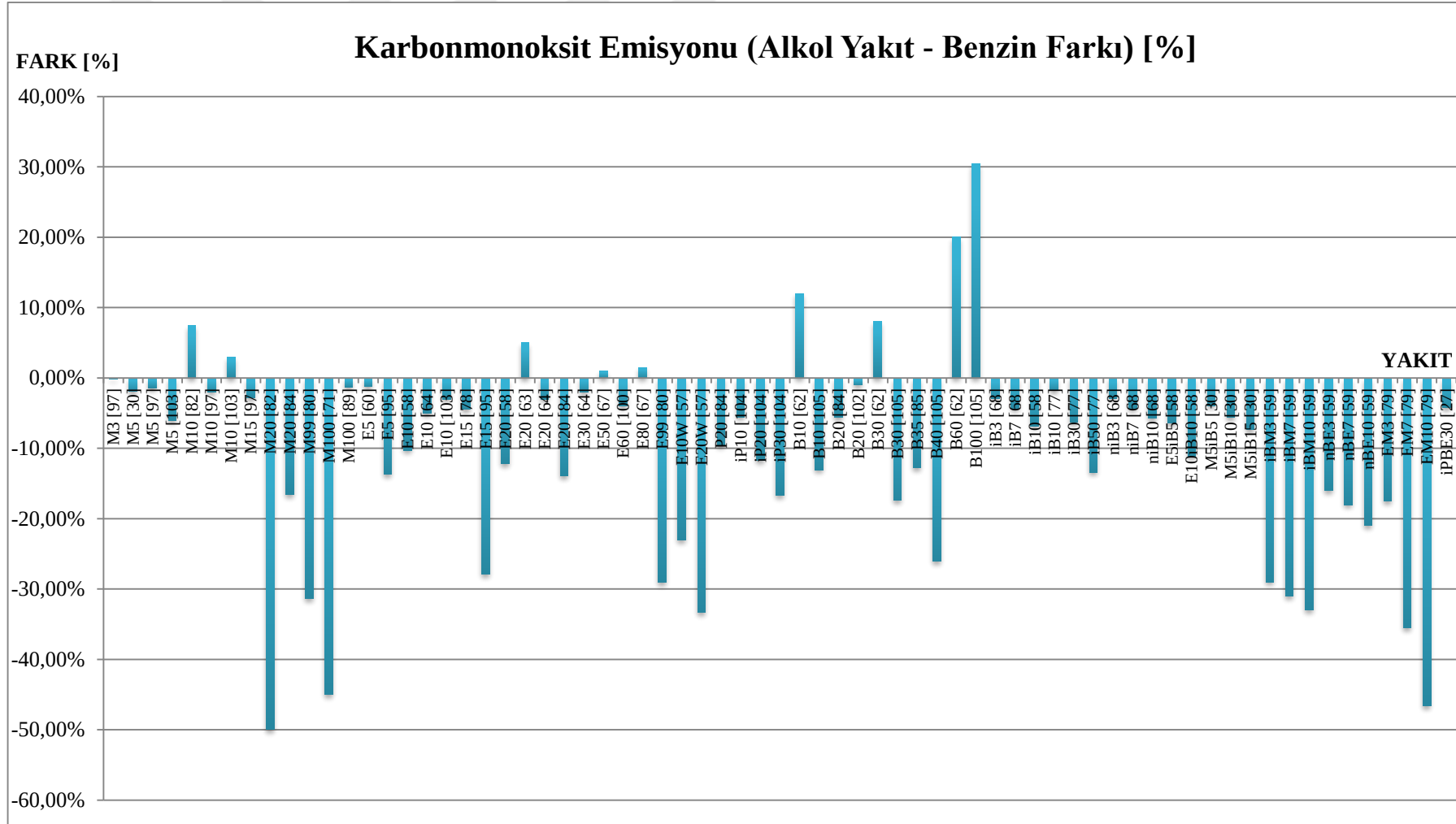
Balki vd. saf metanol, etanol ve benzin kullanarak gerçekleştirdikleri testlerde, metanol ve etanolün oksijen içeriğine sahip olması sayesinde daha iyi yanma formasyonunun sağlanması sonucu CO emisyon miktarında azalma görmüşlerdir. Ancak 9.5:1'lik sıkıştırma oranında yanma odasındaki yüzey-hacim oranının artması nedeniyle ısı

transferinin artması sonucu CO emisyon miktarında kısmi olarak artış gözlenmiştir. Etanol ve metanol kullanıldığında ortalama CO değerleri benzine göre sırasıyla %29,37 ve %14,49 oranında azalmıştır [83].

Masum vd., saf benzin, E20, M20, P20 ve B20 yakıtlarını test etmişlerdir. Gerçekleştirilen bu testlerde, alkol yakıtların oksijen içeriğine sahip olması sonucu yanma için ihtiyaç duyulan oksijen yüzdesinin artmasına bağlı olarak CO miktarı azalmıştır. Tam yanma şartlarının oluşması için yeterli süre sınırlı olmaktadır. Ancak, alkol yakıtların alev hızının yüksek olması özelliği bu olumsuzluğu tölere etmiş ve CO miktarında azalma gerçekleşmiştir. Ortalama CO değerleri M20, E20, P20 ve B20 karışımlarının kullanılmasıyla sırasıyla %16,6, %13,9, %9,6 ve %5,6 oranında azalmıştır [84].

Çanakçı vd., saf benzin, M5, M10, E5 ve E10 yakıtlarını kullanarak yapmış oldukları deneysel çalışmada, metanol ve etanolün oksijen içeriğine sahip olması nedeniyle yanma prosesinin iyileşmesi ve tam yanmanın gerçekleşmesi sonucu CO emisyon miktarında azalma gözlenmiştir. M5 ve E10 kullanıldığında ortalama CO emisyonları benzine göre sırasıyla %6 ve %3 azalırken; M10 kullanıldığında %3 oranında artmıştır [103].

Şekil 3.7’de, gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalardan yola çıkılarak benzin referans alınmış, kullanılan alkol içerikli yakıtların oluşturduğu CO emisyon değerinin ortalama ne kadar fark gösterdiği yüzdesel [%] olarak belirtilmiştir. Şekle göre, M20 yakıtı kullanılarak benzine kıyasla %50 oranında fark ile en düşük CO emisyon değeri elde edilmiş; daha sonra bunu %46,6’lık fark ile EM10 yakıtı izlemiştir [82, 79]. B100 karışımı benzine kıyasla %30,43 oranında fazla CO emisyon değerini göstermiştir [105].



Şekil 3.7. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının CO emisyonuna etkisi

3.2.3. Karbondioksit (CO₂) Emisyonu

EK 2-Tablo 1’de görüldüğü üzere, geçmişten günümüze yapılmış çalışmalarda alkoller saf halde ya da belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak benzinli motorlarda kullanılmış ve CO₂ emisyon miktarı ölçülmüştür.

Metanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalar incelenecek olursa; Balki ve Sayın yapmış oldukları deneysel çalışmada, M0 ve M100 yakıtları kullanarak deneylerini gerçekleştirmiş ve CO₂ miktarını ölçmüşlerdir. Metanol yakıtlı çalışmalarda, CO₂ emisyonun benzine göre bir miktar azaldığı görülmüştür. Metanolün yakıt-hava karışımı içerisindeki karbon oranının benzine kıyasla nispeten az olmasının CO₂ emisyonun daha düşük oluşmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, 9.5:1’lik sıkıştırma oranında her iki yakıt türünde yanmanın düzensizleşmesi sonucu CO₂ emisyonunda azalma görülmüştür. Bu esnada, vuruntu dayanımı daha iyi olan metanolün CO₂ emisyonunun benzinden daha yüksek çıktığı belirlenmiştir. Metanol kullanımı ile CO₂ miktarındaki azalma 8/1, 8,5/1, 9/1 ve 9,5/1 sıkıştırma oranları için sırasıyla %60, %43, %17,6 ve %20 seviyelerindedir [74].

Çelik vd., tek silindirli, benzinli bir motorda M0 ve M100 yakıtları kullanılarak çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Aynı sıkıştırma oranında yaptıkları bu araştırmada, metanolün C/H oranının düşük olması ve yapısında daha az sayıda C bulundurması nedeniyle M100 kullanımıyla M0’a kıyasla daha az miktarda CO₂ emisyonu oluşmuştur. Ancak, motor hızı ve sıkıştırma oranı arttıkça, yanma verimi ile birlikte termal verimin artması nedeniyle CO₂ emisyon miktarında artma gözlenmiştir. M100 kullanımıyla CO₂ emisyonu oranındaki azalış 6/1 sıkıştırma oranı için %37 olarak hesaplanmıştır [89].

Etanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalar incelenirse; Gupta vd. E0 ve E5 yakıtlarını kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Motor yükünün artmasıyla birlikte tam yanma koşullarının oluşmaması ve düşük hava/yakıt oranı nedeniyle CO₂ miktarında azalma gözlenmiştir. Ayrıca, E5 yakıtının E0’a kıyasla daha yüksek oksijen içeriğine sahip olması ve tüm yükler için daha yüksek hava/yakıt oranının oluşması sonucu optimum yanmanın gerçekleştiği düşünülmektedir. Bu nedenle E5 kullanımındaki CO₂ miktarının E0’dan nispeten fazla olduğu görülmüştür. E5 yakıtının

kullanımı esnasındaki CO₂ miktarındaki artış ortalama olarak %0,52 düzeyindedir [60].

Doğan vd., E0, E10, E20 ve E30 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, silindir içerisinde tam yanma koşullarına yaklaşıldıkça CO₂ emisyonun artacağı belirtilmiştir. E10, E20 ve E30'ün ortalama CO₂ değerleri E0'a kıyasla sırasıyla %1,3, %2,9 ve %3,2 oranında azalmıştır [64].

Najafi vd., E5; E7,5; E10; E12,5 ve E15 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirmiş olduğu deneysel çalışmada, karışımdaki etanol oranı arttıkça CO₂ miktarının da arttığını vurgulamışlardır. CO₂ emisyonunun hava/yakıt oranına ve CO emisyon konsantrasyonuna bağlı olduğu, karışımdaki etanol oranının artmasıyla da fakir yanma koşullarında yanma veriminin arttığına değinilmiştir. Böylece de CO₂ emisyon miktarında artma olduğu görülmüştür. E5 ile kıyaslandığında, CO₂ emisyonundaki artma oranı E7,5; E10; E12,5 ve E15 yakıtları için sırasıyla %0,5, %0,9, %0,95 ve %1,45'tir [75].

Kyriakides vd. E0 ve E40 yakıt karışımlarını kullanarak yapmış oldukları deneysel çalışmada, etanol içerikli yakıtların benzine kıyasla düşük C/H oranına sahip olmaları nedeniyle CO₂ emisyon miktarında kısmen azalma görülmüştür. E40'ın ortalama CO₂ değeri E0'a kıyasla %0,1 oranında düşük ölçülmüştür [86].

Costa ve Sodré, E22 ve E100W yakıtlarını kullanarak yapmış oldukları deneysel çalışmada, etanolün yüksek oksijen içeriğine sahip olmasıyla yanma boyunca üretilen CO'nin CO₂'ye dönüştürülmesi nedeniyle E100W kullanılmasıyla E22'ye nazaran daha fazla CO₂ emisyonu oluşmuştur. E100W'nin kullanılmasıyla ortalama CO₂ değeri E22'ye kıyasla %1,6 oranında artmıştır [92].

Najafi vd., E0, E5, E10, E15 ve E20 yakıtlarını kullanarak deneysel çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, CO₂ emisyonunun hava/yakıt oranına ve CO konsantrasyonuna bağlı olması nedeniyle yakıt içeriğindeki etanol oranı arttıkça CO₂ emisyon miktarı artmıştır. E5, E10, E15 ve E20'ün ortalama CO₂ değerleri E0'a kıyasla sırasıyla %3,87, %6,06, %6,76 ve %10,14 oranında artmıştır [95].

Bütanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalar incelenecek olursa; Elfakhany iB0, iB3, iB7 ve iB10 yakıtları kullanarak araştırmasını gerçekleştirmiştir. Bu çalışma

sonucunda, tüm yakıtlar için motor hızı arttıkça CO₂ emisyonunda artma, n-bütanol/iso-bütanol içerikli yakıtların kullanılmasıyla da CO₂ emisyonunda azalma görülmüştür. Bu durumun nedeni, n-bütanol/iso-bütanol ve benzin içeriğindeki karbon miktarıyla ilgilidir. n-bütanol/iso-bütanol 4 karbon atomu içerirken, saf benzin 8 karbon atomu içermektedir. Karışım içerisindeki C miktarının azalmasıyla doğru orantılı olarak CO₂ miktarı da azalmaktadır. niB10 yakıtı nispeten hem yüksek oksijen içeriğine sahiptir hem de fakir karışım şartlarında yüksek yanma verimi sağlamaktadır. Böylece, CO ve HC'dan CO₂'ye dönüşüm prosesi etkili bir şekilde gerçekleşmekte ve niB10'un kullanılmasıyla niB3 ve niB7'ye kıyasla daha fazla CO₂ oluşmaktadır. Tüm devir şartları dikkate alındığında, niB3, niB7 ve niB10 kullanımıyla ortalama CO₂ değerleri saf benzine göre sırasıyla %42, %41 ve %39 azalmıştır [68].

Galloni vd., B0, B20 ve B40 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri araştırmada, CO₂ değerlerinin HYO'na bağlı olarak değişkenlik gösterdiği tanımlanmıştır. Buna bağlı olarak da karışımdaki bütanol oranı arttıkça CO₂ miktarının da arttığı bulunmuştur. B20 ve B40 kullanımında CO₂ emisyonundaki artış benzinle kıyaslandığında sırasıyla %4 ve %7,2 seviyelerindedir [69].

Sayın ve Balki, iB0, iB10, iB20 ve iB30 yakıtları kullanılan benzinli bir motorda çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Sıkıştırma oranının artmasıyla doğal olarak sıkıştırma zamanının sonunda basınç ve sıcaklık artmaktadır. Buna ek olarak da iso-bütanol yakıtının oksijen içeriği ve benzine kıyasla daha yüksek HYO'na sahip olması yanma verimini arttırmaktadır. Bu vasıta ile C ve O₂ molekülleri arasındaki oksidasyonunun tam anlamıyla gerçekleşmesi nedeniyle iso-bütanol içerikli yakıtların kullanılmasıyla CO₂ emisyonunda artış görülmüştür. Benzin ile karşılaştırıldığında CO₂ emisyonundaki ortalama artış iB10, iB20 ve iB30 yakıtları için sırasıyla %2,43, %7,3 ve %12,2 olarak hesaplanmıştır [77].

Elfasakhany'nin nB0, nB3, nB7 ve nB10 yakıtlarını kullanarak yaptığı bir başka deneysel çalışmada, motor hızı ve karışımdaki bütanol oranının artmasıyla CO₂ emisyonu da artış eğilimi göstermiştir. Bunun nedeni bütanol katkısıyla stokiometrik HYO'nın elde edilmesiyle tam yanma şartlarına ulaşılmasıdır. Tüm devir şartları dikkate alındığında CO₂ değerleri nB3, nB7 ve nB10'da nB0'a göre sırasıyla %4,4,

%4,1 ve %3,8 düşmüştür [81].

Feng vd., B0 ve B35 yakıtlarını kullanarak araştırmalarını yapmışlardır. Yanma performansının iyileşmesi ile CO₂ oluşumunu artırırken CO emisyonunu azaltmaktadır. Bütanolün oksijen içeriği nedeniyle yanma verimi ve bununla paralel olarak CO₂ miktarı artmaktadır. Ayrıca, bütanolün hava/yakıt oranının yüksek olması ve daha fazla oksijen içermesi oksidasyonu oluşumunu arttırmaktadır. CO₂'nin en yüksek değerleri ise yanma prosesinde en yüksek sıcaklık değerlerinin elde edildiği ve buna bağlı olarak maksimum oksidasyonun sağlandığı 6500 d/d'da elde edilmiştir. Bütün bu etkenler dikkate alındığında, bütanolün kullanılmasıyla benzine kıyasla CO₂ miktarında artış gözlenmiştir. B35 karışımı kullanımında CO₂ miktarındaki artış %6,5 olarak hesaplanmıştır [85].

Yusoff vd., saf benzin, E10, E20, iB10, iB20, E5iB5 ve E10iB10 yakıtlarını kullanarak yapmış oldukları deneysel çalışmada, etanol ve iso-bütanolün oksijen içeriğine sahip olması ile tam yanmanın şartlarına yaklaşılması ve eksik yanmanın azalması nedeniyle CO₂ miktarı artmıştır. Tüm yük şartları dikkate alındığında E10, E20, iB10, iB20, E5iB5 ve E10iB10 kullanımında CO₂ miktarı saf benzine nazaran sırasıyla %4,25, %8,41, %6,96, %7,27, %3,44 ve %10,67 oranında artmıştır [58].

Elfasakhany'nin yaptığı çalışmada, saf benzin, iBM3, iBM7, iBM10, nBE3, nBE7 ve nBE10 deney yakıtları kullanılmıştır. Alkol yakıt kullanımında oksidasyon yüzdesi benzine kıyasla daha fazla olmasına rağmen metanol ve iso-bütanol'ün yine benzine nazaran daha az karbon ve hidrojen içermesi nedeniyle alkol yakıt kullanımıyla CO₂ miktarı azalmıştır. Tüm devir şartları dikkate alındığında CO₂ değerleri iBM3, iBM7, iBM10, nBE3, nBE7 ve nBE10'da saf benzine göre sırasıyla %21,9, %18,5, %16,7, %29,9, %26,5 ve %24,7 düşmüştür [59].

Elfasakhany, saf benzin, E3, E7, E10, M3, M7, M10, nB3, nB7, nB10, iB3, iB7 ve iB10 yakıtlarını test etmiştir. Etanol ve metanol içerikli yakıtların kullanılmasıyla, CO ve HC emisyon miktarlarının azalması sebebiyle CO₂ emisyon miktarı artmıştır. Bütanol kullanımında ise CO ve HC değerleri artış eğilimi gösterirken CO₂ oluşumu azalmıştır. E3, E7, E10, M3, M7 ve M10 kullanıldığında CO₂ emisyonları benzine göre sırasıyla %2,5, %4, %9, %3,9, %10 ve %12 oranında artarken; nB3, nB7, nB10, iB3, iB7 ve

iB10 kullanıldığında ise CO₂ emisyonları benzine göre sırasıyla %35, %33,5, %31, %34,5, %34,5 ve %36 oranında azalmıştır [65].

Elfasakhany ve Mahrous araştırmalarında, tek silindirli ve benzinli bir motor üzerinde saf benzin, nBM3, nBM7 ve nBM10 yakıtlarını kullanarak testlerini gerçekleştirmişlerdir. Metanol ve n-bütanolün volümetrik verimlerinin yüksek olması ve yapılarında serbest oksijen bulundurmaları sonucu yanma prosesinin verimli olması CO₂ emisyonunu artırıcı etki göstermiştir. Ayrıca, nBM karışımlarının HYO'larının benzine kıyasla düşük olması CO₂ miktarının artmasındaki diğer bir etkendir. Tüm yük şartlarında nBM3, nBM7 ve nBM10 karışımları için CO₂ değerlerindeki azalma sırasıyla %1,5, %1,2 ve %1 seviyelerindedir [72].

Elfasakhany'nin yapmış olduğu diğer bir çalışmada, %3, %7 ve %10 oranında ve yüzdesel olarak eşit miktarda (örneğin E1,5+M1,5 toplam %3) etanol+metanol, bütanol+etanol, bütanol/benzin karışımları kullanılan tek silindirli, benzinli bir motoru deneylere tabi tutmuşlardır. Yüksek oksijen içeriğine sahip EM yakıtının kullanımıyla yanma verimi ve buna paralel olarak da CO₂ emisyonu artmıştır. Bunun yanı sıra, düşük hava/yakıt oranına sahip etanol ve metanolün fakir karışım ile çalışma koşullarında tam yanma şartlarını sağlanması ile de CO₂ emisyon miktarı artmıştır. Ayrıca, EM yakıtının kaynama noktasının düşük olması ve yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olması ile HC ve CO miktarı azalmış, CO₂ miktarı ise artmıştır. EM karışımı kullanıldığında ortalama CO₂ emisyonu saf benzine göre %6 oranında artarken; iBE ve niB karışımları kullanıldığında ortalama CO₂ emisyonları ise saf benzine göre sırasıyla %14 ve %18 oranında azalmıştır [73].

Yine, Elfasakhany'nin M3, M7, M10, E3, E7, E10, EM3, EM7 ve EM10 yakıtlarını kullanarak yapmış olduğu bir diğer deneysel çalışmada, düşük kaynama noktalarına sahip alkol yakıtların kullanımıyla tam yanma gerçekleşmekte ve bu yakıtların gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması sonucu emiş sıcaklığı düşmektedir. Böylece, VV'nin artması ile silindir içerisine daha fazla miktarda havanın alınması nedeniyle CO₂ miktarı artmıştır. M3, M7, M10, E3, E7, E10, EM3, EM7 ve EM10 kullanıldığında CO₂ emisyonlarının benzine göre sırasıyla %3,9, %8, %9,2, %1, %1,7, %4, %3, %5,1 ve %7,1 oranında arttığı görülmüştür [79].

Sharudin vd., M5, M5iB5, M5iB10 ve M5iB15 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, motor hızının artmasıyla yanma odasına daha fazla miktarda karışımın girmesi sonucu tam yanma oranının artması ile CO₂ emisyon miktarı artmıştır. Ayrıca, benzine nazaran oransal olarak daha fazla oksijen içeren alkol yakıtların kullanılması yanma verimini iyileştirmiş ve CO₂ miktarı arttırmıştır. M5, M5iB5, M5iB10 ve M5iB15 kullanıldığında ortalama CO₂ emisyonları saf benzine göre sırasıyla %0,4, %0,5, %0,8 ve %1 oranında artmıştır [30].

Balki vd., saf benzin, M99 ve E99 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri testlerde, oksijen içeriğine sahip metanol ve etanol kullanımıyla yanma verimi artmış ve CO₂ verileri benzine kıyasla yükselme eğilimi göstermiştir. M99 ve E99 kullanıldığında ortalama CO₂ emisyonları benzine göre sırasıyla %1 ve %0,5 oranında artmıştır [80].

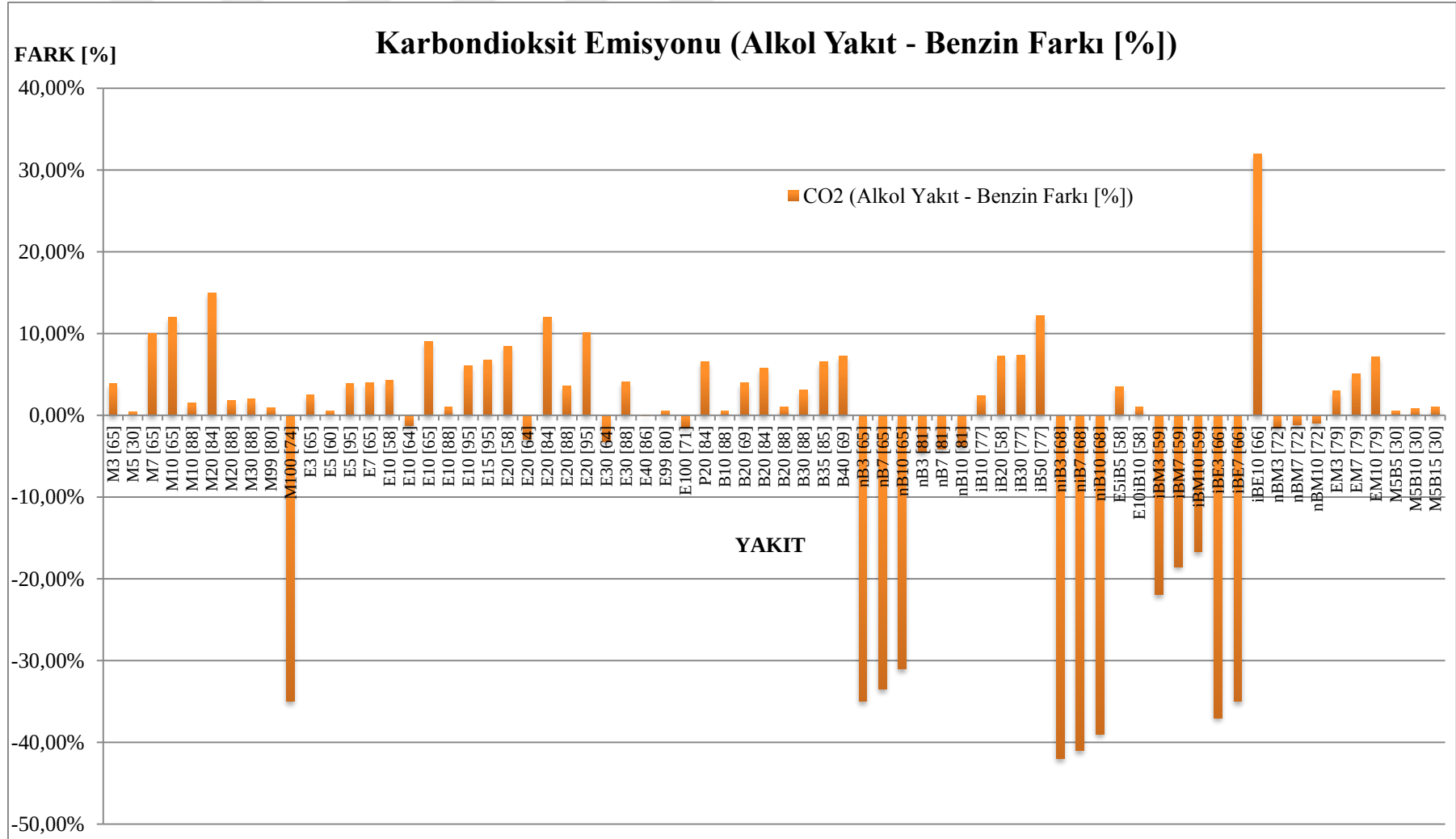
Masum vd., saf benzin, E20, M20, P20 ve B20 yakıtlarını test etmişlerdir. Yapılan testler neticesinde, verilen sabit gaz keleşbeği pozisyonunda belirli bir seviyede motor gücünün elde edilmesi için benzine kıyasla daha fazla miktarda alkol-benzin karışımı tüketilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Karışım yakıtı kullanıldığında benzine kıyasla oksijen oranı ve yanma verimi artmıştır. M20, E20, P20 ve B20 karışimleri kullanımıyla ortalama CO₂ değerleri benzine kıyasla sırasıyla %15, %12, %6,5 ve %5,8 oranında artmıştır [84].

Farkade ve Pathre yapmış oldukları deneysel çalışmada, saf benzin, %10, 20 ve 30 metanol, etanol ve bütanol/benzin karışımlarını test etmişlerdir. Alkol karışımlarının kullanımıyla oksijen yüzdesinin artması nedeniyle CO₂ miktarı da artmıştır. Tüm devir şartları dikkate alındığında M10, M20, M30, E10, E20, E30, B10, B20 ve B30 karışımlarında ortalama CO₂ değerleri saf benzine göre sırasıyla %1,5, %1,8, %2, %1, %3,6, %4,1, %0,5, %1 ve %3,1 oranında artmıştır [88].

Çanakçı vd., saf benzin, M5, M10, E5 ve E10 yakıtlarını kullanarak yapmış oldukları deneysel çalışmada, metanol ve etanolün C/H oranı ve C içeriğinin benzininkinden düşük olduğu ifade edilmiştir. Bunun sonucu olarak da etanol ve etanol içerikli yakıtların kullanılmasıyla benzininkine kıyasla CO₂ miktarında azalma gerçekleşmiştir. Ancak bazı durumlarda, metanol ve etanolün ısı değerlerinin düşük olması, böylece motorda aynı efektif gücünün elde edilmesi için daha fazla oksijenli yakıtın

kullanılmasını gerektirmesi sonucu yakıttaki etanol ve metanol oranı arttıkça CO₂ emisyon miktarı artmıştır. M5, M10, E5 ve E10 kullanıldığında ortalama CO₂ emisyonları benzine göre sırasıyla ortalama %11,3, %3, %9,5 ve %8 oranında azalmıştır [103].

Şekil 3.8’de, gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalardan yola çıkılarak benzin referans alınmış, kullanılan alkol içerikli yakıtların oluşturduğu CO₂ emisyon değerinin ortalama ne kadar fark gösterdiği yüzdeli [%] olarak belirtilmiştir. Şekle göre, nB3, nB7, nB10 ve M100 yakıtları kullanılarak benzine kıyasla sırasıyla %35, %33,5, %31 ve %35 oranında fark ile en düşük CO₂ emisyon değerleri elde edilmiştir [65, 74]. iBE10 karışımı benzine kıyasla %32 oranında fazla CO₂ emisyon değerini göstermiştir [66].



Şekil 3.8. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının CO₂ emisyonuna etkisi

3.2.4. Azot Oksit (NO_x) Emisyonu

EK 2-Tablo 1’de görüldüğü üzere, günümüze kadar yapılmış çalışmalarda alkoller saf halde ya da belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak benzinli motorlarda kullanılmış ve NO_x emisyon miktarı ölçülmüştür. Alkol kullanılan bazı çalışmalarda NO_x miktarı artarken, bazı çalışmalarda ise NO_x emisyon miktarının azaldığı görülmüştür.

Metanol yakıt kullanılarak yapılmış deneysel çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardan, Balki ve Sayın, M0 ve M100 yakıtları kullanarak yaptıkları çalışmada NO_x emisyon miktarını ölçmüşlerdir. Bu çalışmada sıkıştırma oranının artırılmasıyla, sıkıştırma prosesi sonundaki basınç ve sıcaklık yükseldiği ve bu durumda NO_x emisyonu arttığı gözlenmiştir. 8/1 sıkıştırma oranında M100 kullanımıyla NO_x değerleri M0’a kıyasla azalmıştır. Metanolün adyabatik alev sıcaklığının benzine göre düşük olmasının NO_x emisyonlarının azalmasına sebep olduğu vurgulanmıştır. M100 kullanımı M0 ile karşılaştırıldığında NO_x miktarındaki azalma, 8/1, 8,5/1, 9/1 ve 9,5/1 sıkıştırma oranları için sırasıyla %120, %87,5, %36 ve %65 seviyelerindedir [74].

Çelik vd., tek silindirli benzinli bir motorda M0 ve M100 yakıtlarını kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Metanolün gizli buharlaşma ısısının benzine kıyasla yüksek olmasından dolayı metanol kullanıldığında emme prosesindeki karışımın sıcaklığı ve buna bağlı olarak yanma esnasındaki ortalama silindir sıcaklık değerleri düşmektedir. 6/1 sıkıştırma oranında M100 kullanımıyla NO_x emisyonunda benzine kıyasla %35 azalma hesaplanmıştır [89].

Mallikarjun ve Mamilla, deneysel çalışmalarında M0, M3, M5, M10 ve M15 yakıtlarını test etmişlerdir. Metanolün yapısında oksijen bulunmasından dolayı yanma verimi iyileşmiş ve silindirlerde daha yüksek basınç ve sıcaklık elde edilmiştir. Bu nedenle, karışımdaki metanol oranının artmasıyla doğru orantılı olarak NO_x emisyonu da artış göstermiştir. Sonuçta, M3, M5, M10 ve M15’in ortalama NO_x değerleri, M0’a kıyasla sırasıyla %1,25, %3,12, %12,5 ve %18,75 oranında artmıştır [97].

Etanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalar incelenecek olursa; Deng vd. E0, E10W ve E20W yakıtlarını, dört silindirli, benzinli bir motorda test etmişlerdir. Bu çalışmada, yapısında oksijen bulunduran etanol kullanımı ile alev yayılma hızının arttığı

gözlenmiştir. Böylece etanol kullanılan testlerde silindirler içerisindeki basınç ve sıcaklık değerlerinin yükselmesinden dolayı benzine göre NO_x miktarı artış eğilimi göstermiştir. E10W ve E20W'in NO_x değerleri E0 ile karşılaştırıldığında sırasıyla %65,5 ve %100 düzeyinde artmıştır [57].

Gupta vd., E0, E5 ve biyoetanol yakıtlarını kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Yüksek motor yüklerinde daha yüksek sıcaklıkların elde edilmesi nedeniyle NO_x emisyon miktarının arttığı belirtilmiştir. Ayrıca, E5 yakıtının E0'a kıyasla daha yüksek oksijen içeriğine sahip olması NO_x oluşumunu artırmıştır. E5 yakıtının kullanımı esnasındaki NO_x miktarındaki artış E0'a nazaran ortalama olarak %25'dir [60].

Akansu vd. E0 ve E20 yakıtları ile yapmış oldukları deneysel çalışmada, etanolün alt ısı değerinin ve termal veriminin düşük olması nedeniyle etanol katkısıyla NO_x emisyonunda düşüş gözlenmiştir. E20 kullanımıyla ölçülen NO_x emisyonu E0 yakıtı kullanımıyla ölçülen NO_x emisyonuna kıyasla ortalama olarak %10 azalmıştır [63].

Doğan vd., E0, E10, E20 ve E30 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, etanolün gizli buharlaşma ısısının yüksek olmasıyla karışımın sıcaklığını düşürdüğü ifade edilmiştir. Ayrıca, etanol karışımlı yakıtların yanma için daha az havaya ihtiyaç duyduğu belirtilmiştir. Bu etkenlerin bir sonucu olarak, karışımdaki etanol oranının artmasıyla NO_x emisyonu azalmıştır. E10, E20 ve E30'ün ortalama NO_x değerleri E0'a kıyasla sırasıyla %12,2, %23,1 ve %30,5 oranında azalmıştır [64].

Najafi vd., E5, E7,5, E10, E12,5 ve E15 yakıtlarını kullandıkları deneysel araştırmada, tam yanma şartlarına ulaşıldığı süreçlerde, silindirlerde maksimum sıcaklıkların elde edilmesiyle ilişkili olarak NO_x formasyonun arttığı vurgulanmıştır. Ayrıca, karışımdaki biyoetanol katkısıyla, ön yanma periyodunun daha kısa sürede gerçekleşmesi nedeniyle tutuşma gecikmesi süresinin uzadığı belirtilmiştir. Böylece, yanma performansının iyileşmesinden dolayı silindirlerdeki sıcaklıklar yükselmiş ve buna bağlı olarak NO_x miktarı artmıştır. Ortalama NO_x emisyon miktarları E5; E7,5; E10; E12,5 ve E15 yakıtları için sırasıyla yaklaşık 1100, 1250, 1780, 1760 ve 1900 ppm olarak ölçülmüştür [75].

Masum vd., E0 ve E15 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri araştırmada, daha yüksek oranda oksijen içeriğine sahip olan E15 yakıt karışımının kullanılmasıyla NO_x emisyon miktarının arttığı gözlenmiştir. Tüm devir şartları dikkate alındığında E15 karışımının kullanıldığı testlerde ölçülen ortalama NO_x emisyonu E0 yakıt kullanımına göre %36,9 oranında artmıştır [78].

Koç vd. E0, E50 ve E85 kullanarak gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, NO_x miktarının sıcaklık, zaman ve oksijen içeriğine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği ifade edilmiştir. Etanolün gizli buharlaşma ısısının benzine kıyasla yüksek olmasından dolayı yanma sıcaklığının düştüğünü ve buna bağlı olarak da NO_x emisyonunun azalma eğilimi gösterdiği belirtilmiştir. Etanolün oksijen içeriğine sahip olması nedeniyle karışımdaki etanol oranının artmasıyla NO_x miktarı azalmıştır. 10/1 sıkıştırma oranında E50 ve E85'in yakıtlarının kullanıldığı deneylerde ölçülen ortalama NO_x emisyonları E0 yakıtının kullanıldığı deneylere kıyasla yaklaşık %5 ve %20,2; 11/1 sıkıştırma oranında ise sırasıyla %14,5 ve %31,44 oranında azaldığı tespit edilmiştir [96].

Hasan vd., E0, E10 ve E20 yakıtları ile çalıştırılan 4 stroklu, benzinli bir motorda 2500 d/d sabit devir ve beş farklı sıkıştırma oranında (4/1, 5,5/1, 7/1, 8,5/1 ve 10/1) gerçekleştirdikleri araştırmada, etanolün düşük adyabatik alev sıcaklığına ve yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olmasından dolayı silindir içerisindeki maksimum sıcaklık verileri düştüğü vurgulanmıştır. Böylece, silindir duvarlarından ısı transferi yoluyla meydana gelen ısı kaybının azalması nedeniyle E10 ve E20 yakıtlarının kullanılmasıyla daha az miktarda NO_x emisyonu oluşmuştur. E10 ve E20 yakıtlarının kullanımı ile NO_x miktarındaki azalma 4/1 sıkıştırma oranı için sırasıyla, %5,5 ve %22,2; 5,5/1 sıkıştırma oranı için %25,2 ve %39,5; 7/1 sıkıştırma oranı için %26,15 ve %40; 8,5/1 sıkıştırma oranı için %24,8 ve %38 ve 10/1 sıkıştırma oranı için ise %23 ve %34,6 oranındadır [106].

Propanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalara bakılacak olursa; Sivasubramanian vd. iP0, iP10, iP20 ve iP30 yakıtları kullanılan multi-enjeksiyonlu, tek silindirli ve benzinli bir motorda gerçekleştirdikleri çalışmada, motor hızının artmasıyla silindir içerisine daha fazla miktarda yakıt alındığından NO_x oluşumu da artmıştır. Aynı zamanda, karışım içerisindeki iso-propanol oranının artmasına paralel olarak yakıt-hava

karışımındaki oksijen miktarı artmış ve tam yanma şartlarına ulaşılmıştır. Bunun sonucu olarak da NO_x oluşumunun arttığı belirtilmiştir. Ayrıca, iso-propanolün yüksek oktan sayısı, yakıtın yanma sürecinin daha kısa olmasına böylece NO_x emisyon miktarının da artmasına neden olmuştur. 2800 d/d motor devrinde iP10, iP20 ve iP30 yakıtları için NO_x emisyonları benzine nazaran sırasıyla %8,88, %16,3 ve %21,7 oranında artmıştır [104].

Bütanol yakıt üzerinde yapılan deneysel çalışmalar incelenirse; Feng vd., B0 ve B35 yakıtlarını kullanarak araştırmalarını yapmışlardır. Yapılan araştırmalar neticesinde, bütanol-benzin karışımının benzininkine kıyasla yüksek yanma hızına ve yanma sıcaklığına sahiptir. Ayrıca, B30 karışımı benzine kıyasla daha fazla oksijen içeriğine ve daha düşük hava/yakıt oranına sahiptir. Bu nedenle B35 yakıtının kullanılmasıyla oluşan NO_x emisyon miktarı benzininkine kıyasla daha yüksektir. 8500 d/d sabit hız ve tüm yük şartlarında B35 karışımı kullanımında NO_x miktarındaki artış benzine kıyasla yaklaşık %15 olarak hesaplanmıştır [85].

Gu vd., nB0, nB10, nB30, nB40 ve nB100 yakıtlarını kullanarak testlerini gerçekleştirmiştir. Ateşleme zamanlamasının erkene alınması, yanmanın daha önce başlamasına ve maksimum silindir basıncının artmasına neden olmaktadır. Maksimum silindir basıncının ve sıcaklığının artması da beraberinde NO_x emisyonu değerlerini arttırmaktadır. n-bütanolün ısı değeri ve adyabatik sıcaklığının benzinden daha düşük olması nedeniyle karışımındaki n-bütanol oranının artması ile g/kWh cinsinden birim çıkış gücü başına kütleli NO_x miktarında artış gözlenmiştir. EGR uygulamalarına benzer şekilde, egzoz gazı geri dönüşüm miktarının artması ile NO_x emisyonu azalma eğilimi göstermiştir. Bu durumun nedeni, emme prosesindeki sıcaklığının azalması ve karışım formasyonunun olumsuz yönde etkilenmesiyle silindirlerdeki yanma sonundaki elde edilen sıcaklık değerlerinin düşmesidir. Ateşleme başlangıcı öne alındığında B10 karışımı için ölçülen NO_x emisyonundaki artma benzine kıyasla %0,47 iken, B30, B40 ve B100 karışımları için ölçülen NO_x emisyonundaki azalma ise sırasıyla %14,3, %9,52 ve %40 oranındadır. Egzoz gazı geri dönüşümünün arttırıldığı koşullarda ise B10, B30, B40 ve B100 yakıtları için ölçülen NO_x emisyonundaki azalış benzine kıyasla sırasıyla %25, %15, %37 ve %75'dir [105].

Yusoff vd., saf benzin, E10, E20, iB10, iB20, E5iB5 ve E10iB10 yakıtlarını kullanarak yapmış oldukları deneysel çalışmada, düşük motor hızları için karışım yakıtlarında NO_x konsantrasyonunun saf benzinden daha düşük olduğu görülmüştür. Gizli buharlaşma ısısı benzinden daha yüksek olan etanol kullanımıyla, emme sürecindeki karışımın sıcaklığı ve buna bağlı olarak NO_x miktarı düşmektedir. Yüksek motor hızlarında ise kimyasal yapılarında serbest oksijen içeren etanol ve iso-bütanolün katkısıyla yakıt buharlaşması hızı ve maksimum yanma potansiyelini sağlayacak silindir sıcaklığının artması nedeniyle NO_x değerleri artmaktadır. Tüm yük şartları dikkate alındığında, E10, E20, iB10, iB20, E5iB5 ve E10iB10'nun kullanıldığı deneylerde ölçülen NO_x değerleri saf benzine göre sırasıyla %19,56, %34,56, %19,04, %20,30, %22,07 ve %16,37 oranında artmıştır [58].

Li vd., %10, 20, 30 40, 50 ve 50 oranında metanol, etanol ve isobutanol-benzin karışımları kullanılan benzinli bir motorda testleri gerçekleştirmişlerdir. Yüksek yanma sıcaklığı ve pik sıcaklık bölgesindeki oksijen konsantrasyonu, NO_x oluşumu için avantajlı faktörlerdir. Yakıttaki alkol içeriği NO_x emisyonunu azaltıcı etkide bulunmuştur. Ayrıca, metanol, etanol ve bütanol aynı oranlarda benzin ile karıştırıldığında en düşük oksijen içeriği metanol-benzin karışımlarında söz konusudur. Bu yüzden, metanol-benzin karışımlarının kullanılmasıyla oluşan NO_x emisyonları diğer yakıtlara nazaran daha az olmuştur. M10, M30, M60, E10, E30, E60, B30 ve B60 kullanıldığında ölçülen ortalama NO_x emisyonları benzin kullanıldığında ölçülen değere göre sırasıyla %16,47, %6,99, %18,56, %3,14, %4,9, %12,09, %6,67 ve %1,76 oranında azalırken; B10 kullanıldığında ölçülen değer ise %1,96 oranında artmıştır [62].

Sharudin vd., saf benzin, M5, M5iB5, M5iB10 ve M5iB15 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, alkol içerikli yakıtlar ile yanma prosesinde ekstra oksijenin etkisiyle TV ve ÖYT değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Böylece yakıt karışımlarının kullanılması yanma odasında yanma prosesi boyunca daha fazla yakıtın yanmasına ve azami yanma sıcaklığının artmasına neden olmuştur. Bu durum, NO_x emisyon miktarlarını benzin kullanılmasına kıyasla arttırmıştır. M5, M5B5, M5B10 ve M5B15 kullanıldığında ortalama NO_x emisyonları saf benzine göre sırasıyla yaklaşık %10, %20,7, %34 ve %44 oranında artmıştır [30].

Balki vd. saf metanol, etanol ve benzin kullanarak gerçekleştirdikleri testlerde, alkol yakıtların gizli buharlaşma ısılarının benzinden daha yüksek olması sonucu yanma sıcaklığının azalmasına neden olduğu böylece metanol ve etanol yakıtlarının kullanılmasıyla benzine kıyasla daha düşük miktarda NO_x emisyonu oluşmuştur. M99 ve E99 kullanıldığında ortalama NO_x emisyonları benzine göre sırasıyla %13 ve %14 oranında azalmıştır [80].

Balki vd. yapmış olduğu bir başka deneysel çalışmada, metanol ve etanolün benzine kıyasla adyabatik alev sıcaklıklarının daha düşük olduğu ve gizli buharlaşma ısılarının daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bunun sonucu maksimum silindir sıcaklığının düşmesine neden olmuş ve NO_x miktarında azalma meydana gelmiştir. Etanol ve metanol kullanıldığında ortalama NO_x değerleri benzine göre sırasıyla %26 ve %32 oranında azalmıştır [83].

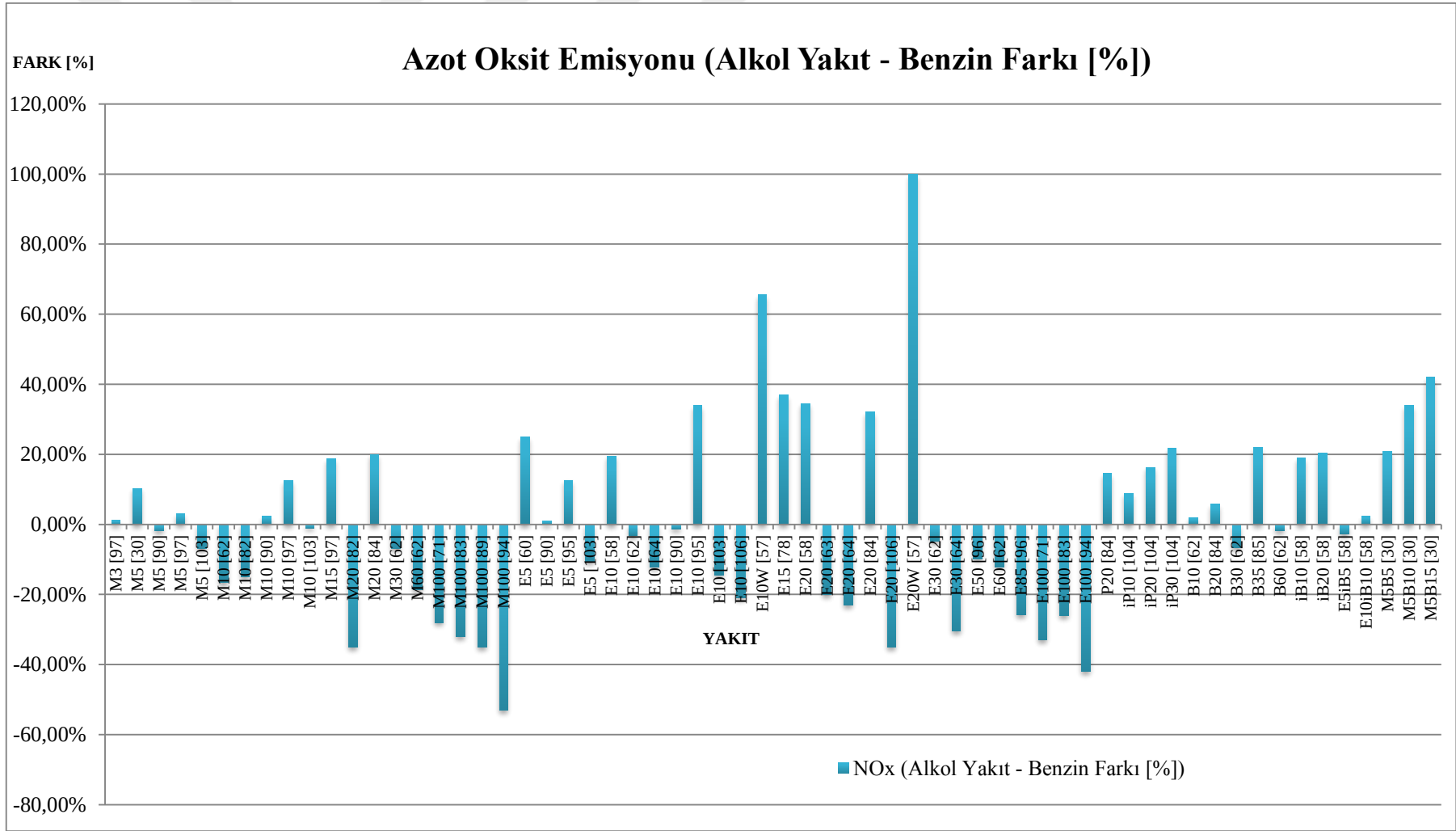
Masum vd., saf benzin, E20, M20, P20 ve B20 yakıtlarını test etmişlerdir. Alkol-benzin karışımlarının yüksek oksijen içeriğine sahip olması nedeniyle alkol karışimli yakıtların kullanılmasıyla benzine kıyasla daha yüksek miktarda NO_x emisyonu sebep olmaktadır. Tüm yakıt karışımları karşılaştırıldığında E20 kullanılması en yüksek silindir sıcaklığı ölçülmüş ve buna bağlı olarak en yüksek NO_x değerlerini ürettiği görülmüştür. Ayrıca, motor hızının artmasıyla birlikte yakıt tüketiminin artması sonucu silindir sıcaklığının arttığı gözlenmiştir. Silindir sıcaklığının artması ise NO_x miktarını arttırmıştır. Ortalama NO_x değerleri M20, E20, P20 ve B20 karışımlarının kullanılmasıyla oluşan NO_x değerleri benzin kullanılmasına kıyasla sırasıyla %20, %32, %14,5 ve %11 oranında artmıştır [84].

Pourkhesalian vd., dört silindir benzinli bir motorda tam yük ve 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500 ve 6000 d/d motor devirlerinde saf benzin, M100 ve E100 yakıtlarını test etmiştir. Metanol ve etanolün ısı değerinin düşük olması nedeniyle M100 ve E100 kullanımında NO_x miktarı azalma eğilimi göstermiştir. Ayrıca, gizli buharlaşma sıcaklıkları benzine göre daha düşük olan metanol ve etanol yakıtlarının kullanılmasıyla yanma sıcaklıkları düşmüştür. Bu düşüş NO_x emisyonunu azaltıcı bir faktör olduğuna değinilmiştir. Metanolün alev hızının etanolden daha yüksek olması nedeniyle ateşleme başlangıcının daha geç oluşmaktadır. Böylece, M100

kullanımıyla yanma sıcaklıkları E100'e nazaran düşüş göstermiştir. Sonuçta minimum NO_x miktarı elde edilmiştir. Tüm yük koşullarında NO_x emisyon değerleri M100 ve E100 kullanımıyla benzine kıyasla ortalama olarak sırasıyla %53 ve %42 oranında azalmıştır [94].

Çanakçı vd., saf benzin, M5, M10, E5 ve E10 yakıtlarını kullanarak yapmış oldukları deneysel çalışmada, alkol yakıt kullanımıyla NO_x miktarı azalmıştır. Bu azalmanın sebebi, benzine göre gizli buharlaşma ısıları yüksek, ısı değerlerinin düşük ve yapılarında serbest oksijen bulunduran metanol ve etanol katkısıyla yanma sıcaklıklarının düşmesinden kaynaklanmaktadır. M10'un M5'den daha fazla NO_x üretmesinin nedeni M100'ün M5'e kıyasla yüzdesel olarak daha fazla oksijen barındırması ve daha yüksek yanma sıcaklıkları üretmesidir. M5, M10, E5 ve E10 kullanıldığında ortalama NO_x emisyonları benzine göre sırasıyla ortalama %7, %1, %10,7 ve %14,5 oranında azalmıştır [103].

Şekil 3.9'da, gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalardan yola çıkılarak benzin yakıt referans alınmış, kullanılan alkol içerikli yakıtların oluşturduğu NO_x emisyon değerinin benzine göre ne kadar fark gösterdiği yüzdesel [%] olarak belirtilmiştir. Şekle göre, M100 ve E100 yakıtları kullanıldığında benzine kıyasla sırasıyla %53 ve %42 oranında fark ile en düşük NO_x emisyon değerleri elde edilmiştir [94]. E10W ve E20W karışımları benzine kıyasla sırasıyla %65 ve 100 oranında fazla NO_x emisyon değeri oluşturmuştur [57].



Şekil 3.9. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının NO_x emisyonuna etkisi

3.3. Yanma Karakteristikleri

EK 3-Tablo 1’de ilgili deneysel çalışmalar incelenerek benzinli motorlarda alkol yakıt kullanılması durumunda yanma karakteristiklerinde meydana gelen değişimler belirtilmiştir.

3.3.1. Silindir Gaz Basıncı (SGB)

EK 3-Tablo 1’de görüldüğü gibi, alkoller saf halde ya da belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak kullanılmış ve silindir gaz basıncı hesaplanmıştır.

Metanol yakıtı üzerine yapılan deneyler incelenecek olursa, Agarwal vd. M0, M10 ve M20 yakıtlarını kullanarak yapmış oldukları çalışmada, motor hızının artmasıyla SGB değerinin arttığı görülmüştür. Bu durumun nedeninin, yakıt enjeksiyon miktarının artması olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, yapısında serbest oksijen içeriğine sahip olan metanol oranı arttıkça SGB değeri de artmıştır. M20 karışımının 3500 d/d sabit devir ve 60 Nm motor yükündeki test şartlarında maksimum SGB değeri 41 bar olarak elde edilmiştir [82].

Balki ve Sayın, M0 ve M100 yakıtlarını kullanarak deneylerini gerçekleştirmişler ve SGB değerlerini hesaplamışlardır. Bu çalışmada, metanolün adyabatik alev sıcaklığının benzininkinden düşük olması ve buna bağlı olarak yanma odasındaki ısı kayıpların az olması nedeniyle M100’e ait SGB değerinin benzininkinden daha yüksek olduğu görülmüştür. M100 kullanımı ile M0’a kıyasla SGB değerindeki artma 8/1, 8,5/1, 9/1 ve 9,5/1 sıkıştırma oranları için sırasıyla %23, %16, %12 ve %10 seviyelerindedir [74].

Etanol yakıtı üzerine yapılan araştırmalar derlendiğinde; Akansu vd. E0 ve E20 yakıtları ile çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Benzine etanolün eklenmesi ile termal verimin düşmesi nedeniyle SGB değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. E20 kullanımıyla SGB değerindeki azalma E0’a kıyasla ortalama olarak %27 olarak hesaplanmıştır [63].

Propanol yakıtı üzerine yapılan deneyler incelenirse; Sivasubramanian vd. iP0, iP10, iP20 ve iP30 karışımlarını multi-enjeksiyonlu, tek silindirli, benzinli bir motorda kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. İso-propanolün serbest oksijene sahip olması ve laminar yanma hızının benzininkinden yüksek olması nedeniyle yanma

sürecinin benzinden daha kısa olduğu ifade edilmiştir. Böylece, silindir yüzeylerinden transfer edilen ısının azalması ile iso-propanol yakıtın SGB değeri, benzine nazaran artmıştır. iP10, iP20 ve iP30 yakıtları için SGB değerleri benzine kıyasla sırasıyla %1,3, %2,6 ve %4,6 oranında artmıştır [104].

Bütanol yakıtlar üzerinde yapılan deneyler incelenecek olursa; Elfasakhany iB0, iB3, Bütanol yakıtı ile ilgili literatür incelenecek olursa; Elfasakhany iB0, iB3, iB7 ve iB10 yakıtlarını kullanarak araştırmasını gerçekleştirmiştir. Yapılan araştırma neticesinde, saf benzine ait SGB değerlerinin karışım yakıtlarından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun durumun nedeni, maksimum motor gücünün saf benzin kullanımıyla elde edilmesidir. Ayrıca, niB10 yakıtının SGB değerinin niB7 ve niB3 yakıtından yüksek olduğu vurgulanmıştır. Bu sonucu oluşturan etkenler ise, niB10 yakıtının diğer karışım yakıtlarından daha fazla serbest oksijen içeriğine sahip olması, VV'inin ve alev hızının yüksek olmasıdır. Tüm devir şartları dikkate alındığında, iB3, iB7 ve iB10 kullanımıyla ortalama SGB değerleri saf benzine göre sırasıyla %12,5, %16,5 ve %4 oranında azalmıştır [68].

Elfasakhany saf benzin, iBM3, iBM7, iBM10, nBE3, nBE7 ve nBE10 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdiği çalışmada, iBM10 yakıtının maksimum SGB değeri ürettiğini belirtmiştir. Bunun nedeni ise iBM10 karışımının diğer karışım yakıtlarına nazaran daha fazla serbest oksijen içeriğine sahip olması, daha hızlı yanma prosesi göstermesi ve daha düşük hava/yakıt oranı ile yanmayı gerçekleştirmesidir. Tüm devir şartları dikkate alındığında SGB değerleri iBM3, iBM7, nBE3, nBE7 ve nBE10'da saf benzine göre sırasıyla %7, %6,12, %14,3, %6,12 ve %8,16 düşerken, iBM10 kullanımıyla bu değer saf benzine göre %4 oranında artmıştır [59].

Elfasakhany'nin yaptığı diğer bir çalışmada, saf benzin, iBE3, iBE7, iBE10 yakıtları kullanılmıştır. iBE3, iBE7, iBE10 yakıtlarına ait SGB değerlerinin benzininkine oranla düşük olmasının nedenini ise karışım yakıtları kullanıldığında silindir içerisindeki sıcaklıkların azalmasıdır. Ayrıca, iBE10 yakıtının iBE3 ve iBE7 oranla daha yüksek SGB değeri göstermiştir. Bu durumun nedeni ise, daha yüksek yanma hızına, daha fazla serbest oksijen içeriğine ve daha düşük hava/yakıt oranına sahip olmasıdır. iBE3, iBE7 ve iBE10 karışımlarının kullanımında SGB değerlerindeki azalma benzine kıyasla sırasıyla %10,7, %9,5 ve %7,4 olarak hesaplanmıştır [66].

Elfasakhany ve Mahrous araştırmalarında, tek silindirli ve benzinli bir motorda saf benzin, nBM3, nBM7 ve nBM10 yakıtlarını kullanarak testlerini gerçekleştirmiş ve nBM3 yakıtının en düşük SGB değerini gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Bu sonucun elde edilmesinin nedeni, metanol ve n-bütanol yakıtlarının alt ısı değerlerinin benzininkinden düşük olmasıdır. Ayrıca, nBM7 ve nBM10 yakıtlarının saf benzinden sonra en yüksek SGB değeri göstermesinin sebebi ise bu yakıtların yüksek volümetrik verime ve yüksek serbest oksijen içeriğine sahip olmalarıdır. Tüm yük şartlarında nBM3, nBM7 ve nBM10 karışımları için saf benzine kıyasla SGB değerlerindeki azalma sırasıyla %8,5, %6,12 ve %4 seviyelerindedir [72].

Balki ve Sayın, saf benzin, M99 ve E99 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri testlerde, motor hızı arttıkça her bir yakıtta ait SGB değerinin de azaldığı görölmüştür. Bunun nedeni, yanma ve ateşleme için ihtiyaç duyulan zamanının kısalmış olmasıdır. Diğer taraftan, etanol ve metanolün benzine kıyasla daha yüksek laminer yanma hızı ve daha yüksek oktan sayısına sahip olması nedeniyle yanma süresi benzinden daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Metanol ve etanol yakıtları kullanıldığında, SGB değerinin benzininkinden yüksek olmasına neden olan etken ise, metanol ve etanol yakıtların gizli buharlaşma ısılarının benzininkinden yüksek olmasına bağlı olarak volümetrik ve termal verimlerinin yüksek olmasıdır. En yüksek SGB değeri 2400 d/d motor devrinde M99 kullanılmasıyla elde edilmiştir ve bu değer 35,33 bar'dır. Bu duruma gerekçe olarak, metanolün kimyasal yapısındaki oksijen oranının etanol ve benzininkinden yüksek olduğunu ileri sürmüşlerdir [80].

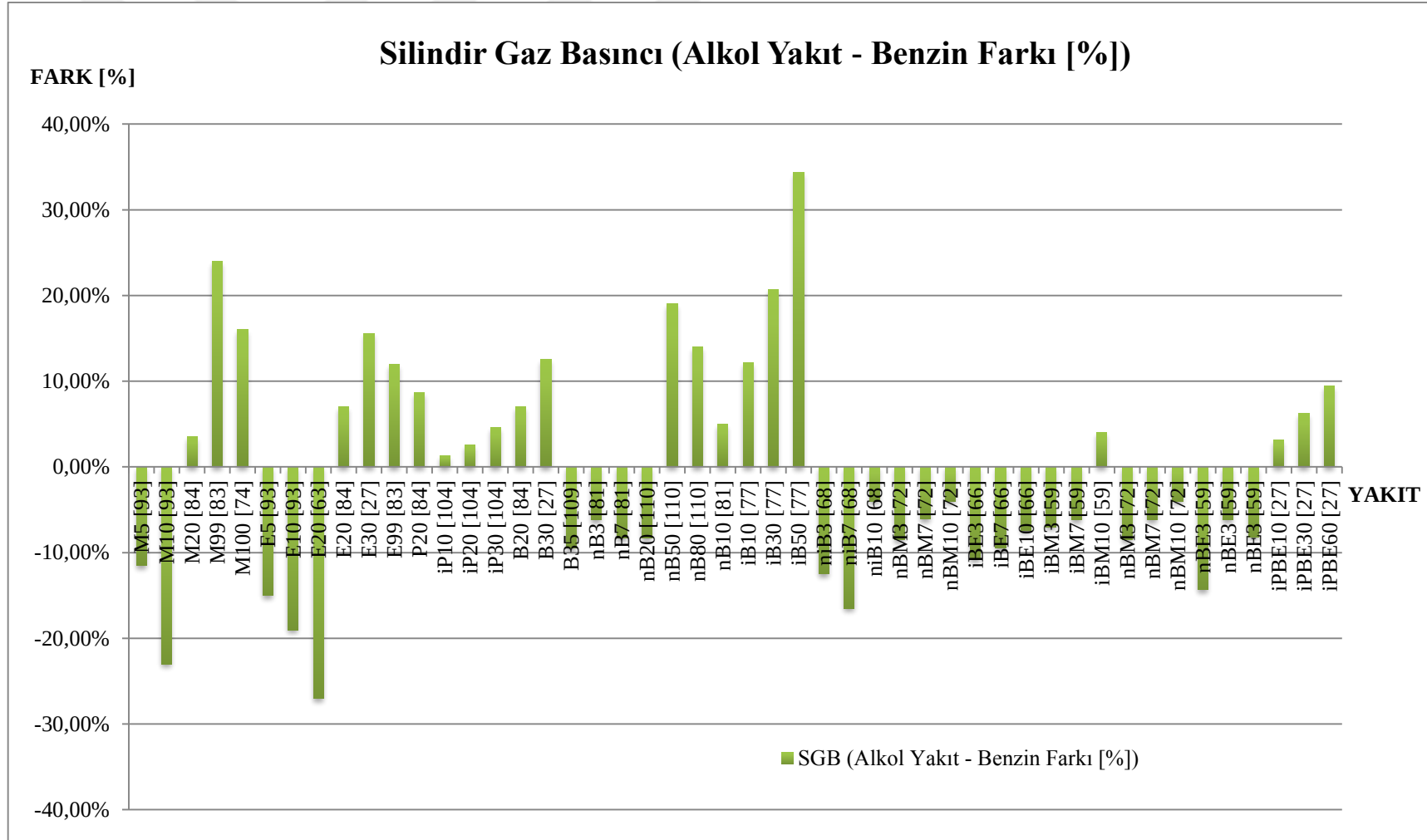
Balki vd. saf metanol, etanol ve benzin kullanarak gerçekleştirdikleri testlerde, daha yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip metanol ve etanol kullanıldığında, VV değerinin benzine kıyasla artırdığı görölmüştür. Ayrıca, yüksek oksijen içeriğine sahip bu alkol yakıtların benzine kıyasla yanma hızını da arttırdığı ifade edilmiştir. Bu nedenle, metanol ve etanolün kullanılmasıyla elde edilen SGB değeri, benzininkinden yüksektir. Ayrıca, yanma çevriminin sonunda pistonun üst ölü noktaya yaklaşması nedeniyle sıkıştırma oranının artmasıyla tüm yakıtlar için SGB değeri artmıştır. Etanol ve metanol kullanıldığında ortalama SGB değerleri benzine göre sırasıyla %12 ve %24 oranında artmıştır [83].

Masum vd., saf benzin, E20, M20, P20 ve B20 yakıtlarını test etmişlerdir. Ateşleme

avansının artması, benzine kıyasla daha yüksek gizli buharlaşma ısısına ve daha fazla oranda oksijen içeriğine sahip olması nedeniyle alkol yakıtlara ait SGB değerinin benzinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, P20 yakıtı diğer karışım yakıtlardan daha yüksek SGB değeri üretmiştir. Bunun nedeni olarak ise P20 karışımının diğer karışım yakıtlardan daha yüksek oktan sayısına sahip olmasıdır. Buna bağlı olarak ısı salınımının daha önce başladığı ileri sürülmüştür. Ortalama SGB değerleri M20, E20, P20 ve B20 karışımlarının kullanılmasıyla benzine kıyasla sırasıyla %3,5, %7, %8,7 ve %7 oranında artmıştır [84].

Eyidoğan vd. dört silindirli, çok nokta enjeksiyonlu, benzinli bir motorda, saf benzin, E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarını kullanarak deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneyler neticesinde, motorun daha stabil çalıştığı 10 kW, 15 kW ve 20 kW'lık yüklerde benzine ait SGB değerinin, alkol içerikli diğer yakıtlarinkinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bunun nedeni, benzinin yanma sürecinin alkol yakıtlardan daha uzun olmasıdır. Bir diğer sonuç olarak, motor gücünün artmasıyla birlikte silindir içerisine daha fazla miktarda yakıt enjekte edilmiş ve VV'in artmasına bağlı olarak SGB değeri de artmıştır. E5, E10, M5 ve M10 kullanıldığında ortalama SGB değerleri saf benzine göre sırasıyla yaklaşık %15, %19, %11,5 ve %23 oranında azalmıştır [93].

Şekil 3.10'da, gerçekleştirilmiş çalışmalardan yola çıkılarak benzin yakıt referans alınmış, kullanılan alkol içerikli yakıtlara ait SGB değerinin benzine kıyasla ortalama olarak hangi ölçütlerde farklılık gösterdiği yüzdesel [%] olarak belirtilmiştir. Şekle göre, iB50, iB30 ve M99 yakıtları kullanılarak benzine kıyasla sırasıyla %34,4, %20,72 ve %24 oranında fark ile en yüksek SGB değerleri elde edilmiştir [77, 83]. E20 ve M10 karışımları benzine kıyasla sırasıyla %27 ve %19 fark ile en düşük SGB değerini göstermiştir [63, 93].



Şekil 3.10. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının SGB'na etkisi

3.3.2. Isı Salınım Hızı (ISH)

EK 3-Tablo 1’de görüldüğü gibi, günümüze kadar alkoller saf halde ya da belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak kullanılmış ve ısı salınım hızları hesaplanmıştır.

Metanol yakıtlar üzerinde yapılan araştırmalara bakılacak olursa; Agarwal vd. M0, M10 ve M20 yakıtlarını kullanarak yapmış olduğu deneysel çalışmada, tüm karışımların ISH değerleri dikkate alındığında ilk önce M0’ın artışa başladığı görülmüştür. Bunun nedeni, HC içeren metanolün tek bir kaynama noktasına sahip olması benzinin ise farklı kaynama noktalarıyla çok sayıda HC içermesidir. Diğer taraftan ISH değeri motor yükünün artışıyla birlikte artış göstermiştir. 3500 d/d ve 60 Nm yükte ve ÜÖN’yı krank açısı cinsinden 16 derece geçtiğinde maksimum ISH değerleri elde edilmiş olup, M10 ve M20 kullanımıyla bu değer benzine kıyasla ortalama olarak sırasıyla %4,3 ve %28,5 oranında artmıştır [82].

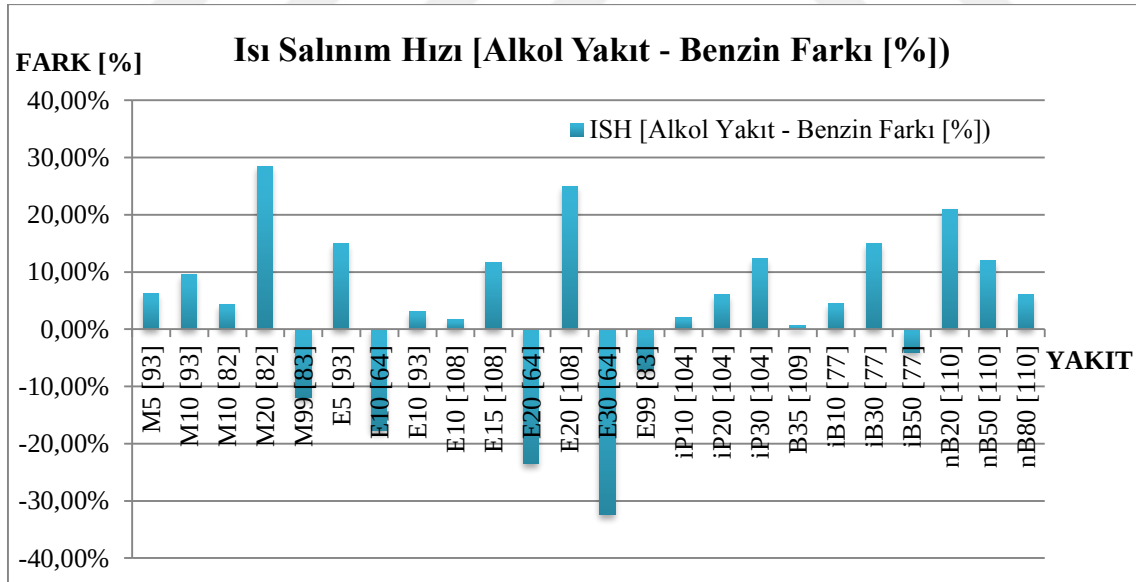
Etanol yakıtlar üzerinde yapılan deneyler incelenirse; Schifter vd. E0, E10, E15 ve E20 yakıtlarını tek silindirli benzinli bir motorda kullanarak farklı HYO koşullarında deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalar neticesinde, etanolün kimyasal yapısında serbest oksijen bulunması sayesinde yüksek yanma hızına sahip olması ve böylece yanma prosesini iyileştirmesi sebebiyle karışımdaki etanol oranının artmasıyla ISH değerleri de arttığı görülmüştür. E10, E15 ve E20 ile ISH değerindeki artış E0’a göre sırasıyla %1,66, %11,6 ve %25 oranındadır [108].

Propanol yakıtı ile ilgili çalışmalar değerlendirilecek olursa; Sivasubramanian vd. iP0, iP10, iP20 ve iP30 karışımlarını multi-enjeksiyonlu, tek silindirli ve benzinli bir motorda kullandıkları çalışmalarında, karışımdaki iP oranını arttırıldıkça ISH verilerinin de değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Bu sonucu oluşturan etkenin, propanolün kimyasal yapısındaki yüksek orandaki serbest oksijen içeriği olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, kendiliğinden tutuşma sıcaklığı ve gizli buharlaşma ısısı benzinden daha yüksek olan iso-propanolün kullanımıyla VV’in arttığı vurgulanmıştır. Bunun sonucunda, daha fazla miktarda havanın silindir içerisine alınmasıyla tam yanma gerçekleşmekte ve ISH değeri artmaktadır. Bunun yanında, iso-propanolün laminar yanma hızının benzininkinden yüksek olmasına bağlı olarak yanma sürecinin kısaldığını ve bu etkenin

de ISH'nın artmasında diğer önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir. iP10, iP20 ve iP30 yakıtları için ISH değerleri iP0'a kıyasla sırasıyla %2, %6 ve %12,3 oranında artmıştır [104].

Balki vd. saf metanol, etanol ve benzin kullanarak gerçekleştirdikleri testlerde, metanol ve etanolün daha yüksek laminar yanma hızı ve soğutma özelliklerine sahip olması ve kaynama noktalarının tek ve benzininkinden daha düşük olmasından dolayı 9,0:1'lik sıkıştırma oranında metanol ve etanol yakıtların ISH değeri benzininkinden düşüktür. Etanol ve metanol kullanıldığında 9/1 sıkıştırma oranında elde edilen ortalama ISH değerleri benzine göre sırasıyla %7 ve %12 oranında azalmıştır [83].

Şekil 3.11'de, sunulan deneysel çalışmalardan yola çıkılarak benzin yakıt referans alınmış ve kullanılan alkol yakıtların oluşturduğu ISH değerlerinin benzine kıyasla ortalama ne kadar fark gösterdiği yüzdesel [%] olarak belirtilmiştir. Şekle göre, M20 ve E20 yakıtları kullanılarak benzine kıyasla sırasıyla %28,5 ve %25 oranında fark ile en yüksek ISH değeri elde edilmiştir [82, 108]. E30 karışımı ise benzine kıyasla sırasıyla %32,35 fark ile en düşük ISH değerini göstermiştir [64].



Şekil 3.11. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının ISH'na etkisi

3.3.3. Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGS)

EK 3-Tablo 1’de görüldüğü üzere, günümüze kadar yapılmış çalışmalarda alkoller saf halde ya da belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak benzinli motorlarda kullanılmış ve egzoz gazı sıcaklıkları hesaplanmıştır.

Agarwal vd. M0, M10 ve M20 yakıtlarını kullanarak yapmış olduğu deneysel çalışmada, tüm devir ve yük koşullarında karışımdaki metanol oranının artmasıyla EGS değerinin azaldığı görülmüştür. Bu durumun nedeni olarak, metanolün benzinden daha yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olmasıyla emme prosesinde sıcaklığın yüksek oranda düşmesi sonucu sıkıştırma prosesi sonundaki sıcaklığın da azalacağı ifade edilmiştir. Böylece yanma prosesi tamamlandıktan sonra EGS değeri azalmıştır. 3500 d/d motor devrinde M10 ve M20 kullanımıyla elde edilen EGS değerleri benzine kıyasla ortalama olarak sırasıyla %1,23 ve %23,5 oranında azalmıştır [82].

Renzi vd., yakıt olarak E0, E50 ve E80’i kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalar sonucunda, karışımlardaki biyo-etanol oranının artmasıyla hem karışımın fakirleşmesi hem de ve etanolün yüksek soğutma etkisine sahip olmasıyla yanma sonucu sıcaklıklarının düşmesine paralel olarak EGS değerleri de düşmüştür. E50 ve E80 kullanımında EGS değerindeki azalma benzine kıyaslandığında sırasıyla %4,6 ve %10,3 seviyelerindedir [67].

Masum vd., E0 ve E15 yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri araştırmada, E15’in E0’a kıyasla daha düşük EGS değerleri ürettiği görülmüştür. Etanolün alt ısı değerinin benzininkinden daha düşük olmasının bu sonuca neden olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, etanolün benzinden daha yüksek oktan sayısına sahip olması ile silindirdeki yanma daha erken başlayarak yanma ısısından daha fazla oranda faydalanılmış ve EGS değeri benzine kıyasla düşmüştür. Bunun yanı sıra, yüksek motor hızlarında daha fazla miktarda yakıtın yanması nedeniyle motor hızı arttıkça her iki yakıt için de EGS değerleri artmıştır. Tüm devir şartları dikkate alındığında E15 karışımında ortalama EGS değeri saf benzine göre %2,2 oranında düşmüştür [78].

Costa ve Sodré, dört silindirli, benzinli bir motorda, E22 ve E100 yakıtlarını kullanarak 1500–6500 d/d devir aralığında testlerini gerçekleştirmişlerdir. Artan motor hızı ile

yanma sürecinin kısılması sonucunda art yanma süresinin uzaması sebebiyle tüm sıkıştırma oranları için motor hızının artmasıyla tüm karışım yakıtlarına EGS değerinin arttığı sonucuna varılmıştır. 4000 d/d sabit devir ve 10/1, 11/1 ve 12/1 sıkıştırma oranlarında E22 ile elde edilen EGS değerleri sırasıyla yaklaşık, 720, 725 ve 750°C iken, aynı devirde ve sıkıştırma oranlarında E100 ile elde edilen EGS değerleri ise sırasıyla yaklaşık 690, 675 ve 690°C'dir [91].

Elfasakhany'nin niB0, niB3, niB7 ve niB10 yakıtlarını kullanarak yaptığı deneylerde, karışımdaki n-bütanol/iso-bütanolün oranının artmasıyla EGS değerlerinin azaldığını ifade etmiştir. n-bütanol/iso-bütanolün benzine kıyasla daha yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olması sonucu silindir içindeki sıcaklığın daha yüksek oranda azalmasının bu sonucun oluşmasındaki öncelikli etken olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, niB10 yakıtının VV'inin yükselmesi sonucu yakıt dönüşüm verimliliğinin artması sebebiyle niB10 yakıtı, niB3 ve niB7 yakıtlarına oranla yüksek EGS değerini göstermiştir. Tüm devir şartları dikkate alındığında, niB3, niB7 ve niB10 kullanımıyla ortalama EGS değerleri saf benzine göre sırasıyla %3,8, %4 ve %3,5 oranında azalmıştır [68].

Elfasakhany ve Mahrous araştırmalarında, tek silindirli ve benzinli bir motor üzerinde saf benzin, nBM3, nBM7 ve nBM10 yakıtlarını kullanarak testlerini gerçekleştirmişlerdir. nBM3, nBM7, nBM10 yakıt karışımlarının benzininkine oranla daha düşük EGS değerleri gösterdiğini açıklamışlardır. Bunun gerekçesi ise, metanol ve n-bütanolün gizli buharlaşma ısısının saf benzinden yüksek olmasıdır. Bunun sonucunda, daha yüksek oranlarda buharlaşmanın gerçekleşmesi ile emme prosesinin sonundaki sıcaklıkların düştüğü ve böylece silindir sıcaklığı düşerek EGS değerlerinin de azaldığı belirtilmiştir. Tüm yük şartlarında nBM3, nBM7 ve nBM10 karışımları için EGS değerlerindeki azalma saf benzine kıyasla sırasıyla %2,85, %2,68 ve %2,18 seviyelerindedir [72].

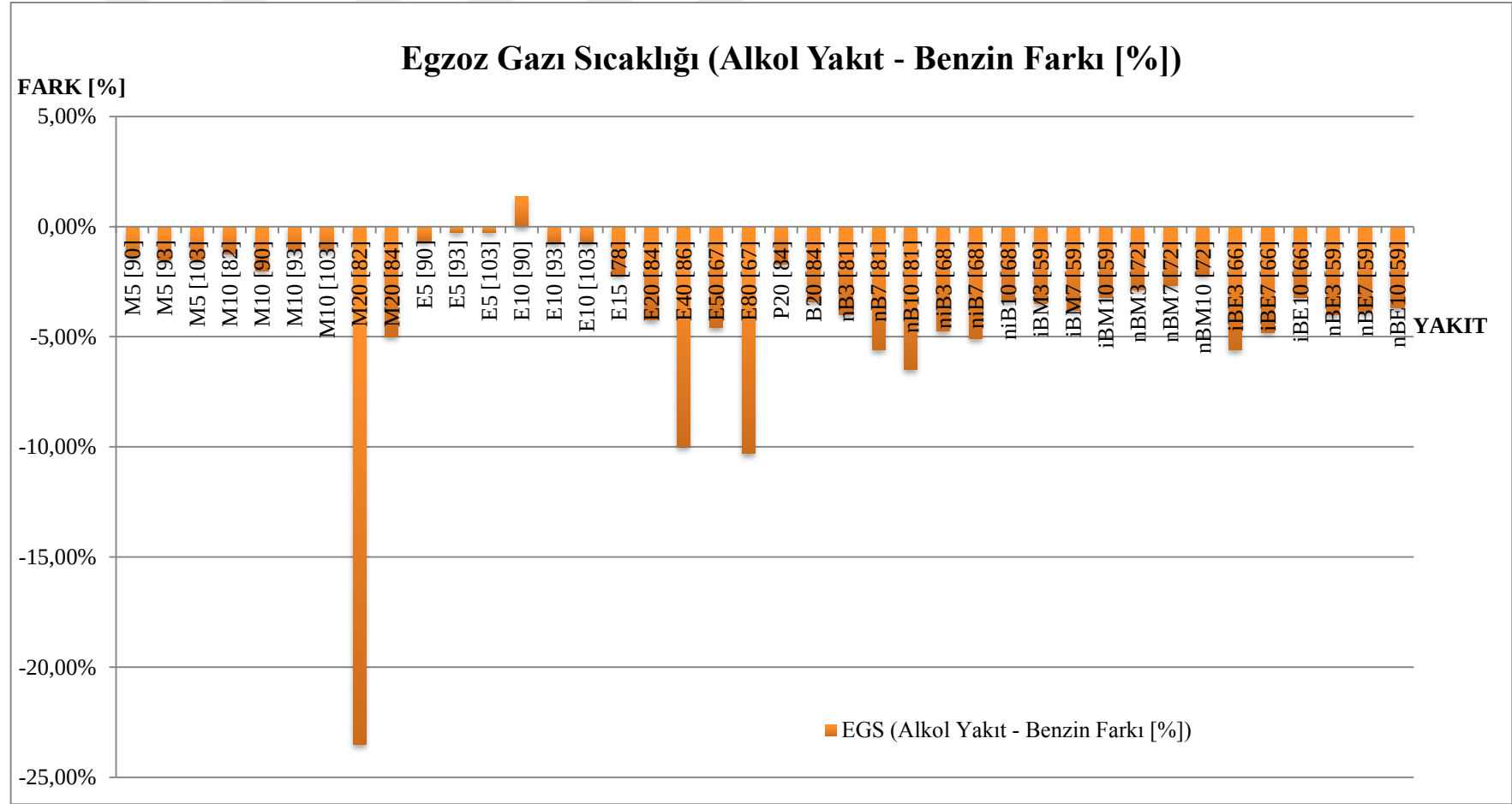
Masum vd., saf benzin, E20, M20, P20 ve B20 yakıtlarını test etmişlerdir. M20, P20 ve B20 yakıtlarının ısı değerlerinin saf benzininkinden düşük olmasına bağlı olarak yanma sıcaklığının da düşük olmasından dolayı, etanol hariç diğer alkol içerikli yakıtlar benzine oranla daha düşük EGS değeri gösterdiği açıklanmıştır. E20'nin diğer alkol içerikli yakıtlara nazaran daha yüksek EGS değeri göstermesinin nedeni ise etanolün gizli buharlaşma ısısının M20, P20 ve B20'den daha yüksek olması sonucu gerçekleşen

ateşleme gecikmesidir. Ortalama EGS değerleri M20, E20, P20 ve B20 karışımlarının kullanılmasıyla saf benzine kıyasla sırasıyla %5, %4,23, %1,7 ve %3,4 oranında azalmıştır [84].

Ozsezen ve Çanakçı, dört zamanlı, çok nokta enjeksiyonlu ve benzinli bir motorda saf benzin, M5, M10, E5, E10 yakıtlarını 40, 60, 80 ve 100 km/h test koşullarında test etmişlerdir. Yapılan çalışmalar neticesinde, M10 yakıtının gizli buharlaşma ısısının etanol ve benzinden yüksek olmasından dolayı daha yüksek oranda buharlaşmanın gerçekleşmesi sonucu minimum silindir sıcaklıklarının elde edildiği belirtilmiştir. Bunun sonucu olarak ise M10 yakıtının EGS değerlerinin diğer yakıtlarından daha düşük olduğu vurgulanmıştır. M5, M10, E5'ün ortalama EGS değerleri saf benzine kıyasla sırasıyla %1,36, %2 ve %0,68 oranında azalırken, E10'ün kullanılmasıyla bu değer saf benzine kıyasla %1,36 oranında artmıştır [90].

Eyidoğan vd. dört silindirli, çok nokta enjeksiyonlu bir benzin motorunda, saf benzin, E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarını kullanarak deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Metanol ve etanolün gizli buharlaşma ısısının benzinden yüksek olması sonucu elde edilen EGS değerlerinin benzinden düşük olduğu açıklanmıştır. Bunun yanında, benzinin ısı salınımı hızının artışa başlaması alkol yakıtlarından önce gerçekleşmiş, böylece alkol yakıtların ısı salınım eğrilerinin egzoz prosesinin başlama anına doğru uzadığı ifade edilmiştir. Bu durum, alkol yakıtların EGS değerinin benzinden düşük olması ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, karışım yakıtları kullanımında aynı efektif güç için silindirlere ekstra havanın alınmasıyla ÖYT değerleri düşmüş böylece karışım yakıtların EGS değerleri de azalmıştır. E5, E10, M5 ve M10 kullanıldığında ortalama EGS değerleri saf benzine göre sırasıyla yaklaşık %0,25, %0,75, %1,5 ve %1,1 oranında azalmıştır [93].

Şekil 3.12'de, sunulan çalışmalardan yola çıkarak benzin referans alınmış, kullanılan alkol yakıtların EGS değerinin ortalama ne kadar fark gösterdiği yüzdesel [%] olarak belirtilmiştir. Şekle göre, alkol yakıtların kullanılması, genel itibariyle EGS değerini düşürdüğü görülmektedir. M20 yakıtı kullanılarak benzine kıyasla %23,5 fark ile en düşük EGS değeri elde edilmiş; daha sonra bunu %10,3 fark ile E80 yakıtı izlemiştir [82, 67].



Şekil 3.12. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımının EGS'na etkisi

SONUÇLAR

Farklı güç kapasitesine sahip klasik ve enjeksiyonlu tip benzinli motorlarda alkol yakıtların kullanımının emisyon, performans ve yanma parametreleri üzerindeki etkileri üzerine yapılmış çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Yapılan incelemeler neticesinde, alkol yakıtların benzinli motorda kullanılmasıyla TV değerinin benzine kıyasla artırdığı ifade edilebilir. M15 yakıtı kullanılarak benzine kıyasla %42,10'luk fark ile en yüksek TV değeri elde edilmiş; daha sonra bunu %28,57'lik fark ile M10 yakıtı takip etmiştir. Bu neticeye ulaşılmasının gerekçeleri ise ilk olarak; alkollerin benzine kıyasla daha yüksek alev hızına sahip olmaları sayesinde yanma süresini kısaltması ve böylece hem silindirlerden daha az ısı kaybının gerçekleşmesi, hem de yanma verimini artırmasıdır. İkinci olarak; alkollerin serbest oksijen içeriğine sahip olmasının daha iyi bir yanma performansı sağlamasıdır. Üçüncü olarak; alkollerin benzine kıyasla üç kat daha fazla buharlaşma ısısı değerine sahip olması sonucu sıkıştırma evresi boyunca silindirden daha fazla ısı çekmekte ve böylece hava yakıt karışımının sıkıştırılması için gerekli enerji miktarı azaltmaktadır. Bunun sonucu olarak da TV'in arttığı vurgulanmıştır. Dördüncü ve son olarak; alkollerin yüksek oktan sayısına sahip olması sayesinde vuruntu temayülü oluşmadan motorun daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalışma şartlarının sağlanabilmesi ve yanma performansının artmasıdır.
- Literatür incelendiğinde alkol yakıt kullanımının T değerini benzine nazaran artırdığı görülmektedir. M100 yakıtı kullanıldığında benzine kıyasla %11'lik bir fark ile en yüksek T değeri elde edilmiş olup; daha sonra bunu %10'lik fark ile P20 yakıtı izlemiştir. Bu durumun gerçekleşmesinin nedenleri sırasıyla; alkollerin gizli buharlaşma ısısının yüksek olması sayesinde karışımın sıcaklığını düşürerek volümetrik verimi artırması ve bunun sonunda da maksimum silindir basıncının artmasıdır. Bir diğer neden ise; alkol yakıtların serbest oksijen içeriğine sahip olması özelliğiyle daha verimli bir yanmayı gerçekleştirmesidir. Bunun yanında, alkollerin sahip olduğu yüksek oktan sayısı sayesinde anti-vuruntu özelliğinin ateşleme avansının artırılmasına imkan

vermesidir. Ateşleme avansının artırılması ile de yanma sonu basıncı yükselmiş ve T değeri de benzine kıyasla artırmıştır.

- Efektif güç parametresi ele alındığında, M100 yakıtı kullanılarak benzine kıyasla %12,25'lik artış ile en yüksek EG değeri elde edilmiş olup bunu %10,1'luk artış ile M5B15 yakıtı izlemiştir. nBE7 ve nBE7 yakıt karışımları ise benzine kıyasla sırasıyla %7,89 ve %7,23'lık azalış ile en düşük EG değerlerini göstermiştir. Yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, gizli buharlaşma ısısının benzine kıyasla yüksek olması ile emme zamanındaki karışımın sıcaklığı düşerek volümetrik verimin artması ve yapılarında serbest oksijen bulunması sayesinde yanmanın daha verimli gerçekleşmesi nedeniyle, bütanol ve iso-bütanol hariç diğer alkollerin kullanılmasıyla EG değeri benzine kıyasla artmıştır. Ayrıca, bu artışın bir nedeni ise alkollerin benzine nazaran daha az karbon ve hidrojen içermesi nedeniyle hemen hemen tüm çalışma şartlarında tam yanma koşullarının sağlamasıdır. Ancak, n-bütanol ve iso-bütanol'ün ısı değerlerinin benzininkinden düşük olması sonucu yanma prosesinde açığa çıkan ısı enerjisi miktarı da azalmıştır. Yine, bütanol yakıtların benzine kıyasla daha düşük doygunluk basıncına sahip olmasına bağlı volümetrik verim düşmüş ve benzine kıyasla EG değeri azalmıştır.
- Metanol ve etanol içerikli yakıtlar benzine kıyasla daha yüksek VV değeri göstermişlerdir. Metanol içerikli yakıtlar (M3, M7, M10) kullanıldığında benzine kıyasla %30'luk artışla ile en yüksek VV değeri elde edilmiştir. Daha sonra bunu %27'lik artış ile metanol-etanol karışimli yakıtlar (EM3, EM7, EM10) izlemiştir. B (nB) ve iB içerikli yakıt karışımları benzine kıyasla ortalama %2,8'lik azalışla en düşük VV değerini göstermiştir. Metanol ve etanol yakıtların gizli buharlaşma ısısının benzinden daha yüksek olması sonucu karışımın sıcaklığının düşmesi ve yoğunluğunun artması nedeniyle VV değerini benzine kıyasla artırmıştır. Ancak, bütanol ve iso-bütanol yakıtların alt ısı değerlerinin benzinin alt ısı değerinden düşük olması sebebiyle benzine kıyasla daha düşük VV değeri elde edildiği görülmüştür.
- En yüksek ÖYT değerleri metanol ve etanol içerikli yakıtlarda görülmektedir. E20 yakıtı kullanılarak benzine kıyasla %130 artış ile en yüksek ÖYT değeri elde edilmiş; daha sonra bunu %103,12 artış ile M100 yakıtı izlemiştir.

Araştırmalar incelendiğinde, alkollerin, alt ısı değerlerinin benzinden düşük olması sonucu silindirde aynı çıkış gücü için daha fazla miktarda yakıt tüketildiği ve böylece benzine kıyasla ÖYT verilerinin arttığı ifade edilebilir.

Benzinli motorlarda alkol yakıtların kullanımının emisyon parametreleri üzerine etkileri ile ilgili çalışmalar incelemiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Literatür değerlendirildiğinde, alkol yakıtların benzinli motorda kullanılmasıyla HC emisyonu değerinin benzine kıyasla azaldığı söylenebilir. E60 yakıtı kullanılarak benzine kıyasla %50 oranında en düşük HC emisyon değeri elde edilmiş; daha sonra bunu %44,39 azalma ile E20 yakıtı izlemiştir. Alkol yakıt kullanımının HC emisyonunu azaltmasında çeşitli sebepler vardır. Öncelikle, alkol yakıtlar, kimyasal yapısındaki serbest oksijen içeriği sayesinde yanma prosesini iyileştirirler. Bunun yanında, alkoller, benzine nazaran daha düşük karbon ve hidrojen içeriğine sahip olmasına bağlı olarak hava-yakıt oranlarının düşük olmasıyla çok fakir karışimli çalışma şartlarında bile optimum yanma şartlarını gerçekleştirirler. Ayrıca, alkoller, buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması ile volümetrik verimi artırmakta ve böylece silindir içerisine daha fazla havanın alınması sağlanmaktadır. Bununla birlikte, alkoller, buharlaşma sıcaklıklarının benzinden düşük olması ile silindirlerde çok kısa sürede ilk alev cephesinin oluşması neticesinde yanma performansını iyileştirerek volümetrik verimi artırmaktadır. HC emisyonunu azaltmasındaki diğer bir etken ise, alkollerin kullanımıyla VV'in artması ve laminar yanma hızının benzininkinden daha yüksek olmasıyla alkol-benzin karışımının tam olarak yanmasıdır.
- Gerçekleştirilen çalışmalar değerlendirildiğinde alkol yakıtların benzine kıyasla daha düşük seviyelerde CO emisyonu ürettiği sonucuna varılabilir. M20 yakıtı kullanıldığında benzine kıyasla %50 oranında fark ile en düşük CO emisyon değeri elde edilmiştir; daha sonra bunu %46,6'lık fark ile EM10 yakıtı izlemiştir. Bu neticenin elde edilmesinin gerekçeleri ise; serbest oksijen içeren alkol yakıtların kullanımıyla tam yanma şartlarının sağlanmasıdır. Bunun sonucunda, yüksek yanma veriminin oluşmasıyla CO₂ oluşumu artarken eksik yanma sonucu oluşan CO emisyonu azalmıştır. İkinci olarak; alkollerin gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması sonucu karışımın sıcaklığının düşmesi ve

bunun sonucunda VV'in artması ile silindirlere daha fazla oksijen alınmasıdır. Üçüncü olarak; alkollerin, yüksek alev hızına sahip olması sayesinde yanma veriminin iyileştirmesidir. Dördüncü ve son olarak ise; alkollerin benzine kıyasla daha düşük sayıda karbon ve hidrojen içermesi nedeniyle çok düşük hava-yakıt oranlarında bile tam yanma şartlarını sağlamasıdır.

- Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, benzinli motorlarda bazı alkol kullanımlarında CO₂ emisyonunu benzine kıyasla artırdığı, bazı alkol kullanımlarında ise CO₂ emisyonunu azalttığı görülmektedir. nB3, nB7 ve nB10 yakıtları kullanılarak benzine kıyasla sırasıyla %35, %33,5 ve %31 oranında fark ile en düşük CO₂ emisyon değerleri elde edilirken; iBE10 karışımı kullanılarak benzine kıyasla %32 oranında fazla CO₂ emisyonu elde edilmiştir. Bazı alkol kullanımının CO₂ emisyonunu azaltıcı etki göstermesinin nedeni; yakıt-hava karışımı içerisindeki karbon oranının benzine kıyasla nispeten az olmasıdır. Bazı alkollerin kullanılması durumunda ise CO₂ emisyonunun artmasının birinci nedeni; kimyasal yapısında serbest oksijenin bulunması sayesinde yanma verimini iyileştirmesidir. İkinci nedeni; yüksek hava/yakıt oranına sahip olmasıyla tam yanma şartlarının sağlanması ve böylece C ve O₂ moleküllerinin oksidasyonunun tam olarak gerçekleşmesidir. Üçüncü ve son neden ise; düşük kaynama noktalarına sahip olmasıyla tam yanmanın gerçekleşmesi ve gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması sonucu emiş sıcaklığının düşmesi ve böylece, VV'i artırarak silindir içerisine daha fazla miktarda havanın alınmasıdır.
- Alkol yakıtların benzinli motorlarda kullanılmasıyla NO_x emisyonundaki değişimler ile ilgili çalışmalar incelenirse, bazı alkol kullanımlarda NO_x emisyonunun benzine kıyasla arttığı, bazı kullanımlarda ise NO_x emisyonunun benzine kıyasla azaldığı görülmektedir. M100 ve E100 yakıtları kullanıldığında benzine kıyasla NO_x emisyonlarında sırasıyla %53 ve %42 oranında maksimum azalma değerleri elde edilmiştir. E10W ve E20W karışımları kullanıldığında ise yine benzine kıyasla NO_x emisyonlarında sırasıyla %65 ve %100 oranında maksimum artış verileri gözlemlenmiştir. Alkol yakıtların NO_x emisyonunu azaltıcı etki göstermesinin ilk sebebi; düşük adyabatik alev sıcaklığına ve yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olmasından dolayı emme prosesindeki

karışımın ve silindir içerisindeki sıcaklığın düşmesi ve böylece silindir duvarlarından ısı transferi yoluyla ortaya çıkan ısı kaybının azalmasıdır. Bir diğer neden ise; alkollerin alt ısı değerinin düşük olması dolayısıyla ortalama silindir sıcaklıklarının azalmasıdır. Diğer taraftan, alkol yakıt kullanımının NO_x emisyonunu arttırmadaki ilk etken ise; yapısında oksijen bulundurmaları sayesinde alev yayılma hızının artması ve böylece silindirler içerisindeki basınç ve sıcaklığın yükselmesidir. Bir diğer sebep; ön yanma periyodunun daha kısa sürede gerçekleşmesi ve böylece yanma performansının iyileşmesinden dolayı silindir sıcaklığının artmasıdır. Son sebep ise; alkollerin yüksek oktan sayısına sahip olması sayesinde motorları daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalıştırma şartlarını sağlamasıdır. Sıkıştırma oranının artması ile yanma sıcaklıkları da beraberinde artış göstermektedir.

Benzinli motorlarda alkol yakıtların kullanımının yanma karakteristikleri üzerine etkileri ile ilgili literatür incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Alkol yakıtların benzinli motorlarda kullanılmasıyla SGB değerindeki değişimler üzerine yapılmış çalışmalar derlendiğinde, bazı alkol kullanımlarda SGB değeri benzine kıyasla artarken, bazı kullanımlarda ise SGB değerinin benzine kıyasla azaldığı görülmektedir. iB50, iB30 ve M99 yakıtları kullanılarak benzine kıyasla sırasıyla %34,4, %20,72 ve %24 oranında maksimum SGB artış değerleri elde edildiği, E20 ve M10 karışımları kullanıldığında ise yine benzine kıyasla sırasıyla %27 ve %19 oranında maksimum SGB azalış değerleri elde edildiği görülmektedir. Alkol kullanımının SGB değerini arttırmasındaki ilk neden; alkollerin serbest oksijen içermesi, yüksek oktan sayısına sahip olması ve laminar yanma hızının benzininkinden yüksek olması sayesinde yanma sürecinin benzinden daha kısa olması ve böylece, silindir yüzeylerinden ısı kaybının azalmasına olanak sağlamasıdır. Bir diğer neden ise; alkollerin gizli buharlaşma ısılarının benzininkinden yüksek olmasına bağlı olarak volümetrik ve termal verimlerinin yüksek olmasıdır. Alkol kullanılmasıyla SGB değerinin benzine kıyasla düşmesinin nedeni ise; alkollerin alt ısı değerinin benzininkinden düşük olması nedeniyle açığa çıkan ısı enerjisi ve buna bağlı olarak termal verimin azalmasıdır.

- Literatür incelendiğinde, benzinli motorlarda bazı alkol kullanımlarında ISH değerini benzine kıyasla arttırdığı, bazılarında ise azaldığı görülmektedir. M20 ve E20 yakıtları kullanılarak benzine kıyasla sırasıyla %28,5 ve %25 oranında maksimum ISH artış değeri elde edilirken; E30 karışımı ise benzine kıyasla %32,35 oranında maksimum ISH azalış değeri elde edilmiştir. Alkol kullanımının ISH değerini benzine kıyasla artırmasının birkaç nedeni vardır. Birincisi; alkollerin kimyasal yapısında serbest oksijenin bulunması sayesinde yüksek yanma hızına sahip olması, bu sayede yanma sürecinin kısa sürmesi ve yanma prosesinin iyileşmesidir. İkincisi; alkollerin gizli buharlaşma ısısının benzininkinden yüksek olması sayesinde volümetrik verimin artması ve dolayısıyla daha fazla miktarda havanın silindir içerisine alınarak tam yanma şartlarının gerçekleşmesidir. Alkol kullanımının ISH değerini benzine kıyasla azaltmasının nedeni ise; alkollerin soğutma özelliklerine sahip olması ve kaynama noktalarının benzininkinden daha düşük olmasıdır.
- Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar genel olarak incelendiğinde alkol yakıtların kullanılmasıyla EGS değerlerinin benzine kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. M20 ve E80 yakıtları kullanıldığında benzine kıyasla sırasıyla %23,5 ve %10,3 oranında maksimum EGS artış değerleri elde edilmiştir. Alkollerin EGS değerini benzine kıyasla azaltmasındaki ilk etken; alkollerin yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olmasıyla emme prosesinde sıcaklığın yüksek oranda düşmesi sonucu sıkıştırma prosesi sonundaki sıcaklığın da azalmasıdır. İkinci etken ve son etken ise; alkollerin alt ısıl değerinin benzininkinden daha düşük olması sonucu yanma sıcaklığının düşmesidir.

KAYNAKLAR

- [1] Gurria, A., Hoeven, M.V. (2011) OECD Green Growth Studies / Energy, OECD / International Energy Agency (IEA).
- [2] Solak, A.O. (2012) Petrol Fiyatlarını Belirleyici Faktörler, Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi, 4, 117-124.
- [3] Cleef, H. (2018) Energy Monitor August – Higher Oil Prices in 2019, <https://insights.abnamro.nl/en/2018/08/energy-monitor-august-higher-oil-prices-in-2019/>, Erişim tarihi: 02.01.2019.
- [4] Özen, A., Onural, A.Ş. (2001) Egzoz Emisyon Sistemlerinin Neden Olduğu Çevre Kirliliği, Teknik ve Ekonomik Dergi, 469, 56-61.
- [5] Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H.E., Soruşbay, C. (1995) İçten Yanmalı Motorlar, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [6] Bayrakçeken, H., Kuş, R., Taşıtlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6 (1), 125-144.
- [7] Ögüt, H., Kuş, R. (1999) Motorlu Taşıtlarda Alternatif Yakıt Kullanımı, II. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi, 149-161.
- [8] Özer, S. (2014) Alkollerin İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(1), 97-114.
- [9] Smith, J.L., Workman, J.P. (2014) Alcohol for Motor Fuels, Colorado State University Extension / Farm and Range Series|Equipment, U.S.A.
- [10] Mathewson, S.W. (1980) The Manual for the Home and Farm Production of Alcohol Fuel, Ten Speed Press J.A. Diaz Publications.
- [11] Şenbahçe, A., Temür, M., Sayın, C. (2014) Alkol Yakıtların Buji Ateşlemeli Motorlarda Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi, Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 20-29.

- [12] Vancoillie, J., Verhelst, S., (2010) Modeling the Combustion of Light Alcohols in SI Engines: A Preliminary Study, FISITA 2010 World Automotive Congress, 1-12.
- [13] Taymaz, İ., Benli M. (2009) Metanolün Taşıtlarda Enerji Kaynağı Olarak Farklı Kullanım Yöntemlerinin İncelenmesi, Mühendis ve Makina, 50(596), 20-26.
- [14] Bromberg, L., Cheng, W.K. (2010) “Methanol as an Alternative Transportation Fuel in the U.S.: Options for Sustainable and/or Energy-Secure Transportation”, Massachusetts Institute of Technology Cambridge, England.
- [15] Zhen, X. (2018) Methanol as an Internal Combustion on Engine Fuel, Methanol-Science and Engineering, 313-337.
- [16] Biedermann, P., Grube, T., Höhle, B. (2006) Methanol as an Energy Carrier, Forschungszentrum Jülich Energietechnik Energy Technology, 55, Jülich.
- [17] Huang, P., Hongyi, J., Tan, S., Wang, H., Zhao, T. (2015) The Future of Methanol Fuel An Analysis on the Feasibility of Methanol an Alternative Fuel
- [18] Bielaczyc, P., Woodburn, J., Gandyk, M., Szczotka, A. (2016) Ethanol as an Automotive Fuel – A Review, Combustion Engines, 3 (166), 39-45.
- [19] Bielaczyc, P. (2016) The Usage of Fuels Containing Ethanol to Power Automotive Spark Ignition Engines, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2016, *in press*.
- [20] Gnansounou, E., Dauriat, A. (2015) Ethanol fuel from biomass: A review, Journal of Scientific & Industrial Research, 64, 2015, 809-821.
- [21] Meral, R., Kanberoğlu, G. (2012) Tahıllardan Etanol Üretimi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2 (3), 61-68.
- [22] Çelik, M. B., Çolak, A. (2008) Buji Ateşlemeli Bir Motorda Alternatif Yakıt Olarak Saf Etanolün Kullanılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23, 619-626.
- [23] Larsen, U., Johansen, T., Schramm, J. (2009) Ethanol as a Fuel for Road Transportation, Technical University of Denmark, Denmark.

- [24] Kumar, B.R., Saravanan, S. (2016) Use of Higher Alcohol Biofuels in Diesel Engines: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60, 84-115.
- [25] Lapuerta, M., Garcí'a-Contreras, R., Campos-Fernandez, J., Dorado, M.P. (2010) Stability, Lubricity, Viscosity, and Cold-Flow Properties of Alcohol-Diesel Blends, Energy Fuels, 24, 4497-4502.
- [26] Kimya Teknolojisi – Alkoller ve Eterler, 2012, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Alkoller%20Ve%20Eterler.pdf .
- [27] Li, Y., Meng, L., Nithyanandan, K., Lee, T.H., Lin, Y., Lee, C.F., Liao, S. (2016) Combustion, Performance and Emissions Characteristics of a Spark-Ignition Engine Fueled with Isopropanol-n-Butanol-Ethanol And Gasoline Blends, Fuel 184, 864–872.
- [28] Liu, H., Wang, G., Zhang, J. 2013 The Promising Fuel - Biobutanol, InTech Open Science.
- [29] Wei, H., Feng, D., Pan, M., Pan, J., Rao, X., Gao, D. (2016) Experimental Investigation on the Knocking Combustion Characteristics of n-Butanol Gasoline Blends in a DISI Engine, Applied Energy, 175, 346-355.
- [30] Sharudin, H., Abdullah, N.R., Najafi, G., Mamat, R., Masjuki, H.H. (2017) Investigation of the Effects of Iso-Butanol Additives on Spark Ignition Engine Fuelled with Methanol-Gasoline Blends, Applied Thermal Engineering, 114, 593–600.
- [31] Yanai, T., Bryden, G., Dev, S., Reader, G.T., Zheng, M. (2017) Investigation of Ignition Characteristics And Performance of a Neat n-Butanol Direct Injection Compression Ignition Engine at Low Load, Fuel, 208, 137-148.
- [32] Avcı, A., Dönmez, S. (2011) Biyoyakıt Olarak Bütanol ve Fermantasyonla Üretimi, Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi TR, 09 (2), s.1-12.
- [33] Bereketoğlu, A., (2010) Patatesten Bütanol Üretimi Üzerine Bir Çalışma, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye.

- [34] Wigg, B., Coverdill, R., Lee, C., Kyritsis, D. (2011) Emissions Characteristics of Neat Butanol Fuel Using A Port Fuel-Injected, Spark-Ignition Engine, SAE International.
- [35] Zhang, Z., Wang, T., Jia, M., Wei, Q., Meng, X., Shu, G. (2014) Combustion and Particle Number Emissions of a Direct Injection Spark Ignition Engine Operating on Ethanol/Gasoline and n-Butanol/Gasoline Blends with Exhaust Gas Recirculation, Fuel, 130, 177-188.
- [36] Wigg, B.R. (2011) A Study on the Emissions of Butanol Using a Spark Ignition Engine and Their Reduction Using Electrostatically Assisted Injection, Master of Science Thesis, Urbana, Illionis, U.S.A.
- [37] Thakur, A.K., Kaviti, A.K., Mehra, R., Mer, K.S. (2017), Performance Analysis of Ethanol-Gasoline Blends on a Spark Ignition Engine: A Review, Biofuels, 8 (1), 91-112.
- [38] Yusoff, M.N.A.M., Zulkifli, N.W.M., Masum, B.M., Masjuki, H.H. (2015) Feasibility of Bioethanol and Biobutanol as Transportation Fuel in Spark-Ignition Engine: A Review, RSC Advances, 5, 100184-100211.
- [39] Heywood, J.B. (1988) Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Inc.
- [40] Kelen, F. (2014) Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi/Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences, 19 (1-2), 80-87.
- [41] Ülger, M. (2010) İstanbul Tıağındeki Ticari Taksilerin Emisyon Açısından Olumsuz Etkileri.
- [42] Altıntaş, H. (2013) Türkiye’de Birincil Enerji Tüketimi, Karbondioksit Emisyonu ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Eşbütünleşme ve Nedensellik Analizi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi 8(1), 263-294.
- [43] Soruşbay, C. Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Karbondioksit Emisyonlarının

Çevreye Etkisi ve Kontrolü, Mühendis ve Makine, 48 (564), 22-26.

[44] İlkılıç, C., Behçet, R., Aydın, S., Aydın, H. 2009 Dizel Motorlarında Azot Oksitlerin Oluşumu ve Kontrol Yöntemleri, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09).

[45] Awad, O.I., Mamat, R., Ali, O.M., Sidik, N.A.C., Yusaf, T., Kadirgama, K., Kettner, M. (2018) Alcohol and Ether as Alternative Fuels in Spark Ignition Engine: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 2586-2605.

[46] Awad, O.I., Mamat, R., Ibrahim, T.K., Hammid, A.T., Yusri, I.M., Hamidi, M.A., Humada, A.M., Yusop, A.F. (2018) Overview of the Oxygenated Fuels In Spark Ignition Engine: Environmental and Performance, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 91, 394-408.

[47] Awad, O.I., Mamat, R., Noor, M.M., Ibrahim, T.K., Yusri, I.M., Yusop, A.F. (2018) The Impacts of Compression Ratio on the Performance and Emissions Of Ice Powered by Oxygenated Fuels: A Review, Journal of the Energy Institute, 91, 19-32.

[48] Chansauria, P., Mandloi, R.K. (2018) Effects of Ethanol Blends on Performance of Spark Ignition Engine-A Review, Materials Today: Proceedings, 5, 4066-4077.

[49] Yusri, I.M., Mamat, R., Najafi, G., Razman, A., Awad, O.I., Azmi, W.H., Ishak, W.F.W., Shaiful, A.I.M. (2017) Alcohol Based Automotive Fuels From First Four Alcohol Family in Compression and Spark Ignition Engine: A Review On Engine Performance and Exhaust Emissions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 77, 169-181.

[50] Trindade, W.R.S., Santos, R.G. (2017) Review on the Characteristics of Butanol, Its Production and Use as Fuel In Internal Combustion Engines, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 69, 642-651.

[51] Babu M, V., Murthy K, M., Rao G, A.P. (2017) Butanol and Pentanol: The Promising Biofuels for CI Engines – A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78, 1068-1088.

- [52] Thakur, A.K., Kaviti, A.K., Mehra, R., Mer, K.K.S. (2017) Progress in Performance Analysis of Ethanol-Gasoline Blends on SI Engine, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 324-340.
- [53] Ghadikolaie, M.A. (2016) Effect of Alcohol Blend and Fumigation on Regulated and Unregulated Emissions of IC Engines—A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1440-1495.
- [54] Thangavelu, S.K., Ahmed, A.S., Ani, F.N. (2016) Review on Bioethanol as Alternative Fuel for Spark Ignition Engines, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 820-835.
- [55] Mokhtar, A., Atan, N., Rahman, N., Khalid, A. (2015) Review of Performance and Emissions Characteristics of Bio Additive Fuel on SI Engine Fuelled by Biopetrol, *Applied Mechanics and Materials*, 773-774, , 430-434.
- [56] Manzetti, S., Andersen, O. (2015) A Review of Emission Products from Bioethanol and Its Blends With Gasoline. Background for New Guidelines for Emission Control, *Fuel*, 140, 293–301.
- [57] Deng, X., Chen, Z., Wang, X., Zhen, H., Xie, R. (2018) Exhaust Noise, Performance and Emission Characteristics of Spark Ignition Engine Fuelled with Pure Gasoline and Hydrous Ethanol Gasoline Blends, *Case Studies in Thermal Engineering*, 12, 55-63.
- [58] Yusoff, M.N.A.M., Zulkifli, N.W.M., Masjuki, M.H., Harith, M.H., Syahir, A.Z., Khuong, L.S., Zaharin, M.S.M., Alabdulkarem, A. (2018) Comparative Assessment of Ethanol and Isobutanol Addition in Gasoline on Engine Performance and Exhaust Emissions, *Journal of Cleaner Production*, 190, 483-495.
- [59] Elfasakhany, A., (2018) Exhaust Emissions and Performance of Ternary iso-Butanol, Biomethanol, Gasoline and n-Butanol, Bio-Ethanol, Gasoline Fuel Blends in Spark-Ignition Engines: Assessment and Comparison, *Energy*, 158, 830-844.
- [60] Gupta, P., Das, P.P., Mubarak, M., Shaija, A., (2018) Performance and Emission Analysis of Single Cylinder SI Engine Using Bioethanol-Gasoline Blend Produced from

Salvinia Molesta, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 297, 1-8.

[61] Abikusna, S., Sugiarto, B., Monasari, R., Aditya, R., Hendrawan, D., (2018) Performance Analysis (WHP And Torque) on SI Engine Fueled with Low-Grade Bioethanol and Oxygenated Fuel Additive, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 105, 1-7.

[62] Li, Y., Gong, J., Deng, Y., Yuan, W., Fu, J., Zhang, B. (2017) Experimental Comparative Study on Combustion, Performance and Emissions Characteristics of Methanol, Ethanol and Butanol in a Spark Ignition Engine, Applied Thermal Engineering, 115, 53–63.

[63] Akansu, S.O., Tangöz, S., Kahraman, N., İlhak, M.İ., Açıkgöz, S. (2017) Experimental Study of Gasoline-Ethanol-Hydrogen Blends Combustion in an SI Engine, International Journal of Hydrogen Energy, 42, 25781-25790.

[64] Doğan, B., Erol, D., Yaman, H., Kodanlı, E. (2017) The Effect of Ethanol-Gasoline Blends on Performance and Exhaust Emissions of a Spark Ignition Engine Through Exergy Analysis, Applied Thermal Engineering, 120, 433–443.

[65] Elfasakhany, A. (2017) Investigations on Performance and Pollutant Emissions of Spark-Ignition Engines Fueled with n-Butanol–, Isobutanol–, Ethanol–, Methanol–, And Acetone–Gasoline Blends: A Comparative Study, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 71, 404–413.

[66] Elfasakhany, A. (2016) Engine Performance Evaluation and Pollutant Emissions Analysis Using Ternary Bio-Ethanol-Iso-Butanol-Gasoline Blends in Gasoline Engines, Journal of Cleaner Production, 139, 1057-1067.

[67] Renzi, M., Bietresato, M., Mazzetto, F. (2016) An Experimental Evaluation of the Performance of a SI Internal Combustion Engine for Agricultural Purposes Fuelled with Different Bioethanol Blends, Energy, 115, 1069-1080.

[68] Elfasakhany, A. (2016) Experimental Study of Dual n-Butanol and iso-Butanol Additives on Spark-Ignition Engine Performance and Emissions, Fuel, 163, 166–174.

- [69] Galloni, E., Fontana, G., Staccone, S., Scala, F. (2016) Performance Analyses of a Spark-Ignition Engine Firing with Gasoline–Butanol Blends at Partial Load Operation, *Energy Conversion and Management*, 110, 319–326.
- [70] Phuangwongtrakul, S., Wechsato, W., Sethaput, T., Suktang, K., Wongwiset, S. (2016) Experimental Study on Sparking Ignition Engine Performance for Optimal Mixing Ratio of Ethanol–Gasoline Blended Fuels, *Applied Thermal Engineering*, 100, 869–879.
- [71] Balki, M.K., Sayın, C., Sarıkaya, M. (2016) Optimization of the Operating Parameters Based on Taguchi Method in a SI Engine Used Pure Gasoline, Ethanol And Methanol, *Fuel*, 180, 630–637.
- [72] Elfakhany, A., Mahrous, A. (2016) Performance and Emissions Assessment of n-Butanol–Methanol–Gasoline Blends as a Fuel in Spark-Ignition Engines, *Alexandria Engineering Journal*, 55, 3015–3024.
- [73] Elfakhany, A. (2016) Performance and Emissions of Spark-Ignition Engine Using Ethanol–Methanol–Gasoline, n-Butanol–iso-Butanol–Gasoline and iso-Butanol–Ethanol–Gasoline Blends: A Comparative Study, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19, 2053–2059.
- [74] Balki, M.K., Sayın, C. (2015) Saf Metanolün Kullanıldığı Buji Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranının Performans, Yanma Karakteristiği ve Emisyonlar Üzerine Etkisi, *Electronic Journal of Machine Technologies*, 12 (3), 73-85.
- [75] Najafi, G., Ghobadian, B., Yusaf, T., Ardebili, S.M.S., Mamat, R. (2015) Optimization of Performance and Exhaust Emission Parameters of a SI (Spark Ignition) Engine with Gasoline-Ethanol Blended Fuels Using Response Surface Methodology, *Energy*, 90, 1815-1829.
- [76] Wang, Z., Liu, H., Long, Y., Wang, J., He, X. (2015) Comparative Study on Alcohols-Gasoline and Gasoline-Alcohols Dual-Fuel Spark Ignition (DFI) Combustion for High Load Extension and High Fuel Efficiency, *Energy*, 82, 395-405.
- [77] Sayın, C., Balki, M.K. (2015) Effect of Compression Ratio on the Emission,

Performance and Combustion Characteristics of a Gasoline Engine Fueled with iso-Butanol/Gasoline Blends, *Energy*, 82, 550-555.

[78] Masum, B.M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A. Palash, S.M., Habibullah, M. (2015) Effect of Alcohol-Gasoline Blends Optimization on Fuel Properties, Performance and Emissions of a SI Engine, *Journal of Cleaner Production*, 86, 230-237.

[79] Elfasakhany, A., (2015) Investigations on the Effects of Ethanol-Methanol-Gasoline Blends in a Spark-Ignition Engine: Performance and Emissions Analysis, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 18, 713-719.

[80] Balki, M.K., Sayın, C., Çanakçı, M. (2014) The Effect of Different Alcohol Fuels on the Performance, Emission and Combustion Characteristics of a Gasoline Engine, *Fuel*, 115, 901–906.

[81] Elfasakhany, A. (2014) Experimental Study on Emissions and Performance of an Internal Combustion Engine Fueled with Gasoline and Gasoline/n-Butanol Blends, *Energy Conversion and Management*, 88, 277–283.

[82] Agarwal, A.K., Karare, H., Dhar, A. (2014) Combustion, Performance, Emissions and Particulate Characterization of a Methanol–Gasoline Blend (Gasohol) Fuelled Medium Duty Spark Ignition Transportation Engine, *Fuel Processing Technology*, 121, 16–24.

[83] Balki, M.K., Sayın, C. (2014) The Effect of Compression Ratio on the Performance, Emissions And Combustion of An SI (Spark Ignition) Engine Fueled with Pure Ethanol, Methanol and Unleaded Gasoline, *Energy*, 71, 194-201.

[84] Masum, B.M., Kalam, M.A., Masjuki, H.H., Palash, S.M., Fattah, I.M.R. (2014) Performance and Emission Analysis of a Multi Cylinder Gasoline Engine Operating at Different Alcohol–Gasoline Blends, *RSC Advances*, 4, 27898-27904.

[85] Feng, R., Yang, J., Zhang, D., Deng, B., Fu, J., Liu, J., Liu, X. (2013) Experimental Study on SI Engine Fuelled with Butanol–Gasoline Blend and H₂O Addition, *Energy Conversion and Management*, 74, 192–200.

- [86] Kyriakides, A., Dimas, V., Lymperopoulou, E., Karonis, D., Lois, E., (2013) Evaluation of Gasoline–Ethanol–Water Ternary Mixtures Used as a Fuel For an Otto Engine, *Fuel*, 108, 208–215.
- [87] Irimescu, A., (2012) Performance and Fuel Conversion Efficiency of a Spark Ignition Engine Fueled with iso-Butanol, *Applied Energy*, 96, 477–483.
- [88] Farkade, H.S., Pathre, A.P. (2012) Experimental Investigation of Methanol, Ethanol and Butanol Blends with Gasoline on SI Engine, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2 (4), 205-215.
- [89] Çelik, B., Özdalyan, B., Alkan, F. (2011) The Use of Pure Methanol as Fuel at High Compression Ratio in a Single Cylinder Gasoline Engine, *Fuel*, 90, 1591–1598.
- [90] Ozsezen, A.N., Çanakçı, M. (2011) Performance and Combustion Characteristics of Alcohol-Gasoline Blends at Wide-Open Throttle, *Energy*, 36, 2747-2752.
- [91] Costa, R.C., Sodré, J.R. (2011) Compression Ratio Effects on an Ethanol/Gasoline Fuelled Engine Performance, *Applied Thermal Engineering*, 31, 278-283.
- [92] Costa, R.C., Sodré, J.R. (2010) Hydrous Ethanol vs. Gasoline-Ethanol Blend: Engine Performance and Emissions, *Fuel*, 89, 287–293.
- [93] Eyidoğan, M., Ozsezen, A.N., Canakci, M., Turkcan, A. (2010) Impact of Alcohol–Gasoline Fuel Blends on the Performance and Combustion Characteristics of an SI Engine, *Fuel*, 89, 2713–2720.
- [94] Pourkhesalian, A.M., Shamekhi, A.H., Salimi, F. (2010) Alternative Fuel and Gasoline in an SI Engine: A Comparative Study of Performance and Emissions Characteristics, *Fuel*, 89, 1056–1063.
- [95] Najafi, G., Ghobadian, B., Tavakoli, T., Buttsworth, D.R., Yusaf, T.F., Faizollahnejad, M. (2009) Performance and Exhaust Emissions of a Gasoline Engine with Ethanol Blended Gasoline Fuels Using Artificial Neural Network, *Applied Energy*, 86, 630–639.

- [96] Koç, M., Sekmen, Y., Topgül, T., Yücesu, H.S. (2009) The Effects of Ethanol–Unleaded Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Spark-Ignition Engine, *Renewable Energy*, 34, 2101–2106.
- [97] Mallikarjun, M.V., Mamilla, V.R. (2009) Experimental Study of Exhaust Emissions & Performance Analysis of Multi Cylinder S.I.Engine When Methanol Used as an Additive, *International Journal of Electronic Engineering Research*, 1 (3), 201–212.
- [98] Bilgin, A., Sezer, İ. (2008) Effects of Methanol Addition to Gasoline on the Performance and Fuel Cost of a Spark Ignition Engine, *Energy & Fuels*, 22, 2782–2788.
- [99] Yücesu, H.S., Sozen, A., Topgül, T., Arcaklioğlu, E. (2007) Comparative Study of Mathematical and Experimental Analysis of Spark Ignition Engine Performance Used Ethanol–Gasoline Blend Fuel, *Applied Thermal Engineering*, 27, 358–368.
- [100] Yüksel, F., Yüksel, B. (2004) The Use of Ethanol–Gasoline Blend as a Fuel in an SI Engine, *Renewable Energy*, 29, 1181–1191.
- [101] Hsieh, W., Chen, R., Wu, T., Lin, T. (2002) Engine Performance and Pollutant Emission of an SI Engine Using Ethanol–Gasoline Blended Fuels, *Atmospheric Environment*, 36, 403–410.
- [102] Thomas, R., Sreesankaran, M., Jaidi, J., Paul, D.M., Manjunath, P. (2016) Experimental Evaluation of the Effect of compression Ratio on Performance and Emission of SI Engine Fuelled with Gasoline and n-Butanol Blend at Different Loads, *Perspectives in Science*, 8, 743–746.
- [103] Canakci, M., Ozsezen, A.N., Alptekin, E., Eyidogan, M. (2013) Impact of Alcohol-Gasoline Fuel Blends on the Exhaust Emission of an SI Engine, *Renewable Energy*, 52, 111-117.
- [104] Sivasubramanian, H., Pochareddy, Y.K., Dhamodaran, G., Esakkimuthu, G.S. (2017) Performance, Emission and Combustion Characteristics of a Branched Higher Mass, C3 Alcohol (Isopropanol) Blends Fuelled Medium Duty MPFI SI Engine, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20, 528–535.

- [105] Gu, X., Huang, Z., Cai, J., Gong, J., Wu, X., Lee, C. (2012) Emission Characteristics of a Spark-Ignition Engine Fuelled with Gasoline-n-Butanol Blends in Combination with EGR, *Fuel*, 93, 611–617.
- [106] Hasan, A.O., Al-Rawashdeh, H., Al-Muhtaseb, A.H., Abu-jrai, A., Ahmad, R., Zeaiter, J. (2018) Impact of Changing Combustion Chamber Geometry on Emissions, and Combustion Characteristics of a Single Cylinder SI (Spark Ignition) Engine Fueled with Ethanol/Gasoline Blends, *Fuel*, 231, 197–203.
- [107] Ceviz, M.A. , Yuksel, F. (2005) Effects of Ethanol–Unleaded Gasoline Blends on Cyclic Variability and Emissions in an SI Engine, *Applied Thermal Engineering*, 25, 917–925.
- [108] Schifter, I., Diaz, L., Rodriguez, R., Gómez, J.P., Gonzalez, U. (2011) Combustion and Emissions Behavior for Ethanol–Gasoline Blends in a Single Cylinder Engine, *Fuel* 90, 3586–3592.
- [109] Liu, K., Li, Y., Yang, J., Deng, B., Feng, R., Huang, Y. (2018) Comprehensive Study of Key Operating Parameters on Combustion Characteristics of Butanol-Gasoline Blends in a High Speed SI Engine, *Applied Energy*, 212, 13-32.
- [110] Feng, D., Wei, H., Pan, M., Zhou, L., Hua, J. (2018) Combustion Performance of Dual-Injection Using n-Butanol Direct-Injection and Gasoline Port Fuel-Injection in a SI Engine, *Energy*, 160, 573-581.

EKLER

EK 1-Tablo 1. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımı ile performans parametrelerinin saf benzine kıyasla değişimi

YAZAN	Kullanılan Karışımlar	Motor Özellikleri	Çalışma Koşulları	PERFORMANS PARAMETRELERİ					Kaynak
				Termal Verim (TV)	Tork (T)	Efektif Güç (EG)	Volumetrik Verim (VV)	Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)	
Deng vd.	E0 ,E10W, E20W (Hacimce %5 oranında su içerir)	4 silindirli benzinli bir motor	Tam yükte 1500-5000 d/d	•E10W ile TV %1▲ •E20W ile TV %3▲	•E10W ile T %3,5▲ •E20W ile T %1,5▲	•E10W ile EG %3,6▲ •E20W ile EG %1,8▲	-	•E10W ve E20W ile ÖYT %3,7▲	[57]
Yusoff vd.	Saf benzin (SB), E10, E20, iB10, iB20, E5iB5, E10iB10,	4 silindirli benzinli bir motor	1000-5000 d/d	•E10 ile TV %8,01▲ •E20 ile TV %13,61▲ •iB10 ile TV %5,54▲ •iB20 ile TV %6,45▲ •E5iB5 ile TV %7,97▲ •E10iB10 ile TV %8,35▲	•E10 ile T %2,33▼ •E20 ile T %3,88▼ •iB10 ile T %2,56▼ •iB20 ile T %3,06▼ •E5iB5 ile T %1,06▼ •E10iB10 ile T %3,77▼	•E10 ile EG %1,64▲ •E20 ile EG %2,6▲ •iB10 ile EG %1,92▲ •iB20 ile EG %2,57▲ •E5iB5 ile EG %0,95▲ •E10iB10 ile EG %2,22▲	-	•E10 ile ÖYT %4▼ •E20 ile ÖYT %4,83▼ •iB10 ile ÖYT %3,19▼ •iB20 ile ÖYT %3,17▼ •E5iB5 ile ÖYT %3,48▼ •E10iB10 ile ÖYT %5,77▼	[58]

Elfasakhany	SB, iBM3, iBM7, iBM10, nBE3, nBE7, nBE10	Tek silindirli benzinli bir motor	2600-3400 d/d	-	•iBM ile T %0,5 ▼ •nBE ile T %2 ▼	•iBM3 ile EG %3,5 ▼ •iBM7 ile EG %2,8 ▼ •iBM10 ile EG %1,7 ▼ •nBE3 ile EG %7,89 ▼ •nBE7 ile EG %7,23 ▼ •nBE10 ile EG %6,57 ▼	•iBM ve nBE ile VV %2,5 ▼	-	[59]
Gupta vd.	E0, E5	Tek silindir ve 4-strok benzinli bir motor	3200 d/d motor devri ve 0-3 kW motor yükleri	•E5 ile TV %0,14 ▲	-	-	-	• E5 ile ÖYT %2 ▲	[60]
Abikusna vd.	E0, E5, E10, E15	Tek silindirli benzinli bir motor	4000-10000 d/d	-	•E5, E10, E15 ile T %8,3 ▲	•E5, E10, E15 ile EG %9 ▲	-	-	[61]

Li vd.	SB, M10, M30, M60, E10, E30 E60, B10, B30, B60	Tek silindirli benzinli bir motor	•1200 d/d motor devri •3 ve 5 bar fren ortalama efektif basınç	•M10 ile TV %1,95 ▼ •M30 ile TV %1,76 ▼ •M60 ile TV %0,93 ▼ •E10 ile TV %2,09 ▼ •E30 ile TV %1,35 ▼ •E60 ile TV %2,5 ▼ •B10 ile TV %2,16 ▼ •B30 ile TV %1,8 ▼ •B60 ile TV %0,76 ▼	-	-	-	•M10 ile ÖYT %8,28 ▲ •M30 ile ÖYT %22,87 ▲ •M60 ile ÖYT %51,75 ▲ •E10 ile ÖYT %6,51 ▲ •E30 ile ÖYT %15,36 ▲ •E60 ile ÖYT %34,39 ▲ •B10 ile ÖYT %4,96 ▲ •B30 ile ÖYT %10,29 ▲ •B60 ile ÖYT %18,32 ▲	[62]
Akansu vd.	E0, E20	4 silindirli benzinli bir motor	1500 ve 2500 d/d 'da %0-%100 farklı motor yükleri	•%50 motor yükünde E20 ile TV %5,8 ▼ •%100 motor yükünde E20 ile TV %1,6 ▼	-	•2500 d/d'da E20 ile EG %7 ▼	-	-	[63]

Doğan vd.	E0, E10, E20, E30	4 silindir, 4 strok benzinli bir motor	2000-4500 d/d	-	•E10 ile T %2 ▼ •E20 ile T %3 ▼ •E30 ile T %5 ▼	•E10 ile EG %3 ▼ •E20 ile EG %4,5 ▼ •E30 ile EG %5,3 ▼	-	•E10 ile ÖYT %2,67 ▲ •E20 ile ÖYT %3,57 ▲ •E30 ile ÖYT %5,8 ▲	[64]
Sharudin vd.	SB, M5, M5B5, M5B10, M5B15	4 silindirli benzinli bir motor	1000-2500 d/d	•M5 ile TV %0,3 ▲ •M5B5 ve M5B10 ile TV %0,4 ▲ •M5B15 ile TV %0,5 ▲	-	•M5 ile EG %3,9 ▲ •M5B5 ile EG %4,5 ▲ •M5B10 ile EG %9 ▲ •M5B15 ile EG %10,1 ▲	-	•M5 ile ÖYT %0,5 ▲ •M5B5 ile ÖYT %0,73 ▲ •M5B10 ile ÖYT %1,16 ▲ •M5B15 ile ÖYT %1,42 ▲	[30]
Elfasakhany	SB, E3, E7, E10, M3, M7, M10, nB3, nB7, nB10, iB3, iB7, iB10	Tek silindirli benzinli bir motor	2600 ve 3400 d/d	-	•2600 d/d'da E ile T %1,8 ▲, M ile %3,4 ▲, nB ile %0,2 ▼, iB ile %0,2 ▼ •3400 d/d'da E ile T %1,2 ▲, M ile %0,5 ▲, nB ile %1,6 ▼, iB ile %1,36 ▼	•2600 d/d'da E ile EG %2,4 ▲, M ile %1,8 ▲, nB ile %1,6 ▼, iB ile %0,8 ▼ •3400 d/d'da E ile EG %8,5 ▲, M ile %6,2 ▲, nB ile %3,6 ▼, iB ile %4,6 ▼	•2600 d/d'da E ile VV %28 ▲, M ile %35 ▲, nB ile %3,8 ▼, iB ile %4,1 ▼ •3400 d/d'da E ile %16 ▲, M ile %21 ▲, nB ile %2,6 ▼, iB ile %2,1 ▼	-	[65]

Elfasakhany	SB, iBE3, iBE7, iBE10	Tek silindir ve 4-stroklı benzinli bir motor	2600-3400 d/d	-	•iBE3 ile T %3,5 ▼ •iBE7 ile T %2,8 ▼ •iBE10 ile T %1,7 ▼	•iBE3 ile EG %6,4 ▼ •iBE7 ile EG %5,5 ▼ •iBE10 ile EG %3,8 ▼	•iBE3 ile VV %3,4 ▼ •iBE7 ile VV %2,7 ▼ •iBE10 ile VV %2 ▼	-	[66]
Renzi vd.	E0, E50, E80	4-stroklı benzinli bir motor	%50 ve %100 gaz kelebeği açıklıkları 2000-3000 d/d	•E50 ile TV %1 ▲ •E80 ile TV %2 ▼	•E50 ile T %2,9 ▼ •E80 ile T %3,9 ▼	•E50 ile EG %3,5 ▼ •E80 ile EG %5,35 ▼	•E50 ile VV %8 ▲ •E80 ile VV %15 ▲	•E50 ile ÖYT %18 ▲ •E80 ile ÖYT %40 ▲	[67]
Elfasakhany	SB, niB3, niB7, niB10	Tek silindir ve 4-stroklı benzinli bir motor	2600-3400 d/d	-	•niB3 ile T %3,6 ▼ •niB7 ile T %4 ▼ • niB10 ile T %2,1 ▼	•niB3 ile EG %5,9 ▼ •niB7 ile EG %7,2 ▼ • niB10 ile EG %4,6 ▼	•niB3 ile VV %2,9 ▼ •niB7 ile VV %3,1 ▼ • niB10 ile VV %2,6 ▼	-	[68]
Galloni vd.	B0, B20, B40	4 silindirli benzinli bir motor	Farklı ateşleme avansları	-	-	-	-	•B20 ile ÖYT %7,3 ▼ •B30 ile ÖYT %9,7 ▼	[69]

Phuangwongtrakul vd.	E10, E20, E30, E40, E50, E60, E70, E85, E100	4 silindirli benzinli bir motor	4 farklı gaz kelebeği açıklıkları ve 7 farklı motor devirleri	•Yüksek motor devirlerinde ve gaz kelebeğinin açıklığı arttıkça düşük E içerikli yakıtlar için TV ▲	•Gaz kelebeğinin tüm açıklık şartlarında 3500 d/d'nın altında yakıttaki E oranı arttıkça T ▲. 3500 d/d 'nın üstündeki devirlerde yakıttaki E oranı arttıkça T ▼	-	•Gaz kelebeğinin tüm açıklık şartlarında yakıttaki E oranı arttıkça VV ▲	•Gaz kelebeğinin tüm açıklık şartlarında yakıttaki E oranı arttıkça ÖYT ▲	[70]
Li vd.	SB, iPBE30	Tek silindirli benzinli bir motor	1200 d/d sabit devir, farklı yakıt fazlalık katsayıları ve 300 kPa ve 500 kPa fren ortalama efektif basınç koşulları	•iPBE30 ile TV %2,5 ▲	-	-	-	•iPBE30 ile ÖYT %7,1 ▲	[27]

Balki vd.	SB, M100, E100	Tek silindir ve 4-stroklı benzinli bir motor	•20°C ve 26°C ateşleme avansları •1600-3600 d/d •8,0/1 ve 9,0/1 S.O.	•M100 ile TV %1▲ •E100 ile TV %0,5▲	-	•M100 ile EG %12,25▲ •E100 ile EG %7,5▲	-	•M100 ile ÖYT %103,12▲ •E100 ile ÖYT %56,25▲	[71]
Elfasakhany ve Mahrous	SB, nBM3, nBM7, nBM10	Tek silindirli benzinli bir motor	2600-3400 d/d	-	•nBM3 ile T %3,83▼ •nBM7 ile T %3,19▼ •nBM10 ile T %2,55▼	•nBM3 ile EG %6,57▼ •nBM7 ile EG %5,92▼ •nBM10 ile EG %5,26▼	•nBM3 ile VV %2,36▼ •nBM7 ile VV %1,9▼ •nBM10 ile VV %1,1▼	-	[72]
Elfasakhany	SB, EM3, EM7, EM10, iBE3, iBE7, iBE10, niB3, niB7, niB10	Tek silindir ve 4-stroklı benzinli bir motor	2600 ve 3400 d/d	-	•2600 d/d'da EM ile T %1,2▲, iBE ile %1▼, niB ile %1,5▼ •3400 d/d'da EM ile T %3▲, iBE ile %2▼, niB ile %2,1▼	•2600 d/d'da EM ile EG %1,3▲, iBE ile %1,3▼, niB ile %1,9▼ •3400 d/d'da EM ile EG %9▲, iBE ile %5,5▼, niB ile %5,9▼	•2600 d/d'da EM ile VV %22▲, iBE ile %5▼, niB ile %5,3▼ •3400 d/d'da EM ile VV %14▲, iBE ile %4,7▼, niB ile %4,9▼	-	[73]

Balki ve Sayın	M0, M100	Tek silindirli benzinli bir motor	8,0/1, 8,5/1, 9,0/1 ve 9,5/1 farklı S.O.	-	-	-	-	•M100 ile ÖYT %80▲	[74]
Najafi vd.	E5, E7.5, E10, E12.5, E15	4 silindirli benzinli bir motor	1500-4000 d/d	-	•E oranı arttıkça T▲	•E oranı arttıkça EG▲	-	•E oranı arttıkça ÖYT▼	[75]
Wang vd.	SB, M, E	4 silindirli benzinli bir motor	Yakıttaki değişken metanol ve etanol oranları	-	-	-	-	•Yakıttaki M ve E oranı arttıkça ÖYT▼	[76]
Sayın ve Balki	SB, iB10, iB30, iB50	Tek silindir ve 4-stroklı benzinli bir motor	2600 d/d sabit devirde 9/1, 10/1 ve 11/1 farklı S.O.	•Tüm S.O.da yakıttaki iB oranı↑ TV↑	-	-	-	•iB10 ile ÖYT %2,64▲ •iB30 ile ÖYT %3,96▲ •iB50 ile ÖYT %4,84▲	[77]
Masum vd.	E0, E15	4 silindirli benzinli bir motor	1000-6000 d/d	•E15 ile TV %0,68▲	•E15 ile T %2,5▲	-	-	•E15 ile ÖYT %6,7▲	[78]
Elfasakhany	SB, M3, M7, M10, E3, E7, E10, EM3, EM7, EM10	Tek silindir ve 4-stroklı benzinli bir motor	•2600 d/d ve 3400 d/d •1,3 kW ve 1,6 kW motor yükleri	-	•E ile T %1,8▲ •M ile T %2▲ •EM ile T %1,7▲	•E ile EG %7▲ •M ve EM ile EG %5▲	•E ile VV %25▲ •M ile VV %33▲ •EM ile VV %27▲	-	[79]

Balki vd.	SB, M99, E99	Tek silindir ve 4-strokluk benzinli bir motor	1600-3600 d/d	•M99 ile TV %17▲ •E99 ile TV %8,5▲	•M99 ile T %4,7▲ •E99 ile T %3,7▲	-	-	•M99 ile ÖYT %84▲ •E99 ile ÖYT %56▲	[80]
Elfasakhany	SB, nB3, nB7, nB10	Tek silindirli benzinli bir motor	2600-3400 d/d	-	•nB3 ile T %0,5▼ •nB7 ile T %0,9▼ •nB10 ile T %1,3▼	•nB3 ile EG %2,64▼ •nB7 ile EG %4▼ •nB10 ile EG %7,3▼	•nB3 ile VV %1,5▼ •nB7 ile VV %2,5▼ •nB10 ile VV %3,8▼	-	[81]
Agarwal vd.	M0, M10, M20	4 silindirli benzinli bir motor	•1500 d/d, 2500 d/d ve 3500 d/d •0-8 bar fren ortalama efektif basınçları	•M10 ile TV %3▲ •M20 ile TV %6▲	-	-	-	•M10 ile ÖYT %3▲ •M20 ile ÖYT %14▲	[82]
Balki ve Sayın	SB, M99, E99	Tek silindir ve 4-strokluk benzinli bir motor	8,0/1, 8,5/1, 9,0/1 ve 9,5/1 farklı S.O.	•M99 ile TV %0,74▲ •E99 ile TV %0,49▲	-	-	-	-	[83]
Masum vd.	SB, M20, E20, P20, B20	4 silindirli benzinli bir motor	1000-6000 d/d	•M20 ile TV %3,6▲ •E20 ile TV %2,15▲ •P20 ile TV %0,7▲ •B20 ile TV %1,86▲	•M20 ile T %5,02▲ •E20 ile T %3,39▲ •P20 ile T %10▲ •B20 ile T %9,2▲	-	-	•M20 ile ÖYT %7,58▲ •E20 ile ÖYT %5,17▲ •P20 ile ÖYT %4,43▲ •B20 ile ÖYT %1,95▲	[84]

Farkade ve Pathre	Feng vd.	B0, B35	Tek silindir ve 4-stroklı benzinli bir motor	•Tam yükte 3500-9000 d/d •Kısmi yükte 6500-8500 rpm	-	•B35 ile T %1,2▲	-	-	-	[85]
	Irimescu	SB, iB50, iB100	-	1700-6000 d/d	-	-	•iB50, iB100 için EG değişmemiş.	-	-	[87]
		SB, M10, M20, M30, E10, E20, E30, B10, B20, B30	Tek silindirli benzinli bir motor	0 W-1400 W motor yükleri	•M10 ile TV %0,5▲ •M20 ile TV %1,5▼ •M30 ile TV %1,7▼ •E10 ile TV %2,8▲ •E20 ile TV %2,8▼ •E30 ile TV %8,5▼ •B10 ile TV değişmemiş •B20 ile TV %4▲ •B30 ile TV %4▼	-	-	-	•M10 ile YT %4▲ •M20 ile YT %10▲ •M30 ile YT %22▲ •E10 ile YT %1,6▼ •E20 ile YT %3,2▼ •E30 ile YT %4,8▼ •B10 ile YT %3,4▲ •B20 ile YT değişmemiş •B30 ile YT %20▲	[88]

Çelik vd.	M0, M100	Tek silindir ve 4-stroklı benzinli bir motor	•1500-3500 d/d •6/1, 8/1 ve 10/1 farklı sıkıştırma oranları	•6/1 S.O.da M100 ile TV %2,9▲ •8/1 S.O.da M100 ile TV %8,1▲ •10/1 S.O.da M100 ile TV %11,1▲	•6/1 S.O.da M100 ile T %8▼ •8/1 S.O.da M100 ile T %12▲ •10/1 S.O.da M100 ile T %14▲	•6/1 S.O.da M100 ile EG %8▼ •8/1 S.O.da M100 ile EG %11,6▲ •10/1 S.O.da M100 ile EG %16▲	-	•6/1 S.O.da M100 ile ÖYT %90▲	[89]
Ozsezen ve Çanakçı	SB, M5, M10, E5, E10	4 stroklı benzinli bir motor	40-100 km/h	-	-	•M5 ile EG %2,9▲ •M10 ile EG %0,3▼ •E5 ile EG %2,2▲ •E10 ile EG %1,1▲	-	•M5 ile ÖYT %3,4▲ •M10 ile ÖYT %5,5▲ •E5 ile ÖYT %5,2▲ •E10 ile ÖYT %5,5▲	[90]
Costa ve Sodré	E22, E100	4 silindirli benzinli bir motor	•1500 d/d-6500 d/d •10/1, 11/1 ve 12/1 farklı S.O.	•E oranı arttıkça TV▲	•E oranı arttıkça T▲	•E oranı arttıkça EG▲	-	•E oranı arttıkça ÖYT▲	[91]

Costa ve Sodré	E22, E100W (%6.8 oranında su bulunan etanol yakıt)	4 silindir ve 4 stroklu benzinli bir motor	1500-6500 d/d	•E100W ile E22'ye kıyasla TV %14,1▲	•E100W ile E22'ye kıyasla T %3,7▲	•E100W ile E22'ye kıyasla TV %3,7▲	-	•E100W ile E22'ye kıyasla ÖYT %54▲	[92]
Eyidoğan vd.	SB, M5, M10, E5, E10,	4 silindir ve 4 stroklu benzinli bir motor	80-100 km/h hız ve 5, 10, 15 ve 20 kW dört farklı motor yükleri	•80 km/h'de M5 ile TV %2,2▲ M10 ile %2,5▲ E5 ile %0,8▼ E10 ile %0,4▲ •100 km/h'de M5 ile TV %1,8▲ M10 ile %4,7▲ E5 ile %1,9▲ E10 ile %2,5▲	-	-	-	•M5 ile ÖYT %0,2▲ •M10 ile ÖYT %1,5▲ •E5 ile ÖYT %1,1▲ •E10 ile ÖYT %1,2▲	[93]
Pourkhesalian vd.	SB, M100, E100	4 silindir ve 4 stroklu benzinli motor	1500-6000 d/d	-	-	•M100 ile EG %13▼ •E100 ile EG %10▼	•M100 ile VV %5▼ •E100 ile VV %8▼	•M100 ile EG %91▲ •E100 ile EG %49▲	[94]

Najafi vd.	E0, E5, E10, E15, E20	4 silindir ve 4 stroklu benzinli motor	1000-5000 d/d	•E5 ile TV %3,2▲ •E10 ile TV %4,8▲ •E15 ile TV %6,5▲ •E20 ile TV %9,5▲	•E5 ile T %1,96▲ •E10 ile T %1,47▲ •E15 ile T %1,27▲ •E20 ile T %2,94▲	•E5 ile EG %0,48▲ •E10 ile EG %0,97▲ •E15 ile EG %1,46▲ •E20 ile EG %1,95▲	•E5 ile VV %2▲ •E10 ile VV %3▲ •E15 ile VV %6▲ •E20 ile VV %9▲	•E oranı arttıkça ÖYT▲	[95]
Koç vd.	E0, E50, E85	Tek silindir ve 4-stroklu benzinli bir motor	1500-5000 d/d ve farklı S.O. koşulları	-	•10/1 S.O.da E50 ile T %2▲ - E85 ile T %2,2▲ •11/1 S.O.da E50 ile T %2,3▲ - E85 ile T %2,8▲	-	-	•10/1 S.O.da E50 ile ÖYT %20,3▲ - E85 ile ÖYT %45,6▲ •11/1 S.O.da E50 ile ÖYT %16,1▲ - E85 ile ÖYT %36,4▲	[96]
Malikarjun ve Mamilla	M0, M3, M5, M10, M15	4 silindir ve 4 stroklu benzinli bir motor	Farklı efektif güçler (EG)	•M3 ile TV % 8▲ •M5 ile TV %22,72▲ •M10 ile TV %28,57▲ •M20 ile TV %42,1▲	-	-	-	•M3 ile ÖYT %4▼ •M5 ile ÖYT %6▼ •M10 ile ÖYT %23▼ •M20 ile ÖYT %37▼	[97]

Bilgin ve Sezer	M0, M5, M10, M15, M20	4 stroklu benzinli bir motor	900-1600 d/d	•M5 ile TV %1,5▲ •M10 ile TV %2,5▲ •M15 ile TV %3,4▲ •M20 ile TV %3,9▲	-	-	-	-	[98]
Yücesu vd.	E0, E10, E20, E40, E60	Tek silindir ve 4-stroklu benzinli bir motor	•10-36° farklı ateşleme avansları •0,8'den 1,2'ye kadar değişen farklı HYO •8/1 ve 10/1 S.O.	-	•E10 ile T %6,2▲ •E20 ile T %9▲ •E40 ile T %12▲ •E60 ile T %3▲	-	-	•E10 ile ÖYT %0,7▲ •E20 ile ÖYT %1,36▲ •E40 ile ÖYT %3,8▲ •E60 ile ÖYT %5,2▲	[99]
Yüksel ve Yüksel	E0, E60	4 silindirli benzinli bir motor	•Rölanti hız-maks. hız •%25, %50, %75 ve %100'lük gaz keleşliği açıklıkları	-	•E60 ile T %10,5▼	•E60 ile EG %9,5▼	-	•E60 ile ÖYT %20▲	[100]

Hsieh vd.	E0, E5, E10, E20, E30	Çok nokta enjeksiyonlu benzin motoru	•1000-4000 d/d •%0,%20, %40,%60, %80 ve %100'lük gaz keleşliği açıklıkları	-	•E5 ile T %1,5 ▲ •E10 ile T %2,4 ▲ •E20 ile T %3 ▲ •E30 ile T %4 ▲	-	-	•E5, E10, E20 ve E30 ile ÖYT değişmemiş	[101]
Thomas vd.	B0, B20	Tek silindirli benzinli bir motor	•7/1, 8,5/1 ve 10/1 farklı S.O. •0-3 kW efektif güçleri	•B20 ile TV %4 ▲	-	-	-	-	[102]
Çanakçı vd.	SB, M5, M10, E5, E10	4 stroklu benzinli bir motor	•5-10-15 ve 20 kW farklı motor güçleri •80-100 km/h	-	-	-	-	•80 km/h'de ÖYT M5 ile %0,6 ▲ M10 ile %3,3 ▲ E5 ile %2,8 ▲ E10 ile %3,6 ▲ •100 km/h'de ÖYT M5 ile %1,1 ▲ M10 ile %1,2 ▲ E5 ile %0,2 ▲ E10 ile %1,5 ▲	[103]

Sivasubramanian vd.	SB, iP10, iP20, iP30	4 silindirli ve 4 stroklu, çok nokta enjeksiyonlu benzinli motor	1400-2800 d/d	•1400 d/d'da TV iP10 ile %10,3▲ - iP20 ile %21,01▲ - iP30 ile %29,95▲ •2800 d/d'da TV iP10 ile %8,05▲ - iP20 ile %14,5▲ - iP30 ile %19,6▲	-	-	-	-	[104]
Gu vd.	B0, B10, B30, B40, B100	3 silindirli port yakıt enjeksiyonlu benzinli motor	•3000 d/d sabit motor devrinde üç farklı motor yükleri (düşük, kısmî ve tam yük) •5°-40°CA ateşleme avansları	-	•B10 ile T %1,8▼ •B30 ile T %2,1▼ •B40 ile T %3,3▼ •B100 ile T %4,7▼	-	-	•B10 ile ÖYT %7,69▲ •B30 ile ÖYT %34,61▲ •B40 ile ÖYT %23,07▲ •B100 ile ÖYT %46,15▲	[105]
Hasan vd.	E0, E10, E20	Tek silindir ve 4-stroklu benzinli bir motor	4/1, 5,5/1, 7/1, 8,5/1, 10/1 farklı S.O.	•E10 ile TV %12▲ •E20 ile TV %16▲	-	-	-	•E10 ile ÖYT %90▲ •E20 ile ÖYT %130▲	[106]

EK 2-Tablo 1. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımı ile emisyon değerlerinin saf benzine kıyasla değişimi

YAZAN	Kullanılan Karışımlar	Motor Özellikleri	Çalışma Koşulları	EMİSYON DEĞERLERİ				Kaynak
				Hidrokarbon (HC)	Karbonmonoksit (CO)	Karbondioksit (CO ₂)	Azot Oksit (NO _x)	
Deng vd.	E0 ,E10W, E20W (Hacimce %5 su içerir)	4 silindirli benzinli bir motor	1500-5000 d/d	•E10W ile HC %17▼ •E20W ile HC %11,8▼	•E10W ile CO %23▼ •E20W ile CO %33,3▼	-	•E10W ile NO _x %65,5▲ •E20W ile NO _x %100▲	[57]
Yusoff vd.	SB, E10, E20, iB10, iB20, E5iB5, E10iB10	4 silindirli benzinli bir motor	•1000-5000 d/d •20-100 Nm	•E10 ile HC %21,31▼ •E20 ile HC %44,39▼ •iB10 ile HC %25,24▼ •iB20 ile HC %34,87▼ •E5iB5 ile HC %55,06▼ •E10iB10 ile HC %31,49▼	•E10 ile CO %10,29▼ •E20 ile CO %12,2▼ •iB10 ile CO %6,82▼ •iB20 ile CO %9,21▼ •E5iB5 ile CO %6,35▼ •E10iB10 ile CO %11,21▼	•E10 ile CO ₂ %4,25▲ •E20 ile CO ₂ %8,41▲ •iB10 ile CO ₂ %6,96▲ •iB20 ile CO ₂ %7,27▲ •E5iB5 ile CO ₂ %3,44▲ •E10iB10 ile CO ₂ %10,67▲	•E10 ile NO _x %19,56▲ •E20 ile NO _x %34,56▲ •iB10 ile NO _x %19,04▲ •iB20 ile NO _x %20,30▲ •E5iB5 ile NO _x %22,07▲ •E10iB10 ile NO _x %16,37▲	[58]

Elfasakhany	SB, iBM3, iBM7, iBM10, nBE3, nBE7, nBE10	Tek silindirli benzinli bir motor	2600-3400 d/d	•iBM3 ile HC %30 ▼ •iBM7 ile HC %32 ▼ •iBM10 ile HC %34 ▼ •nBE3 ile HC %15 ▼ •nBE7 ile HC %17 ▼ •nBE10 ile HC %19 ▼	•iBM3 ile CO %29 ▼ •iBM7 ile CO %31 ▼ •iBM10 ile CO %33 ▼ •nBE3 ile CO %16 ▼ •nBE7 ile CO %18 ▼ •nBE10 ile CO %21 ▼	•iBM3 ile CO ₂ %21,9 ▼ •iBM7 ile CO ₂ %18,5 ▼ •iBM10 ile CO ₂ %16,7 ▼ •nBE3 ile CO ₂ %29,9 ▼ •nBE7 ile CO ₂ %26,5 ▼ •nBE10 ile CO ₂ %24,7 ▼	-	[59]
Gupta vd.	E0, E5	Tek silindir ve 4-stroklı benzinli bir motor	3200 d/d sabit hız ve 0-3 kW motor yükleri	•E5 ile HC %23,2 ▼	•E5 ile CO %1,23 ▼	•E5 ile CO ₂ %0,52 ▲	•E5 ile NO _x %25 ▲	[60]

Li vd.	SB, M10, M30, M60, E10, E30, E60, B10, B30, B60	Tek silindirli benzinli bir motor	1200 d/d'da 3-5 bar fren ortalama efektif basınç	•M10 ile HC %22,4▲ •M30 ile HC %2,31▲ •M60 ile HC %13,01▲ •E10 ile HC %10,98▼ •E30 ile HC %16,47▼ •E60 ile HC %50,03▼ •B10 ile HC %1,45▼ •B30 ile HC %13,29▼ •B60 ile HC %8,67▼	•M10 ile CO %52▲ •M30 ile CO %0,125▲ •M60 ile CO %22▲ •E10 ile CO %48▲ •E30 ile CO %34▲ •E60 ile CO %88▲ •B10 ile CO %12▲ •B30 ile CO %8▼ •B60 ile CO %20▲	-	•M10 ile NO _x %16,47▼ •M30 ile NO _x %6,99▼ •M60 ile NO _x %18,56▼ •E10 ile NO _x %3,14▼ •E30 ile NO _x %4,9▼ •E60 ile NO _x %12,09▼ •B10 ile NO _x %1,96▲ •B30 ile NO _x %6,67▼ •B60 ile NO _x %1,76▼	[62]
Akansu vd.	E0, E20	4 silindirli benzinli bir motor	1500 d/d'da ve 2500 d/d'da %0-100 motor yükleri	•E20 ile HC %9,8▼	•E20 ile CO %5▲	-	•E20 ile NO _x %10▼	[63]
Doğan vd.	E0, E10, E20, E30	4 silindir, 4 strok benzinli bir motor	2000-4500 d/d	•E10 ile HC %1,7▲ •E20 ile HC %3,4▲ •E30 ile HC %5▲	•E10 ile CO %5▼ •E20 ile CO %3▼ •E30 ile CO %2▼	•E10 ile CO ₂ %1,3▼ •E20 ile CO ₂ %2,9▼ •E30 ile CO ₂ %3,2▼	•E10 ile NO _x %12,2▼ •E20 ile NO _x %23,1▼ •E30 ile NO _x %30,5▼	[64]

Sharudin vd.	SB, M5, M5B5, M5B10, M5B15	4 silindirli benzinli bir motor	1000-2500 d/d	•M5 ile HC %0,5 ▼ •M5B5 ile HC %1,5 ▼ •M5B10 ile HC %1 ▼ •M5B15 ile HC %2 ▼	•M5 ile CO %1,93 ▼ •M5B5 ile CO %3,93 ▼ •M5B10 ile CO %5,59 ▼ •M5B15 ile CO %7,34 ▼	•M5 ile CO₂ %0,4 ▲ •M5B5 ile CO₂ %0,5 ▲ •M5B10 ile CO₂ %0,8 ▲ •M5B15 ile CO₂ %1 ▲	•M5 ile NO_x %10 ▲ •M5B5 ile NO_x %20,7 ▲ •M5B10 ile NO_x %34 ▲ •M5B15 ile NO_x %44 ▲	[30]
Elfasakhany	SB, E3, E7, E10, M3, M7, M10, nB3, nB7, nB10, iB3, iB7, iB10	Tek silindirli benzinli bir motor	2600-3400 d/d	•E ile HC %7,8 ▼ •M ile HC %13,4 ▼ •nB ile HC %15,1 ▼ •iB ile HC %18,8 ▼	•2600 d/d'da CO E ile %7 ▼, M ile %17 ▼, nB ile %33 ▼, iB ile %32 ▼ •3400 d/d'da CO E ile %31 ▼, M ile %51 ▼, nB ile %10 ▲, iB ile %5 ▲	•E3 ile CO₂ %2,5 ▲ •E7 ile %4 ▲ •E10 ile %9 ▲ •M3 ile %3,9 ▲ •M7 ile %10 ▲ •M10 ile %12 ▲ •nB3 ile %35 ▼ •nB7 ile %33,5 ▼ •nB10 ile %31 ▼ •iB3 ile %34,5 ▼ •iB7 ile %34,5 ▼ •iB10 ile %36 ▼	-	[65]

Elfasakhany	SB, iBE3, iBE7, iBE10	Tek silindir ve 4-stroklu benzinli bir motor	2600-3400 d/d	•iBE3 ile HC %11,7 ▼ •iBE7 ile HC %15,5 ▼ •iBE10 ile HC %18,9 ▼	•iBE3 ile CO %16 ▼ •iBE7 ile CO %20 ▼ •iBE10 ile CO %26 ▼	•iBE3 ile CO ₂ %37 ▼ •iBE7 ile CO ₂ %35 ▼ •iBE10 ile CO ₂ %32 ▼	-	[66]
Renzi vd.	E0, E50, E80	4 stroklu benzinli bir motor	%50 ve %100 gaz kelebeği açıklıkları 2000-3000 d/d	•E50 ile HC %26,2 ▼ •E80 ile HC %27,4 ▼	•E50 ile CO %1 ▲ •E80 ile CO %1,5 ▲	-	•E50 ile NO _x %54 ▼ •E80 ile NO _x %72 ▼	[67]
Elfasakhany	SB, niB3, niB7, niB10	Tek silindir ve 4-stroklu benzinli bir motor	2600-3400 d/d	•niB3 ile HC %8,2 ▼ •niB7 ile HC %12 ▼ •niB10 ile HC %15 ▼	•niB3 ile CO %2,9 ▼ •niB7 ile CO %4,3 ▼ •niB10 ile CO %5,7 ▼	•niB3 ile CO ₂ %42 ▼ •niB7 ile CO ₂ %41 ▼ •niB10 ile CO ₂ %39 ▼	-	[68]
Galloni vd.	B0, B20, B40	4 silindirli benzinli bir motor	0,7-1,3 HFK	•B20 ve B40 ile HC değişmemiş	•B20 ve B40 ile CO değişmemiş	•B20 ile CO ₂ %4 ▲ •B40 ile CO ₂ %7,2 ▲	•B20 ile NO _x %10 ▼ •B40 ile NO _x %5 ▲	[69]

Li vd.	SB, iPBE30	Tek silindirli benzinli bir motor	1200 d/d, farklı yakıt fazlalık katsayıları, 300 kPa ve 500 kPa fren ortalama efektif basınç	•iPBE30 ile HC %17,7 ▼	•iPBE30 ile CO değişmemiş	-	•iPBE30 ile NO _x %11 ▼	[27]
Balki vd.	SB, M100, E100	Tek silindir ve 4-stroklı benzinli bir motor	•20° ve 26°CA ateşleme avansları •1600-3600 d/d •8,0/1 ve 9,0/1 farklı S.O.	•M100 ile HC %2 ▼ •E100 ile HC %10 ▼	•M100 ile CO %3 ▼ •E100 ile CO %11 ▲	•M100 ile CO ₂ %1 ▼ •E100 ile CO ₂ %2 ▼	•M100 ile NO %25 ▲ •E100 ile NO %23 ▲	[71]
Elfasakhany ve Mahrous	SB, nBM3, nBM7, nBM10	Tek silindirli benzinli bir motor	2600-3400 d/d	•nBM3 ile HC %0,3 ▲ •nBM7 ile HC %0,2 ▲ •nBM10 ile HC %0,1 ▲	•nBM3 ile CO %3,2 ▲ •nBM7 ile CO %2,9 ▲ •nBM10 ile CO %2,8 ▲	•nBM3 ile CO ₂ %1,5 ▼ •nBM7 ile CO ₂ %1,2 ▼ •nBM10 ile CO ₂ %1 ▼	-	[72]

Elfasakhany	SB, EM3, EM7, EM10, iBE3, iBE7, iBE10, niB3, niB7, niB10	Tek silindir ve 4-strokluk benzinli bir motor	2600-3400 d/d	•EM ile HC %13,32 ▼ •iBE ile HC %7,83 ▼ •niB ile HC %6,33 ▼	•EM ile CO %21 ▼ •iBE ile CO %14 ▼ •niB ile CO %5 ▼	•EM ile CO ₂ %6 ▲ •iBE ile CO ₂ %14 ▼ •niB ile CO ₂ %18 ▼	-	[73]
Balki ve Sayın	M0, M100	Tek silindirli benzinli bir motor	8,0/1, 8,5/1, 9,0/1 ve 9,5/1 farklı S.O.	•8,0/1 S.O.'da M100 ile HC %20,37 ▼ •8,5/1 S.O.'da M100 ile HC %40,12 ▼ •9,0/1 S.O.'da M100 ile HC %14,81 ▼ •9,5/1 S.O.'da M100 ile HC %2,47 ▼	-	•8,0/1 S.O.'da M100 ile CO ₂ %60 ▼ •8,5/1 S.O.'da M100 ile CO ₂ %43 ▼ •9,0/1 S.O.'da M100 ile CO ₂ %17,6 ▼ •9,5/1 S.O.'da M100 ile CO ₂ %20 ▼	•8,0/1 S.O.'da M100 ile NO _x %120 ▼ •8,5/1 S.O.'da M100 ile NO _x %87,5 ▼ •9,0/1 S.O.'da M100 ile NO _x %36 ▼ •9,5/1 S.O.'da M100 ile NO _x %65 ▼	[74]
Najafi vd.	E5, E7.5, E10, E12.5, E15	4 silindirli benzinli bir motor	1500-4000 d/d	•E oranı arttıkça HC ▼	•E oranı arttıkça CO ▼	•E oranı arttıkça CO ₂ ▲	•E oranı arttıkça NO _x ▲	[75]

Sayın ve Balki Masum vd. Elfasakhany	SB, iB10, iB30, iB50	Tek silindir ve 4-stroklu benzinli bir motor	2600 d/d sabit devirde 9/1, 10/1 ve 11/1 farklı S.O.	•iB10 ile HC %4 ▼ •iB30 ile HC %10 ▼ •iB50 ile HC %19 ▼	•iB10 ile CO %1,78 ▼ •iB30 ile CO %6,25 ▼ •iB50 ile CO %13,4 ▼	•iB10 ile CO ₂ %2,43 ▲ •iB30 ile CO ₂ %7,3 ▲ •iB50 ile CO ₂ %12,2 ▲	-	[77]
	E0, E15	4 silindirli benzinli bir motor	1000-6000 d/d	•E15 ile HC %4,5 ▼	•E15 ile CO %4,46 ▼	-	• E15 ile NO _x %36,9 ▲	[78]
	SB, M3, M7, M10, E3, E7, E10, EM3, EM7, EM10	Tek silindir ve 4-stroklu benzinli bir motor	•2600 d/d ve 3400 d/d motor devirleri •1,3 kW ve 1,6 kW motor yükleri	•M3 ile HC %3,42 ▼ •M7 ile %14,86 ▼ •M10 ile %2,44 ▼ •E3 ile %22,11 ▼ •E7 ile %17,46 ▼ •E10 ile %27,32 ▼ •EM3 ile %13,26 ▼ •EM7 ile %18,49 ▼ •EM10 ile %14,12 ▼	•M3 ile CO %17,7 ▼ •M7 ile %51,1 ▼ •M10 ile %55,5 ▼ •E3 ile %15,5 ▼ •E7 ile %31 ▼ •E10 ile %42 ▼ •EM3 ile %17,5 ▼ •EM7 ile %35,5 ▼ •EM10 ile %46,6 ▼	•M3 ile CO ₂ %3,9 ▲ •M7 ile %8 ▲ •M10 ile %9,2 ▲ •E3 ile %1 ▲ •E7 ile %1,7 ▲ •E10 ile %4 ▲ •EM3 ile %3 ▲ •EM7 ile %5,1 ▲ •EM10 ile %7,1 ▲	-	[79]

Balki vd.	SB, M99, E99	Tek silindir ve 4-stroklu benzinli bir motor	1600-3600 d/d	•M99 ile HC %27,12 ▼ •E99 ile HC %13,6 ▼	•M99 ile CO %29,07 ▼ •E99 ile CO %31,34 ▼	•M99 ile CO ₂ %1 ▲ •E99 ile CO ₂ %0,5 ▲	•M99 ile NO _x %13 ▼ •E99 ile NO _x %14 ▼	[80]
Elfasakhany	SB, nB3, nB7, nB10	Tek silindirli benzinli bir motor	2600-3400 d/d	•2600 d/d'da nB ile HC %26 ▼ •2900 d/d'da nB ile HC %11 ▼	•2600 d/d'da nB ile CO %32 ▼ •2900 d/d'da nB ile CO %6 ▼	•2600 d/d'da nB ile CO ₂ %43 ▼ •2900 d/d'da nB ile CO ₂ %40 ▼	-	[81]
Agarwal vd.	M0, M10, M20	4 silindirli benzinli bir motor	•1500 d/d, 2500 d/d ve 3500 d/d •0-8 bar farklı fren ortalama efektif basınçları	•M10 ile HC %1,2 ▲ •M20 ile HC %8,6 ▼	•M10 ile CO %7,5 ▲ •M20 ile CO %50 ▼	-	•M10 ile NO _x %13,6 ▼ •M20 ile NO _x %30 ▼	[82]
Balki ve Sayın	SB, M99, E99	Tek silindir ve 4-stroklu benzinli bir motor	8,0/1, 8,5/1, 9,0/1 ve 9,5/1 farklı S.O.	•M99 ile HC %28,82 ▼ •E99 ile HC %22,79 ▼	•M99 ile CO %14,49 ▼ •E99 ile CO %29,37 ▼	•M99 ile CO ₂ %0,2 ▼ •E99 ile CO ₂ %0,3 ▼	•M99 ile NO _x %32 ▼ •E99 ile NO _x %26 ▼	[83]

Masum vd.	SB, M20, E20, P20, B20	4 silindirli benzinli bir motor	1000-6000 d/d	•M20 ile HC %10,7▼ •E20 ile HC %14,9▼ •P20 ile HC %5,4▼ •B20 ile HC %2▼	•M20 ile CO %16,6▼ •E20 ile CO %13,9▼ •P20 ile CO %9,6▼ •B20 ile CO %5,6▼	•M20 ile CO ₂ %15▲ •E20 ile CO ₂ %12▲ •P20 ile CO ₂ %6,5▲ •B20 ile CO ₂ %5,8▲	•M20 ile NO _x %20▲ •E20 ile NO _x %32▲ •P20 ile NO _x %14,5▲ •B20 ile NO _x %11▲	[84]
Feng vd.	B0, B35	Tek silindir ve 4-stroklu benzinli bir motor	•Tam yükte 3500-9000 d/d •Kısmi yükte 6500-8500 d/d	•B35 ile HC %16,65▼	•B35 ile CO %12,8▼	•B35 ile CO ₂ %6,5▲	•B35 ile NO _x %15▲	[85]
Kyriakides vd.	E0, E40	4 silindir ve 4 stroklu benzinli bir motor	0,87-1,25 λ değerleri	-	•E40 ile CO %0,3▼	•E40 ile CO ₂ %0,1▼	•E40 ile NO _x %42▼	[86]

Farkade ve Pathre	SB, M10, M20, M30, E10, E20, E30, B10, B20, B30	Tek silindirli benzinli bir motor	0-1400 W farklı motor yükleri	-	-	•M10 ile CO₂ %1,5▲ •M20 ile %1,8▲ •M30 ile %2▲ •E10 ile %1▲ •E20 ile %3,6▲ •E30 ile %4,1▲ •B10 ile %0,5▲ •B20 ile %1▲ •B30 ile %3,1▲	-	[88]
Çelik vd.	M0, M100	Tek silindir ve 4-stroklı benzinli bir motor	•1500-3500 d/d •6/1, 8/1 ve 10/1 farklı S.O.	•6/1 S.O.'da M100 ile HC %12▲ •10/1 S.O.'da M100 ile HC %50▲	•6/1 S.O.'da M100 ile CO %1,33▼ •8/1 S.O.'da M100 ile CO %1,25▼ •8/1 S.O.'da M100 ile CO %1,23▼	•6/1 S.O.da M100 ile CO₂ %37▼	•6/1 S.O.da M100 ile NO_x %35▼	[89]

Ozsezen ve Çanakçı Costa ve Sodrè Pourkhesalian vd. Najafi vd.	SB, M5, M10, E5, E10	4 stroklu benzinli bir motor	40-100 km/h	•M5 ile HC %16 ▼ •M10 ile HC %10 ▼ •E5 ile HC %8 ▼ •E10 ile HC %14 ▼	•M5 ile CO %1,2 ▲ •M10 ile CO %1,2 ▲ •E5 ile CO %3,4 ▼ •E10 ile CO %2,6 ▼	•M5 ile CO₂ %6,5 ▼ •M10 ile CO₂ %0,8 ▲ •E5 ile CO₂ %0,6 ▼ •E10 ile CO₂ %0,1 ▲	•M5 ile NO_x %1,8 ▼ •M10 ile NO_x %2,3 ▲ •E5 ile NO_x %1 ▲ •E10 ile NO_x %1,3 ▼	[90]
	E22, E100W (%6.8 oranında su bulunan etanol yakıt)	4 silindir ve 4 stroklu benzinli bir motor	1500-6500 d/d	•E100W ile E22'ye kıyasla HC %69 ▼	•E100W ile E22'ye kıyasla CO %4 ▼	•E100W ile E22'ye kıyasla CO₂ %1,6 ▲	-	[92]
	SB, M100, E100	4 silindir ve 4 stroklu benzinli bir motor	1500-6000 d/d	-	•M100 ile CO %43 ▼ •E100 ile CO %31 ▼	-	•M100 ile NO_x %53 ▼ •E100 ile NO_x %42 ▼	[94]
	E0, E5, E10, E15, E20	4 silindir ve 4 stroklu benzinli bir motor	1000-5000 d/d	•E5 ile HC %16,94 ▼ •E10 ile HC %24,04 ▼ •E15 ile HC %25,14 ▼ •E20 ile HC %31,69 ▼	•E5 ile CO %13,7 ▼ •E10 ile CO %24,31 ▼ •E15 ile CO %27,93 ▼ •E20 ile CO %45,42 ▼	•E5 ile CO₂ %3,87 ▲ •E10 ile CO₂ %6,06 ▲ •E15 ile CO₂ %6,76 ▲ •E20 ile CO₂ %10,14 ▲	•E5 ile NO_x %33 ▲ •E10 ile NO_x %66 ▲ •E15 ile NO_x %70 ▲ •E20 ile NO_x %90 ▲	[95]

Koç vd.	E0, E50, E85	Tek silindir ve 4-strokluk benzinli bir motor	1500-5000 d/d ve farklı S.O.	•E50 ile HC %10 ▼ •E85 ile HC %24 ▼	•E50 ile CO %0,05 ▼ •E85 ile CO %0,12 ▼	-	•E50 ile NO_x %5 ▼ •E85 ile NO_x %20 ▼	[96]
Mallikarjun ve Mamilla	M0, M3, M5, M10, M15	4 silindir ve 4 strokluk benzinli bir motor	Farklı efektif güçler (EG)	•M3 ile HC %14,32 ▼ •M5 ile HC %15,19 ▼ •M10 ile HC %15,98 ▼ •M15 ile HC %1,67 ▼	•M3 ile CO %0,2 ▼ •M5 ile CO %1,4 ▼ •M10 ile CO %2 ▼ •M15 ile CO %2,8 ▼	-	•M3 ile NO_x %1,25 ▲ •M5 ile NO_x %3,12 ▲ •M10 ile NO_x %12,5 ▲ •M15 ile NO_x %18,75 ▲	[97]
Yüksel ve Yüksel	E0, E60	4 silindirli benzinli bir motor	•Rölanti hızı- maks. hız •%25, %50, %75 ve %100'lük gaz keleşbeği açıklıkları	•E60 ile HC %45 ▼	•E60 ile CO %3,5 ▼	•E60 ile CO₂ %1,5 ▲	-	[100]
Thomas vd.	B0, B20	Tek silindirli benzinli bir motor	•7/1, 8,5/1 ve 10/1 farklı S.O. •0-3 kW EG	•B20 ile HC %28 ▼	•B20 ile CO %1 ▼	-	•B20 ile NO %50 ▲	[102]

Ceviz ve Yüksel	E0, E5, E10, E15, E20	4 silindir ve 4 stroklu benzinli bir motor	•2000 d/d ve farklı gaz kelebeği açıklıkları	•E5 ile HC %14 ▼ •E10 ile HC %20 ▼ •E15 ile HC %15 ▼ •E20 ile HC %4 ▼	•E5 ile CO %0,1 ▼ •E10 ile CO %0,2 ▼ •E15 ile CO %0,15 ▼ •E20 ile CO %0,05 ▼	•E5 ile CO ₂ %1 ▲ •E10 ile CO ₂ %2,8 ▲ •E15 ile CO ₂ %1,6 ▲ •E20 ile CO ₂ %1,5 ▲	-	[107]
Çanakçı vd.	E0, M5, M10, E5, E10	4 stroklu benzinli bir motor	•5-10-15 ve 20 kW •80-100 km/h	•M5 ile HC %35 ▼ •M10 ile HC %30 ▼ •E5 ile HC %27 ▼ •E10 ile HC %32 ▼	•M5 ile CO %6 ▼ •M10 ile CO %3 ▲ •E10 ile CO %3 ▼	•M5 ile CO ₂ %11,3 ▼ •M10 ile CO ₂ %3 ▼ •E5 ile CO ₂ %9,5 ▼ •E10 ile CO ₂ %8 ▼	•M5 ile NO _x %7 ▼ •M10 ile NO _x %1 ▼ •E5 ile NO _x %10,7 ▼ •E10 ile NO _x %14,5 ▼	[103]
Schifter vd.	E0, E5, E10, E15, E20	4 silindirli benzinli bir motor	0,847'den 0,925'e kadar değişen farklı HYO	•E oranı arttıkça HC ▼	•E oranı arttıkça CO ▼	-	•E oranı arttıkça NO _x ▲	[108]
Sivasubramanian vd.	SB, iP10, iP20, iP30	4 silindirli ve 4 strok, çok nokt. yakıt enj. buji ateş. motor	1400-2800 d/d	•iP10 ile HC %4,16 ▼ •iP20 ile HC %6,25 ▼ •iP30 ile HC %10,41 ▼	•iP10 ile CO %5,56 ▼ •iP20 ile CO %11,77 ▼ •iP30 ile CO %16,66 ▼	-	•iP10 ile NO _x %8,88 ▲ •iP20 ile NO _x %16,3 ▲ •iP30 ile NO _x %21,7 ▲	[104]

Gu vd.	B0, B10, B30, B40, B100	3 silindirli port yakıt enjeksiyonlu benzinli bir motor	•3000 d/d'da üç farklı motor yükleri (düşük, kısmî ve tam yük) •5-40° ateşleme avansları •%0-20 egzoz gazı sirkülasyon (EGS) oranları	•B10 ile HC %16 ▼ •B30 ile HC %21,8 ▼ •B40 ile HC %38,3 ▼ •B100 ile HC %71 ▲	•B10 ile CO %13,04 ▼ •B30 ile CO %17,4 ▼ •B40 ile CO %26,08 ▼ •B100 ile CO %30,43 ▲	-	•B10 ile NO_x %25 ▼ •B30 ile NO_x %15 ▼ •B40 ile NO_x %37 ▼ •B100 ile NO_x %75 ▼	[105]
Hasan vd.	E0, E10, E20	Tek silindir ve 4-stroklı benzinli bir motor	4/1, 5,5/1, 7/1, 8,5/1, 10/1 farklı S.O.	•E10 ile HC %4,5 ▼ •E20 ile HC %12,3 ▼	•E10 ile CO %0,2 ▼ •E20 ile CO %0,1 ▼	•E10 ile CO₂ %0,2 ▼ •E20 ile CO₂ %0,4 ▼	•E10 ile NO_x %25 ▼ •E20 ile NO_x %35 ▼	[106]

EK 3-Tablo 1. Farklı oranlarda alkol yakıt kullanımı ile yanma karakteristiklerinin saf benzine kıyasla değişimi

YAZAN	Kullanılan Karışımlar	Motor Özellikleri	Çalışma Koşulları	YANMA KARAKTERİSTİKLERİ			Kaynak
				Silindir Gaz Basıncı (SGB)	Isı Salınım Hızı (ISH)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGS)	
Elfasakhany	SB, iBM3, iBM7, iBM10, nBE3, nBE7, nBE10	Tek silindirli benzinli bir motor	2600-3400 d/d	•iBM3 ile SGB %7 ▼ •iBM7 ile SGB %6,12 ▼ •iBM10 ile SGB %4 ▲ •nBE3 ile SGB %14,3 ▼ •nBE7 ile SGB %6,12 ▼ •nBE10 ile SGB %8,16 ▼	-	•iBM3 ile EGS %3,5 ▼ •iBM7 ile EGS %3,8 ▼ •iBM10 ile EGS %3,2 ▼ •nBE3 ile EGS %4 ▼ •nBE7 ile EGS %3,9 ▼ •nBE10 ile EGS %3,7 ▼	[59]
Akansu vd.	E0, E20	4 silindirli benzinli bir motor	1500 d/d'da ve 2500 d/d'de %0-100 farklı motor yükleri	•E20 ile SGB %27 ▼	-	-	[63]
Doğan vd.	E0, E10, E20, E30	4 silindir, 4 strok benzinli bir motor	2000-4500 d/d	-	•E10 ile ISH %17,64 ▼ •E20 ile ISH %23,5 ▼ •E30 ile ISH %32,35 ▼	-	[64]

Elfasakhany	SB, iBE3, iBE7, iBE10	Tek silindir ve 4-strokluk benzinli bir motor	2600-3400 d/d	•iBE3 ile SGB %10,7 ▼ •iBE7 ile SGB %9,5 ▼ •iBE10 ile SGB %7,4 ▼	-	•iBE3 ile EGS %5,6 ▼ •iBE7 ile EGS %4,8 ▼ •iBE10 ile EGS %3,2 ▼	[66]
Renzi vd.	E0, E50, E80	4-strokluk benzinli bir motor	%50 ve %100 gaz kekebeği açıklıkları 2000-3000 d/d	-	-	•E50 ile EGS %4,6 ▼ •E80 ile EGS %10,3 ▼	[67]
Elfasakhany	SB, niB3, niB7, niB10	Tek silindir ve 4-strokluk benzinli bir motor	2600-3400 d/d	•niB3 ile SGB %12,5 ▼ •niB7 ile SGB %16,5 ▼ •niB10 ile SGB %4 ▼	-	•niB3 ile EGS %4,74 ▼ •niB7 ile EGS %5,08 ▼ •niB10 ile SEGS %3,38 ▼	[68]
Li vd.	SB, iPBE60, iPBE30, iPBE10, E30, B30	Tek silindirli benzinli bir motor	1200 d/d'da, farklı yakıt fazlalık katsayıları ve 300 kPa ve 500 kPa fren ortalama etkili basınç	•iPBE10 ile SGB %3,12 ▲ •iPBE30 ile SGB %6,25 ▲ •iPBE60 ile SGB %9,4 ▲ •E30 ile SGB %15,6 ▲ •B30 ile SGB %12,5 ▲	-	-	[27]

Elfasakhany ve Mahrous	SB, nBM3, nBM7, nBM10	Tek silindirli benzinli bir motor	2600-3400 d/d	•nBM3 ile SGB %8,5 ▼ •nBM7 ile SGB %6,1 ▼ •nBM10 ile SGB %4 ▼	-	•nBM3 ile SGB %2,85 ▼ •nBM7 ile SGB %2,68 ▼ •nBM10 ile SGB %2,18 ▼	[72]
Balki ve Sayın	M0, M100	Tek silindirli benzinli bir motor	8,0/1, 8,5/1, 9,0/1 ve 9,5/1 farklı S.O.	•M100 ile SGB %16 ▲	-	-	[74]
Sayın ve Balki	SB, iB10, iB30, iB50	Tek silindir ve 4-strokluk benzinli bir motor	2600 d/d'da 9/1, 10/1 ve 11/1 farklı S.O.	•iB10 ile SGB %12,1 ▲ •iB30 ile SGB %20,72 ▲ •iB50 ile SGB %34,4 ▲	•iB10 ile ISH %4,5 ▲ •iB30 ile ISH %15 ▲ •iB50 ile ISH %4 ▼	-	[77]
Masum vd.	E0, E15	4 silindirli benzinli bir motor	1000-6000 rpm	-	-	•E15 ile EGS %2,2 ▼	[78]
Balki vd.	SB, M99, E99	Tek silindir ve 4-strokluk benzinli bir motor	1600-3600 d/d	•1600 d/d'da SGB M99 ile %25 ▼ E99 ile %35 ▼ •2400 d/d'da M99 ile %7,5 ▼ E99 ile %7,5 ▲ •3600 d/d'da M99 ile %9 ▲ E99 ile %16 ▲	-	-	[80]

Elfasakhany	SB, nB3, nB7, nB10	Tek silindirli benzinli bir motor	2600-3400 d/d	•nB3 ile SGB %6,2 ▼ •nB7 ile SGB %8,3 ▼ •nB10 ile SGB %8,3 ▼	-	•nB3 ile EGS %4 ▼ •nB7 ile EGS %5,6 ▼ •nB10 ile EGS %6,5 ▼	[81]
Agarwal vd.	M0, M10, M20	4 silindirli benzinli bir motor	•1500, 2500 ve 3500 d/d •0-8 bar fren ortalama efektif basınçları	-	•M10 ile ISH %4,3 ▲ •M20 ile ISH %28,5 ▲	•M10 ile EGS %1,23 ▼ •M10 ile EGS %23,5 ▼	[82]
Balki ve Sayin	SB, M99, E99	Tek silindir ve 4-strokluk benzinli bir motor	8,0/1, 8,5/1, 9,0/1 ve 9,5/1 farklı S.O.	•M99 ile SGB %24 ▲ •E99 ile SGB %12 ▲	•9/1 S.O.'da M99 ile ISH %12 ▼ •9/1 S.O.'da E99 ile ISH %7 ▼	-	[83]
Masum vd.	SB, M20, E20, P20, B20	4 silindirli benzinli bir motor	1000-6000 d/d	•M20 ile SGB %3,5 ▲ •E20 ile SGB %7 ▲ •P20 ile SGB %8,7 ▲ •B20 ile SGB %7 ▲	-	•M20 ile SGB %5 ▼ •E20 ile SGB %4,3 ▼ •P20 ile SGB %1,7 ▼ •B20 ile SGB %3,4 ▼	[84]
Kyriakides vd.	E0, E40	4 silindir ve 4 strokluk benzinli bir motor	0,87-1,25 HFK değerleri	-	-	•E40 ile EGS %10 ▼	[86]

Çelik vd.	M0, M100	Tek silindir ve 4-stroklı benzinli bir motor	•1500-3500 d/d •6/1, 8/1 ve 10/1 farklı S.O.	•M100 ile SGB %5 ▼	-	-	[89]
Ozsezen ve Çanakçı	SB, M5, M10, E5, E10	4 stroklı benzinli bir motor	40-100 km/h	-	-	•M5 ile EGS %1,36 ▼ •M10 ile EGS %2 ▼ •E5 ile EGS %0,68 ▼ •E10 ile EGS %1,36 ▲	[90]
Costa ve Sodré	E22, E100	4 silindirli benzinli bir motor	•1500-6500 d/d •10/1, 11/1 ve 12/1 farklı S.O.	-	-	•E22'ye kıyasla EGS E100 ile %7,5 ▼	[91]
Eyidoğan vd.	SB, M5, M10, E5, E10,	4 silindir ve 4 stroklı benzinli bir motor	80 ve 100 km/h ve 5, 10, 15 ve 20 kW farklı motor yükleri	•M5 ile SGB %11,5 ▼ •M10 ile SGB %23 ▼ •E5 ile SGB %15 ▼ •E10 ile SGB %19 ▼	•M5 ile ISH %6,2 ▲ •M10 ile ISH %9,5 ▲ •E5 ile ISH %15 ▲ •E10 ile ISH %3,1 ▲	•M5 ile EGS %1,5 ▼ •M10 ile EGS %1,1 ▼ •E5 ile EGS %0,25 ▼ •E10 ile EGS %0,75 ▼	[93]
Çanakçı vd.	SB, M5, M10, E5, E10	4 stroklı benzinli bir motor	•5-10-15 ve 20 kW motor güçleri •80 km/h ve 100 km/h	-	-	•M5 ile EGS %1,5 ▼ •M10 ile EGS %1,1 ▼ •E5 ile EGS %0,25 ▼ •E10 ile EGS %0,75 ▼	[103]

Schifter vd.	E0, E10, E15, E20	4 silindirli benzinli bir motor	0,847-0,925 HYO	-	•E10 ile ISH %1,66 ▲ •E15 ile ISH %11,6 ▲ •E20 ile ISH %25 ▲	-	[108]
Sivasubramanian vd.	SB, iP10, iP20, iP30	4 silindir ve 4 strok, çok nokt. yakıt enj. buji ateşlemeli motor	1400-2800 d/d	•iP10 ile SGB %1,3 ▲ •iP20 ile SGB %2,6 ▲ •iP30 ile SGB %4,6 ▲	•iP10 ile ISH %2 ▲ •iP20 ile ISH %6 ▲ •iP30 ile ISH %12,3 ▲	-	[104]
Liu vd.	B0, B35	Tek silindir ve 4-strok benzinli bir motor	3000-8500 d/d	•B35 ile SGB %9,5 ▼	•B35 ile ISH %0,6 ▲	-	[109]
Feng vd.	SB, nB20, nB50, nB80	Tek silindir ve 4-stroklı benzinli bir motor	12-28°C farklı ateşleme avansları	•nB20 ile SGB %19 ▲ •nB50 ile SGB %14 ▲ •nB80 ile SGB %5 ▲	•nB20 ile ISH %21 ▲ •nB50 ile ISH %12 ▲ •nB80 ile ISH %6 ▲	-	[110]



ÖZGEÇMİŞ

Adı – Soyadı : Meltem Göktaş
Doğum Yeri ve Tarihi : Fatih/İSTANBUL 1991
Yabancı Dili : İngilizce
E-Posta : meltemgoktas@marun.edu.tr

Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm/Program	Lise/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise	Fen Bilimleri	Bahçelievler Bağlar Lisesi	2009
Üniversite	Makine Mühendisliği A.B.D.	Karabük Üniversitesi	2015
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği A.B.D.	Marmara Üniversitesi	Devam Ediyor

