

**OTTO MOTORLARINDA YÜKSEK SIKIŞTIRMA ORANLARINDA
MTBE KULLANILMASININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİ**

Sedat BİÇERER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006
ANKARA**

Sedat BİÇERER tarafından hazırlanan OTTO MOTORLARINDA YÜKSEK SIKIŞTIRMA ORANLARINDA MTBE KULLANILMASININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. H. Serdar YÜCESU
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Halit KARABULUT

Üye : Prof. Dr. M. Sahir SALMAN

Üye : Prof. Dr. Güçlü YAVUZCAN

Üye : Doç. Dr. H. Serdar YÜCESU

Üye : Doç. Dr. Adnan SÖZEN

Tarih : 19 / 09 / 2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Sedat BİÇERER

OTTO MOTORLARINDA YÜKSEK SIKIŞTIRMA ORANLARINDA MTBE KULLANILMASININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Sedat BİÇERER

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Eylül 2006

ÖZET

Bu çalışmada, kurşunsuz benzine (% hacimsel olarak 10, 20 ve 30) Metil Tetra Bütil Eter (MTBE) eklenmesinin motor torku, özgül yakıt tüketimi ve termik verim üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Hydra tek silindirli, buji ateşlemeli, yakıt enjeksiyonlu motor farklı sıkıştırma oranlarında (10/1 ve 12/1), tam yükte ve farklı motor hızlarında kullanılmıştır. Ateşleme avansı her bir motor hızı için maksimum motor torkuna göre ayarlanmıştır. MTBE katılmasının etkileri, farklı motor çalışma parametrelerindeki değişimleri değerlendirebilmek için değişik gaz kelebek açıklıkları, motor hızları, ateşleme avansları ($5-36^\circ$ KMA), hava fazlalık katsayılarında ($\lambda=0,8-1,2$) da test edilmiştir. Bununla birlikte, karşılaştırma yapabilmek amacıyla değişik motor hızlarında, 8,8/1 sıkıştırma oranına sahip dört silindirli Ford motorunda testler yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, 10/1 ve 8,8/1 sıkıştırma oranı için değişik motor hızlarında yapılan deneylerde MTBE ilavesi ile motor momentinde artış olmuş, en yüksek artış MTBE10 karışımı ile elde edilmiştir. 12/1 sıkıştırma oranında ise düşük ve yüksek motor hızlarında MTBE ilavesine bağlı olarak momentte artış sağlanmıştır. Bütün motor hızlarında MTBE ilavesine bağlı olarak termik verimde artış sağlanmıştır. 10/1 ve 12/1 sıkıştırma oranında en yüksek termik verim değerleri MTBE20 karışımı ile elde edilmiştir. Yüke bağlı olarak yapılan deneylerde 10/1 sıkıştırma oranı için en yüksek motor momenti ve en düşük özgül yakıt tüketimi MTBE10 karışımı ile elde

edilmiştir. Ateşleme avansına bağlı olarak yapılan deneylerde her iki sıkıştırma oranında da bütün MTBE karışımları kurşunsuz benzinden daha yüksek termik verim ve daha düşük özgül yakıt tüketim değerleri vermiştir. 10/1 sıkıştırma oranında en yüksek termik verim ve en düşük özgül yakıt tüketim değerleri MTBE10 karışımı ile elde edilirken 12/1 sıkıştırma oranında MTBE20 karışımı ile elde edilmiştir. Ateşleme avansına bağlı olarak yapılan deneylerde 10/1 sıkıştırma oranı için MTBE karışımları daha yüksek moment değerleri verirken 12/1 sıkıştırma oranında kurşunsuz benzinle elde edilen moment değerleri daha yüksek çıkmıştır. Değişik hava fazlalık katsayısıyla yapılan deneylerde en yüksek termik verim ve en düşük özgül yakıt tüketim değerleri 10/1 sıkıştırma oranı için MTBE10 karışımı ile 12/1 sıkıştırma oranı içinse MTBE20 karışımı ile elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 708
Anahtar Kelimeler : Oksijenli benzin yakıtları, MTBE-benzin karışımları, Buji ile ateşlemeli motorlar, Motor performansı
Sayfa Adedi : 58
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. H. Serdar YÜCESU

EFFECTS OF MTBE USAGE AT HIGH COMPRATION RATIO ON OTTO ENGINE PERFORMANCE

(M. Sc. Thesis)

Sedat BİÇERER

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

September 2006

ABSTRACT

In this study, effects of Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE) addition (10, 20 and 30 % in volume) to unleaded gasoline fuel on engine torque, specific fuel consumption, and thermal efficiency have been experimentally investigated. A Hydra single cylinder, spark ignition, fuel injection engine was used in different compression ratio (10/1 and 12/1) at full load and different engine speed. Ignition timing was set at maximum engine torque for each engine speed. The effects of MTBE addition were also tested at different variable throttle positions, engine speed, advanced timing (5-36° CA), over wide relative air/fuel ratio ($\lambda=0,8-1,2$) in order to evaluate effects of engine operating parameters changes. However, variable engine speed tests were made for comparison with four cylinder Ford engine which has 8,8/1 compression ratio at different engine speed and full throttle. Experiments show that, maximum increment for 10/1 and 8,8/1 compression ratio on engine torque was obtained at whole engine speeds when the engine fueled with %10 MTBE blends. In 12/1 compression ratio, improvements observed on engine torque with MTBE addition running at low and high speeds. Improvement on thermal efficiency was provided in all engine speed by MTBE addition. The best value of the thermal efficiency obtained with 20% MTBE addition at 10/1 and 12/1 compression ratios. In experiments which depend on different throttle positions, maximum engine torque and minimum specific fuel consumption achieved with 10% MTBE

blends. In different ignition timings, all MTBE blends gave better thermal efficiency and low specific fuel consumption values than unleaded gasoline when both compression ratios. While maximum thermal efficiency and minimum specific consumption values were observing with 10% MTBE blends in 10/1 compression ratio, it also achieved with 20% MTBE blends in 12/1 compression ratio. The torque value with unleaded gasoline in 12/1 compression ratio appeared higher than other, while MTBE blends were giving high torque values for 10/1 compression ratio in different ignition timings. The highest thermal efficiency and lowest specific fuel consumption values for 10/1 compression ratio achieved with 10% MTBE blends, and with MTBE20 for 12/1 compression ratio.

Science Code : 708
Key Words : Oxygenated gasoline fuels, MTBE-Gasoline blends, Spark
ignition engine, Engine performance
Page Number : 58
Adviser : Assoc. Prof. Dr. Serdar YÜCESU

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren ve her zaman anlayışla karşılayan değerli hocam Prof. Dr. Serdar YÜCESU'ya, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım ve deneysel çalışmalar sırasındaki yardımlarından dolayı Arş. Gör. Dr. Tolga TOPGÜL'e, ODTU Petrol Araştırmaları Merkezi-PAL müdüresi Prof. Dr. Ender OKANDAN'a ve PAL çalışanlarına, tezi hazırlama süresince maddi ve manevi desteğini esirgemeyen değerli arkadaşım Arş. Gör. Özer Can'a ve her zaman yanımda olan ve her zaman destek olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	14
3.1. Deney Düzenegi	14
3.1.1. Deney motorları	14
3.1.2. Dinamometreler	15
3.1.3. Emisyon cihazı	16
3.2. Deney Koşulları ve Deneylerde Kullanılan Yakıtların Özellikleri.....	17
3.3. Deneysel Çalışmalar	19
3.4. Ölçümler ve Hesaplamalar	19
3.4.1. Ortam şartları.....	19
3.4.2. Motor hızı	20
3.4.3. Yakıt tüketimi.....	20

Sayfa

3.4.4. Moment.....	21
3.4.5. Efektif güç	23
3.4.6 Özgöl yakıt tüketimi	23
3.4.7. Termik verim	24
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	25
4.1. Performans Sonuçlarının İncelenmesi	25
4.1.1. Motor hızına bağlı performans sonuçlarının incelenmesi.....	23
4.1.2. Hava fazlalık katsayısının motor performansına etkilerinin incelenmesi	37
4.1.3. Ateşleme avansının motor performansına etkilerinin incelenmesi	43
4.1.4. Değişik Yük Durumları İçin Performans Sonuçlarının İncelenmesi.....	49
5. SONUÇLAR	52
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	58

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Alkol yakıtların kronolojik kullanım seyri	4
Çizelge 3.1. Ricardo Hydra motora ait teknik özellikler	14
Çizelge 3.2. Ford motora ait teknik özellikler.....	14
Çizelge 3.3. Sun MGA 1500S egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri.....	16
Çizelge 3.4. Deney yakıtlarının özellikleri.....	18
Çizelge 3.4. Deney Prosedürü.....	25

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. MTBE'nin moleküler yapısının şematik görünüşü.....	5
Şekil 4.1. Hydra deney motorunda motor momentinin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, HFK=1).....	28
Şekil 4.2. Hydra deney motorunda motor momentinin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, HFK=1).....	28
Şekil 4.3. Ford deney motorunda motor momentinin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=8,8$).....	29
Şekil 4.4. Hydra deney motorunda motor momentinin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, $\epsilon=12$).....	29
Şekil 4.5. Hydra deney motorunda özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, HFK=1).....	32
Şekil 4.6. Hydra deney motorunda özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, HFK=1).....	32
Şekil 4.7. Ford deney motorunda özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=8,8$).....	33
Şekil 4.8. Hydra deney motorunda özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, $\epsilon=12$).....	33
Şekil 4.9. Hydra deney motorunda termik verimin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, HFK=1).....	35
Şekil 4.10. Hydra deney motorunda termik verimin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, HFK=1).....	36
Şekil 4.11. Ford deney motorunda termik verimin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=8,8$).....	36
Şekil 4.12. Hydra deney motorunda motor momentinin HFK'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, AA=26° KMA, $n=3000 \text{ min}^{-1}$).....	38
Şekil 4.13. Hydra deney motorunda motor momentinin HFK'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, AA=23° KMA, $n=3000 \text{ min}^{-1}$).....	38

Şekil	Sayfa
Şekil 4.14. Hydra deney motorunda ÖYT'nin HFK'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, $AA=26^\circ$ KMA, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)	40
Şekil 4.15. Hydra deney motorunda ÖYT'nin HFK'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, $AA=23^\circ$ KMA, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)	40
Şekil 4.16. Hydra deney motorunda için termik verimin HFK'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, $AA=26^\circ$ KMA, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)	42
Şekil 4.17. Hydra deney motorunda termik verimin HFK'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, $AA=23^\circ$ KMA, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)	42
Şekil 4.18. Hydra deney motorunda motor momentinin ateşleme avansına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, $HFK=1$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)	44
Şekil 4.19. Hydra deney motorunda motor momentinin ateşleme avansına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, $HFK=1$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)	44
Şekil 4.20. Hydra deney motorunda ÖYT'nin ateşleme avansına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, $HFK=1$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)	46
Şekil 4.21. Hydra deney motorunda ÖYT'nin ateşleme avansına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, $HFK=1$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)	46
Şekil 4.22. Hydra deney motorunda termik verimin ateşleme avansına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, $HFK=1$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)	48
Şekil 4.23. Hydra deney motorunda termik verimin ateşleme avansına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, $HFK=1$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$).....	48
Şekil 4.24. Hydra deney motorunda motor momentinin GKA'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, $HFK=1$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)	50
Şekil 4.25. Hydra deney motorunda ÖYT'nin GKA'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, $HFK=1$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$).....	50
Şekil 4.26. Hydra deney motorunda termik verimin GKA'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, $HFK=1$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)	52

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. McClure marka rejeneratif DC dinamometre	15
Resim 3.2. Deneylerde kullanılan Cussons P8601 hidrolik dinamometre.....	16
Resim 3.3. Deneylerde kullanılan Sun MGA 1500 model emisyon test cihazı.....	17
Resim 3.4. Deneylerde ortam sıcaklığının ölçülmesi için kullanılan elektronik termometre	19
Resim 3.5. McClure marka rejeneratif DC dinamometrenin kontrol ve gösterge paneli	22
Resim 3.6. Cussons P8601 hidrolik dinamometrenin kontrol ve gösterge paneli	23

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
B	Toplam yakı tüketimi [kg/h]
b_e	Özgül yakıt tüketimi [g/kWh]
H_u	Alt ısııl değeri [kJ/kg]
K_a	Düzeltilme faktörü
M_d	Moment [Nm]
$\dot{m}_y$	Yakıt debisi [kg/s]
n	Motor hızı [min^{-1}]
P	Atmosferik Basınç [kPa]
P_e	Efektif güç [kW]
T	Atmosferik sıcaklık [K]
η_t	Termik verim
λ	Hava fazlalık katsayısı
ε	Sıkıştırma oranı
Q_{in}	İçeri sürülen ısı [kJ]

Kısaltmalar	Açıklama
AA	Ateşleme avansı [$^{\circ}$]
DC	Doğru akım [v]
GKA	Gaz kelebek açıklığı [%]
ETBE	Etil Tetra Bütil Eter
H/Y	Hava / Yakıt
HFK	Hava fazlalık katsayısı
KMA	Krank mili açısı [$^{\circ}$]

Kısaltmalar**Açıklama**

KTE

Kurşun Tetra Etil

MTBE

Metil Tersiyer Bütil Eter

MTBE0

Kurşunsuz benzin

MTBE10

%90 Kurşunsuz benzin + %10 MTBE karışımı

MTBE20

%80 Kurşunsuz benzin + %20 MTBE karışımı

MTBE30

%70 Kurşunsuz benzin + %30 MTBE karışımı

ÖYT

Özgül yakıt tüketimi [g/kWh]

RVP

Reid buhar basıncı [kPa]

1. GİRİŞ

Motorlu taşıtların önemli bir bölümü petrolden üretilen yakıtlarla çalışır. Bununla birlikte dünyadaki petrol rezervlerinin 40–50 yıl gibi bir zamanda tükenmesi beklenmektedir. Fosil yakıtların tükenmesi ve çevresel faktörler temiz, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulacağına işaret etmektedir [1].

1973 yılında petrol arzındaki ani azalma ve fiyatlardaki hızlı artışın bütün dünyada sebep olduğu enerji krizi, enerji kaynakları ve enerji tüketimi kavramlarını yeniden gündeme getirmiştir. Böylece her platformda ucuz enerji devrinin sona erdiğine işaretlerle gelecekteki enerji temin yolları ve politikaları tartışılmaya başlanmıştır. Çağımızın sonuna doğru mevcut konvansiyonel rezervlerin büyük ölçüde tükenecek olması bu anlayışta alternatif yakıtların payını önemli kılmaktadır [2].

İçten yanmalı motorlar genel olarak fosil kökenli yakıtlar ile çalışmaktadır. 2004 yılı istatistiklerine göre toplam petrol rezervlerinin yaklaşık $1,54 \times 10^{11}$ m³ olduğu ve bu rezervlerin ortalama 50 yıl sonra tüeneceği tahmin edilmektedir [3].

Enerji krizleri ve petrol kaynaklarının sınırlı olması alternatif kaynakların kullanılmasındaki talebin artmasının sebeplerindendir. Kirlenme problemi, içten yanmalı motorlarda alternatif yakıtların değerlendirilmesi üzerine yapılan yoğun çalışmaları zorunlu kılmaktadır. Alkol gibi yeni enerji kaynakları çok sayıda fosil olmayan hammadde üretilmektedir ve stratejik ve ekonomik faydalar sunmaktadır [4].

Süratle azalmakta olan petrol rezervlerine karşılık, tarım ürünlerinden elde edilen alkoller günümüzde alternatif olarak düşünülen yakıtların başında gelmektedirler. Yüksek oktan sayılarından dolayı benzinin oktan sayısını artırıcı katık olarak kullanılırlar [2].

Son yıllarda artan çevre bilinci ve mevcut enerji kaynaklarının biteceği kuşkularına paralel olarak özellikle gelişmiş ülkelerde hükümetlerin yaptırımları, üniversitelerin

yönlendirmeleri, üretici firmaları çevreyi kirletmeyen, alternatif yakıtlı ürünlerin imalatına sevk etmiştir. Bu nedenle otomotiv sektörü emisyonları azaltacak tedbirler almaya ve alternatif yakıtları kullanabilecek motorlar üretmeye başlamışlardır [3].

Motorlar üzerinde yapılan araştırmaların temel amaçlarından biri, yanma sırasında meydana gelen enerji dönüşümü olayının olabildiğince yüksek verimde gerçekleşmesidir. Motorun yapısal özelliklerinin yanı sıra kullanılan yakıtların özellikleri de motor performansı ve emisyonlar üzerinde son derece etkilidir. Bu nedenle motorları üstün performanslı duruma getirmek için, motor tasarımı ile ilgili araştırmalarla birlikte yakıtlarla ilgili çalışmalar da yaygın bir şekilde yapılmaktadır [5].

Buji Ateşlemeli motorlar için çevrim verimi, sıkıştırma oranı ile arttığından, yüksek bir sıkıştırma oranına müsaade eden yakıtlar, tercih sebebidir. Diğer bir ifade ile buji ateşlemeli motor yakıtlarının vuruntu mukavemetinin ve dolayısıyla oktan sayılarının yüksek olması gerekir.

Her ne kadar bir galon yani 3,8 litrelik yakıtta 1cm^3 kurşun tetra etil (KTE) ilave etmek suretiyle oktan sayısını önemli derecede yükseltmek mümkünse de, KTE bir müddet sonra buji kirlenmesine, yüzey ateşlemesine, sıcak korozyona ve katalitik dönüştürücü zehirlenmesine neden olur [6]. Bunun yanı sıra birçok gelişmiş ülkede olduğu gibi Türkiye’de de benzine KTE ilavesi sağlık ve çevre sorunları nedeniyle yasaklanmıştır.

Benzine motor performansını iyileştirmek için, oktan sayısını geliştirici kurşun alkalileri eklenmektedir. Bu katkı maddeleri, benzinle çalışan otomobillerin oluşturduğu hava kirliliğinin en büyük nedenlerinden birisidir. Kurşunu azaltmak ve oktan sayısını ekonomik olarak arttırmak için yapılan çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Oksijenatlar, benzindeki oktan sayısını ve oksijen içeriğini arttırmak için alternatif olarak ortaya çıkmışlardır. Bu oksijenatların en önemlisi de Metil Tersiyer Bütil Eter (MTBE) dir [7].

Alkoller de motorlarda kullanılan sıvı yakıtlardandır. Motorlarda yakıt olarak kullanılan alkollerin başında metanol ve etanol gelmektedir. Alkoller tek başına motor yakıtı olarak kullanılabileceği gibi petrol kökenli yakıtlara belli oranlarda katılarak yakıt karışımları şeklinde de kullanılabilirler. Düşük emisyon değerlerine sahip olmaları nedeniyle alkoller birçok ülkede ana yakıt ve yakıt katkısı olarak kullanılmaktadır [7].

Oksijenli hidrokarbonlar olarak ta adlandırılan alkoller, genel olarak birbirine benzer özelliklere sahiptirler. Alkolleri diğer hidrokarbon yakıtlardan ayıran başlıca özellikleri; moleküler yapılarında bir hidroksit (OH) kökü içermeleri, yüksek polarizeye sahip olduklarından, yüksek kaynama noktasına, donma noktasına ve gizli buharlaşma ısısına sahip olmaları ve polarizelerinden dolayı suda çözünürlüklerinin yüksek olması şeklinde özetlenebilir. Alkoller benzine göre daha yüksek oktan sayısına sahiptirler. Bu özellikleri nedeniyle saf olarak ya da benzine karıştırılarak daha yüksek sıkıştırma oranlı benzin motorlarında kullanılabilirler. Alkollerin en üstün özellikleri üretimlerinin petrol esaslı kaynaklara dayanmamasıdır [5].

Oksijenatlar olarak ta bilinen hafif alkoller (metanol, etanol vb.) ve eterler (MTBE, ETBE vb.) oktan sayısı artırıcı özellikleri ve kirletici egzoz emisyonları azaltıcı etkileri nedeniyle yaygın olarak kullanılan yakıt katkılarıdır [8].

Alkollerin buharlaşma ısıları yüksek olduğundan, kompresyon sırasında gazlardan ısı çekerek volümetrik verimi dolayısıyla motor gücünü artırır.

Metanol, MTBE vb. oksijenat yakıtların içten yanmalı motorlarda yakıt ve yakıt katkısı olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar Çizelge 1’de gösterildiği üzere oldukça eskiye dayanmakta ve günümüzde de yaygın olarak sürdürülmektedir [8,10]. Amerika’da 1970’lerden itibaren oktan sayısını arttırmak için kurşun bileşikleri yerine Metanol kullanılmaya başlanmıştır [7].

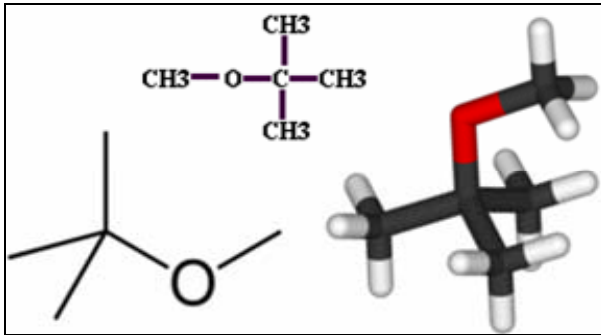
Çizelge 1.1. Alkol yakıtların kronolojik kullanım seyri [2].

1830	Metanol aydınlatmak amacıyla kullanılan balık yağının yerini aldı.
1850 li yıllar	Odundan elde edilen metanol Paris'te ısıtma, aydınlatma ve pişirme amacıyla kullanılmaya başlandı.
1890	Etanol ilk defa motor yakıtı olarak kullanıldı.
1900'lü yıllar	3-4 BG'ndeki motorlar Almanya'da yaygın olarak kullanılmaya başlandı.
1914-1918	Almanlar etanol üretimi için fermente edilebilir şeker elde edilmesine imkan veren odunun hidrolizi işlemini gerçekleştirdiler.
1915	ABD'nde odun talaşının hidroliz ve fermantasyon ile ilk defa ticari etanol elde edildi.
1920'li yıllar	Brezilya'da şeker kamışının fermantasyonundan elde edilen etanol 4 silindirli motorlarda denendi.
1923	Temiz etanol Rio de Janerio'da yarış arabası yakıtı olarak kullanıldı.
1930'lu yıllar	ABD'ndeki etanol hemen hemen tamamen tahıl ve melas fermantasyonu ile elde edildi. Kuzeydoğu Brezilyada %75 şeker kamışı etanolü %25 eter yakıtı otomobillerde kullanıldı. İngiltere'de etanol yakıt olarak bütün vergi ve sınırlamalardan muaf tutuldu. ABD'de Chrysler Motor Yeni Zelanda'ya %100 etanol ile çalışan otomobil ihraç etti. %25 etanol - %75 petrol yakıtlı otomobiller Arjantin, Avustralya, Brezilya, Çin, Filipinler, Güney Afrika, Japonya ve Yeni Zelanda'da kullanılmaya başlandı.
1931	Brezilya'da %5 etanol %95 ithal petrol karışımı yakıt kullanımı mecbur kılan kanın yürürlüğe girdi.
1939	Avrupa'da alkol yakıt kullanımı yılda yarım milyon tona ulaştı.
1939-1945	Almanya'da karayolu vasıtaları patatesten fermente edilen etanol ile çalıştırıldı. Batı Avrupa'da odun artıklarının hidrolizi için yirmiyi aşkın fabrika kuruldu. ABD'nde ordu için etanolun fermantasyon ve distilasyonu gerçekleştirildi. Üretim altı yılda altı kat arttı.
1956	Brezilya'da harmanlanmış yakıt oranını %10 etanol -%90ithal petrol olarak değiştiren yeni bir kanun yürürlüğe girdi.
1962	ABD etanol üretiminin %22'si çoğu zarar görmüş veya ihtiyaç fazlasından olmak üzere hububat fermantasyonundan elde edildi.
1971	ABD'nin Nebraska Eyaletinde hububattan alkol üretimi ile ilgili sanayinin kurulması için bir program geliştirildi ve neticede %10 etanol %90 kurşunsuz benzin karışımı "gazol" denen yakıt üretildi.
1975	Brezilya ithal petrol faturasını azaltabilmek için Milli Alkol Programı'nı yürürlüğe koydu. Şeker kamışı ve cassava üretim çiftlikleri ve 200'ü aşkın damıtma istasyonu kuruldu.
1978	İlk cassava alkolü fabrikası Brezilya'da üretime geçti.
1980	Batı Almanya'da %15 metanol %85 petrol karışımı yakıtla çalışan otomobiller kullanılmaya başlandı.
1995	ABD'de bir milyon metanolü otomobil piyasaya sürüldü.

MTBE yüksek oktan sayısı değerine sahip olması nedeniyle yakıt katkısı olarak kullanıldığında yakıt karışımının oktan sayısını arttırarak motorun sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağlamaktadır [8,9].

Ancak, alkol yakıtları kullanırken karşılaşılan esas zorluk alkollerin hidrofil karakterinden dolayı oluşan faz ayrışma eğilimidir. Faz ayrışması, çalışma problemleri ve motor hasarlarına sebep olabilir ve alkol-su- benzin üçlü sisteminin çözülme davranışından kaynaklanmaktadır. Faz ayrışmasının derecesi, karışım içindeki alkolün su miktarına, benzinin kimyasal bileşimine ve atmosfer sıcaklığına bağlıdır. Düşük sıcaklıklarda alkol-benzin karışımlarındaki küçük miktardaki su, alkol ve su arasındaki ilişkiyle direkt hidrojene dönüşebilir ve faz ayrışması oluşur. Sisteme katkı maddesi (agent) ilave etmek, faz ayrışması problemini çözmek için izlenen ortak bir yaklaşım tarzıdır. Katkı maddeleri, aromatik bileşikler, yüksek alifatik alkoller ve aromatik alkoller olarak sınıflandırılabilir [10].

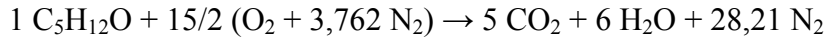
MTBE temiz bir yakıttır, düşük viskoziteye sahiptir ve hoş bir kokusu vardır. Şekil 1.1. de moleküler yapısı görülen MTBE $\text{CH}_3\text{OC}(\text{CH}_3)_3$, ağırlık bakımından %18,2 O_2 ile diğer sıvı hidrokarbonları içeren, benzinde katkı maddesi olarak kullanılan, metanol ve izobutilenin reaksiyonundan elde edilen organik bir eterdir.



Şekil 1.1. MTBE'nin moleküler yapısının şematik görünüşü

Diğer alkollerle karşılaştırıldığında; MTBE önemsiz derecede suda çözünür fakat benzin tipi hidrokarbonlarla tamamen karıştırılabilir. Benzinle karıştırıldığında, bütün yakıt sistemleri için uygundur. MTBE benzin gibi, gemilerle, borularla,

tankerlerle, trenle vb. deniz aşırı ülkelere taşınabilir. Yoğun ürün araştırmaları MTBE benzin karışımlarının otomobil performansı üzerine olumsuz bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Aşağıdaki hesaplamalardan görüldüğü gibi MTBE'nin yapısında oksijen bulundurduğu için hava/yakıt oranın benzine göre daha düşüktür.



$$\text{Hava/yakıt oranı} = \frac{\frac{15}{2}(\text{O}_2 + 3,762 \text{ N}_2)}{\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}} = \frac{1034,534}{88,15} = 11,7$$

Benzin çok sayıda hidrokarbondan oluştuğu için, kaynama sıcaklığı sabit değildir. Buna karşılık MTBE'nin tek bir kaynama noktası vardır, benzine göre daha komple buharlaşır ve daha temiz yanarlar. Bu durum egzoz emisyonlarının azaltılması üzerine olumlu bir etki yapar.

Kullanılan en yaygın oksijenatlar MTBE ve etanoldur. Her iki oksijenat ta 30 yıla yakın bir zamandır benzin içerisinde kullanılmaktadır. 1980'lerin sonuna kadar oksijenatlar öncelikli olarak benzinin oktan sayısını arttırmak için kullanılmışlardır. Oktan arttırmaya devam etmekle birlikte günümüzde egzoz emisyonlarını iyileştirmeye yönelik ihtiyaçlara uymak için benzine oksijen ilave edilmesine odaklanılmıştır [11].

Bu tez çalışmasında yukarıda da açıklandığı üzere oksijenat yakıtlardan MTBE benzine belirli oranlarda katarak motor performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla normal benzine farklı oranlarda (% 0, 10, 20 ve 30) MTBE katılarak deney motorlarında yakılmış ve performans değerleri gözlemlenmiştir. Deneyler farklı sıkıştırma oranları, değişik motor hızları, gaz kelebek açıklıkları (GKA), ateşleme avansı (AA) değerleri ve hava fazlalık katsayılarında (HFK) yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Wang ve arkadaşları MTBE'nin motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde farklı oranlarda MTBE karışımları ve iki adet 1,8 litre Volkswagen motoru kullanmışlardır. Performans açısından, %14 MTBE içeren yakıt karışımı için orta ve üstü motor hızlarında, döndürme momentinde bir miktar artış, özgül yakıt tüketiminde ise bir miktar azalma görülmüştür. Emisyonlar açısından ise en iyi sonuç %13 MTBE içeren yakıt karışımında görülmüş, CO ve HC emisyonlarında dikkate değer oranda azalmalar elde edilmiştir [12].

Çetinkaya ve Çelik metanol-benzin karışımı kullanılmasının buji ateşlemeli motorlardaki etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmada 1,2 litre Anadol motoru ve kütleli olarak % 0, 30, 50, 75, 100 metanol içeren yakıt karışımı kullanmışlardır. Deneyler tam GKA ve değişik motor hızlarında (2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500 min⁻¹) yapılmıştır. Ayrıca deneylerinde benzin-alkol karışımlarında görülen faz ayrışma sorununu çözmek için çift şamandıralı bir karbüratör kullanılmıştır. Deneyler sonucunda metanol oranı arttıkça ilk hareket zorluğu ve yüksek devirlerde düzensiz çalışma tespit edilmiştir. Metanol oranı arttıkça motor torkunun da arttığı görülmüş maksimum tork 3000 min⁻¹ de 78 Nm olarak saf metanolün kullanıldığı çalışmada elde edilmiştir. Benzin yerine saf metanol kullanıldığında güçte ortalama %10 artış görülmüştür. Karışımdaki metanol oranı arttıkça özgül yakıt tüketiminin arttığı görülmüş ve saf metanolün özgül yakıt tüketimi 625 g/kW-h olup diğerlerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak metanolün alt ısı değeri benzininkinden daha az olması sebebiyle karışımdaki metanol miktarı arttıkça yakıt tüketiminin artması gösterilmiştir. Ayrıca benzine karıştırılan metanol miktarı arttıkça volümetrik verimde de artış görülmüş maksimum verim %50 karışım oranında ve 3000 min⁻¹ da elde edilmiştir. İlk harekete geçiş kolaylığı ve yüksek devirlerde düzenli çalışma açısından, %50 metanol karışımının en uygun yakıt olduğu bildirilmiştir [13].

Topg l ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmada, etanol–benzin karışımlarının farklı sıkıştırma oranlarında motor performansına etkilerini incelemişlerdir.  alışmalarını tek silindirli, buji ateşlemeli ve yakıt enjeksiyon sistemine sahip Hydra marka motorda, hacimsel olarak %10–20 etanol benzin karışımı kullanılarak, tam GKA, 2000, 3500, 5000 min⁻¹ motor hızlarında ve farklı sıkıştırma oranlarında (8/1, 9/1, 10/1, 11/1) yapmışlardır. Deneyler sonucu motor momentindeki maksimum artış %10 etanol karışımı için 3500 min⁻¹ motor hızında ve 8/1 sıkıştırma oranında %1, 3, %20 etanol karışımı için ise 3500 min⁻¹ de 8/1 sıkıştırma oranında ve 5000 min⁻¹ de 10/1 sıkıştırma oranında elde edilmiştir. Buna karşılık özgül yakıt t k timinin etanol kullanımıyla birlikte arttığı bildirilmiştir [14].

Abu-Zaid ve arkadaşları benzine metanol ilavesinin buji ateşlemeli motorlarda performansa etkileri üzerine bir çalışma yapmışlardır.  alışmalarında 4 zamanlı, tek silindirli, sıkıştırma oranı değiştirilebilir bir deney motoru kullanmışlar, tam GKA, değişik motor hızlarında (1000, 1500, 2000, 2500 min⁻¹) ve hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 oranında metanol ilavesi kullanarak performans sonuçlarını incelemişlerdir.  alışmalar sonucunda metanol ilave edilmesinin motor performansı üzerinde kayda değer bir etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. En iyi motor performansı, maksimum çıkış gücü ve minimum özgül yakıt tüketimi %15 metanol ilave edildiğinde elde edilmiş, Fren  zg l yakıt tüketimi dikkate alındığında en iyi motor performansı düşük ve ortalama motor hızlarında elde edilmiştir [15].

Karaosmanoğlu alkol karışımlarının ana sorunu olan faz ayrışması problemini çözmek için yaptığı çalışmada, yeni bir katkı maddesi kullanmıştır. Yaptığı  alışmada, Metanol-Benzin karışımlarına katkı maddesi olarak “molosses fusel yağı” kullanmış ve faz ayrışma sıcaklığına etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak fusel yağı parçalarının faz ayrışma sıcaklıklarını azaltmada ve Metanol-Benzin karışımlarının su toleranslarını arttırmada oldukça verimli olduğunu bildirmiştir [10].

Sezer ve Bilgin normal benzine MTBE katılmasının buji ateşlemeli motor performansına etkisinin deneysel olarak incelemiştir. Deneyler tek silindirli, 4 zamanlı, sıkıştırma oranı değiştirilebilir Tequipment marka deney motoru ve elektrikli

dinamometre ile yükleme yapabilen bir deney düzeneğinde, tam GKA, farklı sıkıştırma oranlarında ve dört farklı hacimsel oranda (%5, %10, %15, %20) MTBE'nin benzine katılmasıyla elde edilen karışımlar kullanılarak yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda, çalışma koşullarına ve karışımdaki MTBE oranına göre değişiklik göstermekle birlikte, MTBE katkısı efektif verimde iyileşme, özgül yakıt tüketiminde azalma, özellikle yüksek sıkıştırma oranı değerlerinde, ortalama efektif basınçta dolayısıyla döndürme momenti ve efektif güçte artış sağlanmıştır. Ortalama efektif basınçtaki en yüksek artış oranı 1400 min^{-1} motor hızında 8/1 sıkıştırma oranında %5,6 olarak %10'luk MTBE karışımında elde edilmiştir. Karışımlar içerisindeki en iyi efektif verim değerleri %15 MTBE karışımıyla, 1400 min^{-1} motor hızında 8/1 sıkıştırma oranında elde edilmiş ve normal benzine göre %8,1 artış elde edilmiştir. Verimdeki artışa bağlı olarak en düşük özgül yakıt tüketimi de yine aynı değerlerde ölçülmüş ve normal benzine göre %5 düşüş olmuştur [16].

Al-Dawood çalışmasında, MTBE, etanol ve metanolün yakıtta karıştırıldığında motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmalarını 6 silindirli çok noktadan enjeksiyonlu Mercedes-Benz motoru ve hacimsel olarak %10, 15, 20 oranlarında MTBE, metanol ve etanol karışımları kullanarak gerçekleştirmiştir. MTBE, metanol ve etanol katkısının her birinin motor performansını artırdığı ancak en yüksek artışın yüksek metanol oranlarında elde edildiği bildirilmiştir. Ayrıca emisyonlar açısından bakıldığında, CO ve NO_x emisyonlarında en fazla düşüşün etanol karışımlarında, HC emisyonları için ise MTBE karışımlarında olduğu bildirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda %15 etanol içeren karışım oranının motor performansını önemli oranda artırması ve emisyon değerleri açısından daha verimli olması nedeniyle en uygun yakıt karışımı olduğu bildirilmiştir [17].

Hamdan ve Al-Subaih normal benzine kısmi MTBE katıldığı zaman oktan sayısı ve bundan kaynaklanan motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisi üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneylerinde tek silindirli 4 zamanlı buji ateşlemeli bir deney motoru, motor performansını ölçebilmek için motor şaftına bağlı hidrolik bir dinamometre ve değişik oranlarda (%5, 10, 15, 20) MTBE içeren yakıt karışımları kullanmışlardır. Ayrıca karışımların oktan sayısını da deneysel olarak

belirlemişlerdir. Yakıt karışımlarının oktan sayısının MTBE oranının artışına bağlı olarak lineer ve sürekli olarak arttığını bildirmişlerdir. En iyi motor performansının ve egzoz emisyonlarındaki en iyi azalmanın %10 MTBE katkısında olduğu bildirilmiştir [18].

Pouloupoulos ve Philippopoulos ise; benzine MTBE katılmasının emisyonlar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında 4 silindirli, 1,6 litre Opel motoru ve değişik oranlarda (%0–11) MTBE içeren karışımlar kullanılarak emisyon değerleri katalitik konvertörün girişinde ve çıkışında ölçülmüştür. Yüksek devirlerde ve %11 oranında MTBE katılmış karışımlarda CO ve HC emisyonlarının azaldığı fakat kısmi yüklerde ise CO ve HC emisyonlarının arttığı görülmüştür. Katalitik dönüştürücünün çıkışında yapılan ölçümlerde ise MTBE ilave edilmesinin toplam HC emisyonlarını azalttığı görülmekle birlikte sıcaklığın artmasına bağlı olarak emisyonlarda azalma belirlenmiştir [19].

Da Silva ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmada, vuruntu önleyici katkı maddelerinin benzinin Reid buhar basıncına (RVP) etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında etanol ve MTBE gibi oksijenatlar ve izo-oktan, tolüen gibi oksijenat olmayan katkı maddelerini benzine hacimsel olarak değişik oranlarda (%5, 10, 15, 20 ve 25) katmışlar ve Reid buhar basıncına (RVP) etkilerini incelemişlerdir. Etanol ve MTBE'nin karışımların RVP'sini dikkate değer oranda artırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca oksijenat içerikli karışımların oktan sayılarının, aynı bileşiklerin yüksek saflık derecelerinde daha da yüksek çıktığını bildirmişlerdir [20].

Yüksel ve Yüksel alkol–benzin karışımları için başlıca problemlerden birisinin karışımın kararlı sıvı fazda homojen gerçekleşmemesi olduğunu bildirmişler ve çalışmalarında yeni bir karbüratör tasarlamışlardır. Yeni karbüratör faz probleminin aşılmasını sağlamakla birlikte karışım içindeki alkol yüzdesini artırmıştır. Bütün bunlara ilave olarak çalışmalarında karbüratör üzerinde karbüratör sistemini karmaşık hale getirmeyecek basit düzenlemeler yapılırsa daha da kullanışlı olacağını belirtmişlerdir [1].

Alasfour yaptığı çalışmada hacimsel olarak %30 oranında metanol ve bütanolü benzine karıştırmış ve karışımı değişik eşdeğerlilik oranlarında (0,8–1,3) buji ateşlemeli, yakıt enjeksiyon sistemine sahip, tek silindirli Hydra marka deney motorunda yakarak özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı ve termik verimlerinin deneysel olarak incelemiştir. Çalışmasının sonucunda zengin karışımlarda metanol-benzin karışımının özgül yakıt tüketimi yüksek çıkmıştır. Egzoz gaz sıcaklığı eşdeğerlilik oranı 1,1 civarında maksimum olarak tespit edilmiş ve bu durumda bütanol-benzin karışımının egzoz gazı sıcaklığı daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca fren termik verimi zengin karışım oranlarında azalmış ve bütanol-benzin karışımında daha yüksek çıkmıştır. Ortalama efektif basınç maksimum değerine eşdeğerlilik oranı 1,1 civarında ulaşmış bu durumda bütanol-benzin karışımı daha iyi bir sonuç vermiştir. Volümetrik verim fakir karışımlarda daha yüksek çıkmış ve motorun termik verimi eşdeğerlilik oranı 1,0 civarında bütanol-benzin karışımı kullanıldığında saf benzine göre %4,5 civarında bir azalma göstermiştir [4].

Mohsen Mohamed Osman deneysel çalışmasında benzinde vuruntu önleyici katkılar, benzin aromatiklerinin içerikleri ve buji ateşlemeli motor emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışmasında 4 zamanlı 4 silindirli Fiat marka motor ve 6 farklı benzin karışımı ile vuruntu önleyici katkılar kullanmıştır. Deneyler kısmi yük koşullarında ve değişik devir aralıklarında yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre kısmi yük koşullarında bütün karışımlar için %20 MTBE karışımının en düşük CO emisyonlarını %10 MTBE karışımının ise en düşük NO_x emisyonunu verdiğini belirtmiştir [21].

Kaelblein ve arkadaşları buji ateşlemeli motor performansı ve emisyonları üzerinde vuruntunun etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında tek silindirli bir CFR motoru ve farklı yakıtlar kullanmışlardır. Kullanılan yakıt karışımları arsında alkol karışımları da bulunmaktadır. Alkol benzin karışımları için karışımdaki alkol oranı hacimsel olarak %0, 5, 10 kullanılarak elde edilen oktan sayıları 85,3–85,7 ve 86,2 olan yakıtlar deney motorunda yakılarak sonuçlar gözlemlenmiştir. Aynı yakıt için, vuruntu yoğunluğu düşük motor devirlerinde ve yüksek oktan sayılarında daha dayanıklı çıkmıştır. Bütün yakıtlar için oktan sayısının artmasıyla birlikte egzoz

sıcaklığı önemsiz derecede artmıştır ve bu eğilimin motor devrine bağlı olmadığı bildirilmiştir. Çıkış gücündeki artış ve özgül yakıt tüketimindeki azalış yüksek oktan sayısına sahip benzinde benzin-alkol ve doğal gazı nazaran daha fazla görülmüştür [22].

Brown ve arkadaşları buji ateşlemeli motorlarda yanma ve alev hızını değerlendirmek için bir çevrim modeli geliştirmişlerdir. Çalışmalarında türbülanslı yanmanın fiziksel modeli, Ricardo E6 motorundan alınan deney bilgilerine karşılık geliştirilmiş ve onaylanmıştır. Çoğu test izo-oktan kullanılarak, değişik hava-yakıt oranlarında ve ateşleme zamanlarında, tam GKA (vuruntulu ve vuruntusuz) ve kısmi gaz keleşi açıklıklarında yapılmıştır. Tam GKA yapılan testlerin bazılarında metanol ve tolüene de kullanılmıştır. Metanol ve tolüenele yapılan testler izo-oktana göre önemsiz derecede farklılıklar göstermiştir fakat bu değişimlerinde eşdeğerlilik oranındaki 0,1'lik değişime bağlanabileceği, ayrıca metanol kullanıldığında oldukça yüksek ortalama efektif basınç elde edildiğini ve oldukça yanma hızının oldukça yükseldiğini bildirilmiştir [23].

Abdulghani ve Farayedhi buji ateşlemeli motorlarda oktan sayısının egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında en yaygın oksijenatlardan olan MTBE, etanol ve metanolü farklı oranlarda (%10, 15 ve 20) kurşunsuz benzine karıştırmışlar ve buji ateşlemeli bir motorda test etmişlerdir. Sonuç olarak genelde yakıtın oktan sayısı arttırıldığında CO ve HC emisyonlarının azalmakta fakat NO_x emisyonlarının artmakta olduğunu, ilaveten kurşunsuz benzin için motor hızı artırıldığında CO ve NO_x emisyonlarının artarken HC emisyonlarının azaldığını ve benzer eğilimin MTBE karışımlarında da görüldüğünü bildirmişlerdir [24].

Sandquist ve arkadaşları yakıt parametrelerinin yanma ve emisyonlar üzerine etkileri konusunda deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında direkt enjeksiyonlu buji ateşlemeli bir motor ve dört farklı yakıt kullanmışlardır. Yakıtlardan birisi Avrupa'da kullanılan kurşunsuz benzindir diğer üç yakıt %10 MTBE içermektedir. Ölçme işlemi düşük motor devirlerinde ve sabit yükte yapılmıştır. Motor kısmi yükte

çalıştırılmıştır. Sonuç olarak yakıtlar arasında emisyonlar açısından küçük farklar olduğunu, enjeksiyon başlangıcı için standart nokta seçildiğinde, ölçümler HC emisyon seviyesinin en üst değeri ile en alt değeri arasında %12 fark olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca egzozda yakıtın MTBE içeriğinden dolayı dikkate değer oranda MTBE de bulunduğu bildirilmiştir [25].

Literatürde yapılan deneysel çalışmaların yanında modellemeye dayalı teorik çalışmalarda yapılmıştır. Bayraktar, doktora çalışmasında Benzin-Etanol karışımlarının benzin motorlarında yanma ve motor çevrimi üzerindeki etkilerini teorik olarak incelemiştir. Yaptığı çalışmada termodinamiğin birinci kanununa dayanan ve sanki boyutlu çevrim modelini içeren buji ateşlemeli çevrim modeli geliştirmiştir ve bu modeli tek silindirli bir deney motoru ve dört silindirli bir otomobil benzin motorunda uygulamıştır. Sonuç olarak belirli oranlara kadar etanol içeren karışımların motorun performans özelliklerinde iyileşmeler yapacağı belirlenmiştir. Efektif güçte en fazla artış; tek silindirli deney motorunda; 9 sıkıştırma oranında ve 1500 min^{-1} motor hızında %25 etanol içeren karışımda %5,03 olarak, taşıt motorunda ise 9,2 sıkıştırma oranında ve 5800 min^{-1} motor hızında %25 etanol içeren karışımda %11,52 olarak açıklamıştır. Deney motorunun özgül yakıt tüketiminde en fazla azalma 9 sıkıştırma oranında ve $n=1500 \text{ min}^{-1}$ motor hızında %8 etanol içeren karışımda %0,912 olarak, taşıt motorunda ise 9,2 sıkıştırma oranında ve 5800 min^{-1} de %25 etanol içeren karışımla %5,52 olarak belirlenmiştir. Her iki motor için bütün çalışma koşullarında artan etanol oranı ile birlikte efektif verim artmakta, CO oranları ise azalmaktadır [5].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyler Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Anabilim Dalı, İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

3.1 Deney Düzeneği

3.1.1. Deney motorları

Deneyler iki farklı motorda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde ilk olarak 4 zamanlı, tek silindirli, sıkıştırma oranı değiştirilebilen Ricardo Hydra motorun bağlı olduğu bir araştırma deney düzeneği, daha sonra 4 zamanlı 4 silindirli Ford marka motor ve ona bağlı başka bir P8600 Cussons deney düzeneği kullanılmıştır. Deney motorlarının teknik özellikleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ricardo Hydra motora ait teknik özellikler

Motor Markası	Ricardo Hydra
Motor Tipi	Buji ile ateşlemeli, tek silindirli, dört zamanlı ve su soğutmalı
Çap (mm)	80,26
Kurs (mm)	88,9
Sıkıştırma Oranı	(5:1 - 13:1)
Ateşleme Zamanı	20° KMA ÜÖN'den sonra 70° KMA ÜÖN'den önce

Çizelge 3.2.Ford motora ait teknik özellikler

Motor Markası	Ford
Motor Tipi	Buji ile ateşlemeli, tek silindirli, dört zamanlı ve su soğutmalı
Sıkıştırma Oranı	8,8/1
Maksimum Motor Gücü	43 kW (5000 min ⁻¹ de)
Maksimum Motor Momenti	98 Nm (2500 min ⁻¹ de)
Silindir Çapı (mm)	73,96
Kurs Boyu (mm)	75,48
Silindir Hacmi	1297 cm ³

3.1.2. Dinamometreler

Ricardo Hydrda araştırma motorunun bağlı olduğu deney düzeninde Resim 3.1’de görülen McClure marka, hava soğutmalı, rejeneratif DC elektrikli dinamometre bulunmaktadır. Bu dinamometre, maksimum 30 kW güç, absorbe edebilecek çalışma aralığına ve maksimum 6500 min⁻¹ çalışma hızına sahiptir.



Resim 3.1. McClure marka rejeneratif DC dinamometre

Ford marka deney motorunun bağlı olduğu deney düzeneğinde Resim 3.2’de görülen Cussons P8601 model, su soğutmalı, hidrokinetik dinamometre bulunmaktadır. Bu dinamometre, maksimum 112 kW güç, absorbe edebilecek çalışma aralığına ve maksimum 9000 min⁻¹ çalışma hızına sahiptir.



Resim 3.2. Deneylerde kullanılan Cussons P8601 hidrolik dinamometre

3.1.3. Emisyon cihazı

Hava/yakıt oranını tayini için Çizelge 3.3’de özellikleri verilen Sun marka MGA 1500S modeli emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Resim 3.3’de emisyon cihazı görülmektedir.

Çizelge 3.3. Sun MGA 1500S egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri

SUN MGA 1500S	Ölçüm Aralığı	Hassasiyeti
Hava Fazlalık Katsayısı (λ)	0 – 4	0,001
CO (% hacimsel)	0 - 14	0,001
CO ₂ (% hacimsel)	0 - 18	0,01
HC (ppm)	0 - 9999	1
NO (ppm)	0 - 5000	1
O ₂ (% hacimsel)	0 - 25	0,01



Resim 3.3. Deneylerde kullanılan Sun MGA 1500 model emisyon test cihazı

3.2. Deney Koşulları ve Deneylerde Kullanılan Yakıtların Özellikleri

Deneyisel çalışmalarda kurşunsuz benzin (MTBE0) ve kurşunsuz benzine %99,9 saflıktaki MTBE'nin belirli oranlarda (%10-MTBE10, 20-MTBE20, 30-MTBE30) katılmasıyla elde edilen karışımlar kullanılmıştır. Karışımlar kurşunsuz benzine hacimsel olarak, ölçülü bir büret kullanılarak MTBE'nin karıştırılması ile hazırlanmıştır. MTBE'nin kurşunsuz benzine göre düşük ısı değeri nedeniyle dolayı MTBE ilavesi ile karışımların ısı değeri azalmaktadır. Kurşunsuz benzinin ısı değeri 44 MJ/kg, MTBE'nin 35,2 MJ/kg, MTBE10'un 43,144 MJ/kg, MTBE20'nin 42,283 MJ/kg, MTBE30'un 41,417 MJ/kg'dır [26]. Hazırlanan karışımların diğer özellikleri ODTÜ Petrol Araştırma Merkezi'nde (PAL) yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiş ve çizelge 3.4'te ayrıntılı olarak verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi kurşunsuz benzine MTBE ilavesi ile yoğunluğu azalmış, oktan sayısı artış göstermiştir.

Çizelge 3.4.Deney yakıtlarının özellikleri

	Yöntem	TS EN 228	MTBE0	MTBE10	MTBE20	MTBE30
Distilasyon % Hacim 70 °C 100 °C 150 °C Kaynama Noktası sonu °C	TS 1232 EN ISO 3405	%15-48 %40-71 %75 (en az) 210 (en fazla)	18,7 41,4 87,6 181,7	22,4 49,2 88,8 180,1	28,3 56,7 90,3 177	35,3 63,1 91,1 179,4
Yoğunluk (kg/m ³) 15 °C	TS 6311	720-775	772,9	770,6	767,6	764,9
Reid Buhar Basıncı (kPa)	ASTM D 323	45-60	51,9	51,4	52,5	52,3
Araştırma Oktan Sayısı (RON)	FTIR	95 (en az)	96,1	97,8	99,3	100,7
Motor Oktan Sayısı (MON)	FTIR	85 (en az)	85,8	87	88,3	89,4
*Isıl Değer (Mj/kg) [26]	---	---	44	43,144	42,283	41,417

* 26 nolu kaynaktan alınmıştır

3.3. Deneysel Çalışmalar

Tek silindirli Ricardo Hydra motorda, farklı sıkıştırma oranlarında, değişik GKA'da, değişik HFK'da, farklı AA değerlerinde ve farklı motor hızlarında deneyler yapılmıştır. Deneyler sırasında karşılaştırma yapmak amacı ile sabit sıkıştırma oranı, yakıt miktarı ve AA'na sahip Ford marka motorda farklı devirlerde ve tam GKA'da yapılmıştır. Yapılan deney prosedürü Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Deneylere başlamadan önce kullanılacak yakıt karışımları hacimsel olarak uygun şekilde hazırlanmış ve yakıt deposuna konulmuştur. Deney yapılacak sıkıştırma oranına motor önceden ayarlanmıştır. Bütün ölçümler için motor çalışma sıcaklığına (yaklaşık 80 °C) ulaşana kadar beklenmiştir. Deneyler sırasında soğutma işleminin doğru yapılabilmesi için soğutma suyuna şehir şebekesinden elle kumanda edilen bir vana vasıtasıyla su verilerek soğutma sıcaklığı kontrol altında tutulmuştur.

3.4 Ölçümler ve Hesaplamalar

3.4.1 Ortam şartları

Ortam basıncı bir barometre ile dijital olarak ölçülmüş, ortam sıcaklığı ise elektronik bir termometre ile sürekli olarak ölçülerek değişiklikler kaydedilmiştir.



Resim 3.4. Deneylerde ortam sıcaklığının ölçülmesi için kullanılan elektronik termometre

Çizelge 3.5. Deney prosedürü

	Sıkıştırma Oranı ϵ	GKA	HFK (λ)	Motor Hızı min^{-1}	AA
Ricardo Hydra araştırma deney düzenegi	10 ve 12	%100 Tam GKA	1	1500-5000 500 min^{-1} aralıklarla	Değişken Avans değeri (her devirde maksimum momenti verdiği değerler)
	10	%20-30-45-60-70-85-100	1	3000	26° KMA
	10 12	%100 Tam GKA	0,8-0,85-0,9-1-1,1-1,2	3000	26° KMA 23° KMA
	10 12	%100 Tam GKA	1	3000	5-10-15-20-24-26-28-32-36 5-10-15-20
Ford Cussons P8600 deney düzenegi	8.8	%100 Tam GKA	-----	1500-5000 500 min^{-1} aralıklarla	-----

3.4.2 Motor hızı

Motor hızı deney düzenekleri üzerinde bulunan elektronik takometre ile devir/dakika (min^{-1}) cinsinden ölçülmüştür. Cussons firmasının her iki deney düzeneğinde kullandığı hız sensörü $\pm\%1$ hassasiyetindedir.

3.4.3 Yakıt tüketimi

Yakıt tüketimini ölçebilmek için 0,1 g hassasiyetinde ölçüm yapabilen Ohaus GT 8000 marka bir terazi ve 0,01 sn hassasiyetinde Robic SC-700 marka kronometre kullanılmıştır. Deney şartları esnasında bir dakika boyunca tüketilen yakıt miktarı B (g/h) teraziden ölçülerek kütleli olarak hesaplanmıştır.

Örnek olarak; 3500 min⁻¹'de yakıtın ölçüm başlangıcındaki ağırlığı 3524 g, bir dakika sonrasındaki ağırlığı ise 3468 g dır.

Bu durumda bir dakika için harcanan yakıt miktarı 3524-3468=56 g/dk dır.

Saatte tüketilen yakıt ise; 56 x 60 =3360 g/h olarak hesaplanmaktadır.

3.4.4 Moment

Moment, yakıtın kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi sonucu sıcaklık ve basınçları yükselen yanma gazlarının pistonun üzerine etki ettiği kuvvetin krank milini döndürebilme etkisidir. Motor momenti dinamometre tarafından ölçülmekte ve Resim 3.5 ve Resim 3.6'da görülen kontrol panelleri üzerindeki dijital göstergeden okunmaktadır ve değişen ortam şartları göz önüne alınarak TS1231 ile belirlenmiş olan düzeltme faktörü ile düzenlenmiştir. Ricardo Hydras araştırma motorunun bağlı olduğu McClure marka, hava soğutmalı, rejeneratif DC elektrikli dinamometre 80 Nm ye kadar 0,01 Nm hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. Cussons P8601 model, hidrokinetik dinamometre de ise 0,1 Nm hassasiyetinde ölçüm yapılabilmektedir.

Düzeltilme faktörü;

$$K_d = \left(\frac{99}{P} \right)^{1,2} \left(\frac{T}{298} \right)^{0,6} \quad (3.1)$$

P= Atmosferik basınç (kPa)

T= Atmosferik sıcaklık (K)

$$M_d = K_d \times M \quad (3.2)$$

Örnek olarak; 3500 min⁻¹'da çevre sıcaklığı 23 °C, ortam basıncı 92,1 kPa olarak ölçülmüştür.

$$T=273 + 23=296 \text{ K}$$

$$P=92,1 \text{ kPa}$$

$$K_d = \left[\frac{99}{92,1} \right]^{1,2} \times \left[\frac{296}{298} \right]^{0,6} = 1,0862 \text{ Nm olarak bulunur.}$$

Dinamometre göstergesinden okunan moment değeri 28,39 Nm dir. Eş.3.2'de yerine koyularak düzeltilmiş moment değeri $M_d = 28,39 \times 1,0862 = 30,84$ olarak hesaplanır.



Resim 3.5. McClure marka rejeneratif DC dinamometrenin kontrol ve gösterge paneli



Resim 3.6. Cussons P8601 hidrolik dinamometrenin kontrol ve gösterge paneli

3.4.5. Efektif Güç

Güç birim zamanda yapılan iştir. Moment motorun iş yapabilme yeteneğini ifade etmektedir. Efektif güç ise iş yapabilme oranını ifade etmektedir. Efektif güç ölçülen moment değeri ile açısal hızdan Eş.3.3'den hesaplanmaktadır.

$$P_e = \frac{2 \pi n M_d}{60000} = \text{kW} \quad (3.3)$$

Örnek olarak; 3500 min⁻¹'de düzeltilmiş motor momenti $M_d=32,42$ Nm iken efektif

$$\text{güç Eş.3.3'den } P_e = \frac{2 \times \pi \times 3500 \times 32,42}{60000} = 11,88 \text{ kW olarak bulunur.}$$

3.4.6 Özgül yakıt tüketimi

Özgül yakıt tüketimi birim motor gücü için harcanan kütleli yakıt miktarıdır. Toplam yakıt tüketimi ve efektif güç bilindiğinden Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT) Eş. 3.4'den hesaplanmaktadır.

$$b_e = \frac{B}{P_{\text{efektif}}} \quad (3.4)$$

b_e = Özgöl yakıt tüketimi [g/kW-h]

B = Yakıt tüketimi [g/h]

P_e = Efektif güç [kW] dir.

Örnek olarak; 3500 min⁻¹'de $B=3360$ g/h ve efektif güç ise yukarıda hesaplandığı üzere 11,88 kW olduğunda $b_e = \frac{3360}{11,88} = 282,83$ [g/kW - h] olarak bulunur.

3.4.7 Termik verim

Eş.3.6'dan görüldüğü gibi termik verim motordan elde edilen faydalı gücün harcanan enerjiye oranıdır.

$$\eta_t = \frac{P_e}{Q_{in}} \quad (3.5)$$

$$Q_{in} = H_u \cdot \dot{m}_y = (\text{kW}) \quad (3.6)$$

H_u = Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg) ve $\dot{m}_y$ = Yakıtın debisi (kg/s)

örnek olarak 3500 min⁻¹'de yukarıda hesaplanıldığı üzere 11,88 kW ve yakıtın ısı değeri 41,417 MJ/kg dir. Eş.3.6 dan $Q_{in} = [41,417 \times 10^3] \times \left[\frac{3360 \times 10^{-3}}{3600} \right] = 38,65$ kW

olur. Eş.3.5 den $\eta_t = \frac{11,88}{38,65} = \%30,73$ olur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Performans Sonuçlarının İncelenmesi

Bu bölümde deneylerden elde edilen sonuçlar ve bunlara bağlı olarak yapılan hesaplamalardan elde edilen, motor momenti, efektif güç, termik verim ve özgül yakıt tüketimi gibi motor performansını gösteren parametreler grafikler halinde verilmiştir. Bütün bu parametreler değişik çalışma koşullarının etkisini inceleyebilmek amacıyla, tüm deney yakıtları için sıkıştırma oranı, motor hızı, hava fazlalık katsayısı ve ateşleme avansı değiştirilerek ölçümler yapılmıştır.

4.1.1 Motor hızına bağlı performans sonuçlarının incelenmesi

Bu bölümde bütün karışım oranları ve sıkıştırma oranları için döndürme momenti, efektif güç, ortalama efektif basınç, özgül yakıt tüketimi ile ilgili grafiklere ve sonuçlara yer verilmiştir.

Motor momentinin motor hızına göre değişimi

Tek silindirli Hydra deney motorunda 10 ve 12 sıkıştırma oranlarında, $\lambda=1$ ve en yüksek momentin elde edildiği AA şartlarında; Ford motorunda ise standart motor değerlerinde MTBE0, MTBE10, MTBE20 ve MTBE30 yakıtları için deneyler yapılmıştır

Şekil 4.1 incelendiğinde Hydra motorda 10/1 sıkıştırma oranı için için en yüksek moment değerleri MTBE10 karışımı ile elde edilmekle birlikte bütün MTBE karışımları kurşunsuz benzinden daha iyi sonuçlar vermiştir. En yüksek moment değeri 3500 min^{-1} de MTBE10 karışımı için 34,24 Nm olarak elde edilmiş, bu değer kurşunsuz benzine göre %33,24 daha yüksek çıkmıştır. Karışımındaki MTBE oranı artırıldıkça moment değerleri de giderek düşmüştür.

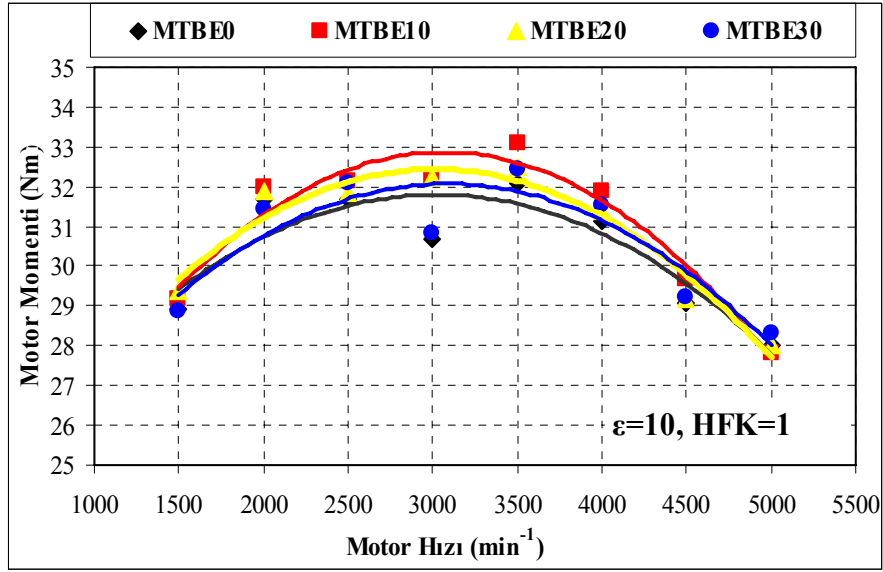
Şekil 4.2’de ise Hydra motorda 12/1 sıkıştırma oranı için moment-motor hızı grafiği verilmiştir. Şekil incelendiğinde 10/1 sıkıştırma oranına göre tam tersi bir durum söz konusudur. Moment değerleri birbirine yakın olmakla birlikte en yüksek moment değeri kurşunsuz benzinde elde edilmiş sonrasında MTBE oranı yüksek olan karışımdan başlayarak azalmıştır. En yüksek moment değeri 33,67 Nm olarak kurşunsuz benzinde elde edilmiştir. Yalnız düşük ve yüksek motor hızlarında MTBE karışım değerleri kurşunsuz benzine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. 1500 min⁻¹ için en iyi moment değeri 31,64 Nm olarak MTBE30 karışımında elde edilmiştir. Bu değerde kurşunsuz benzine göre % 4,7’lik bir iyileşme söz konusudur. 5000 min⁻¹’de ise en yüksek moment değeri yine MTBE30 karışımı ile 30,47Nm olarak elde edilmiş ve bu değerde kurşunsuz benzine göre %5’lik bir iyileşme sağlanmıştır.

Şekil 4.3’te ise sıkıştırma oranı 8,8/1 olan Ford motorunun moment-hız grafiği verilmektedir. Şekil incelendiğinde burada da en iyi moment değerleri Hydra motorda 10/1 sıkıştırma oranı ile elde edilen sonuçlara benzer çıkmıştır. Burada da en yüksek moment değeri MTBE10 karışımı ile elde edilmekle birlikte bütün karışım değerleri kurşunsuz benzine göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. En yüksek moment değeri ise 94,92 Nm olarak MTBE10 karışımında elde edilmiştir. MTBE10 karışımı ile elde edilen moment değeri kurşunsuz benzine göre %2,2 daha yüksek çıkmıştır.

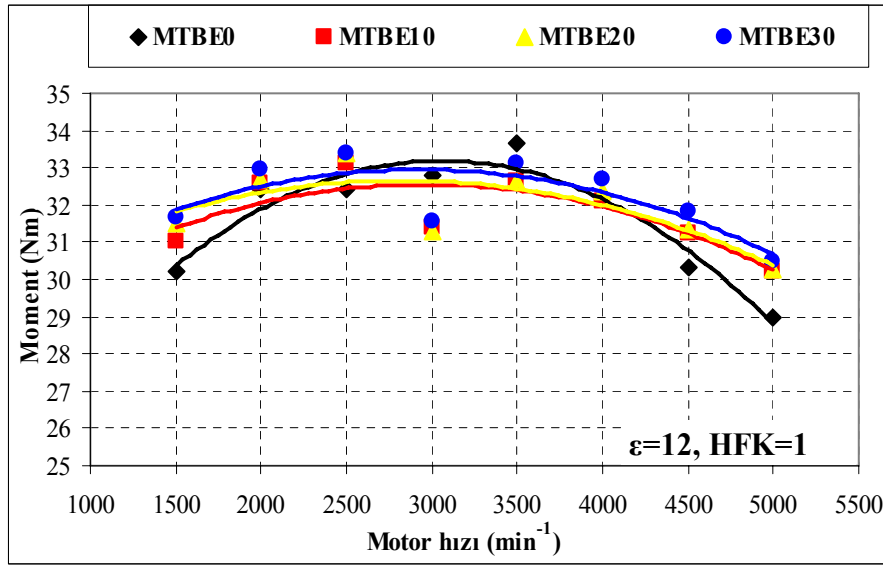
Moment-devir grafikleri incelendiğinde maksimum moment devri genellikle orta motor hızlarına tekabül etmektedir. Hydra motor için 10/1 sıkıştırma oranında ve Ford motor için en iyi sonuç MTBE10 karışımı ile elde edilmiştir. Bu sonuç literatürde ortaya konulan sonuçlarla benzerlik göstermektedir [7, 16]. Yine literatürle uyumlu olarak %10 karışım oranından sonra, MTBE ilavesine bağlı olarak moment değeri azalmıştır [7, 18, 19]. Bu sonucun en önemli nedeni; MTBE ilavesinin oktan sayısını iyileştirici olumlu etkisi, belli bir karışım oranından sonra MTBE nin düşük ısı değeri nedeniyle karışımın ısı değerindeki azalmaya bağlı olarak karşılanılamamaktadır [12, 18]. MTBE ilavesinin moment üzerindeki olumlu etkisi motor hızına bağlı olarak değişim göstermektedir. Düşük ve yüksek motor hızlarında moment artış değerleri orta motor hızlarındaki artışa göre daha az oranda gerçekleşmiştir. Her iki motoru içinde maksimum moment devri 3500 min⁻¹’e

tekabül etmektedir. En fazla dolgu miktarı silindire bu devirde alınmaktadır. Bu devrin altındaki ve üstündeki motor hızlarında süpürme kayıpları artmakta ve volümetrik verim düşmektedir. Şekil 4.4'te ise Hydra motor için her iki sıkıştırma oranında, bütün yakıt karışımlarının moment değerlerinin, motor hızına bağlı olarak değişimi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil incelendiğinde kullanılan yakıt karışımına bakılmaksızın sadece sıkıştırma oranının artırılması ile düşük ve yüksek motor hızlarında, moment değerlerinde belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Maksimum moment devri için karşılaştırma yapıldığında belirgin bir fark görülmemekle birlikte 12/1 sıkıştırma oranına sahip olan motordan elde edilen moment değerleri biraz daha yüksek çıkmıştır.

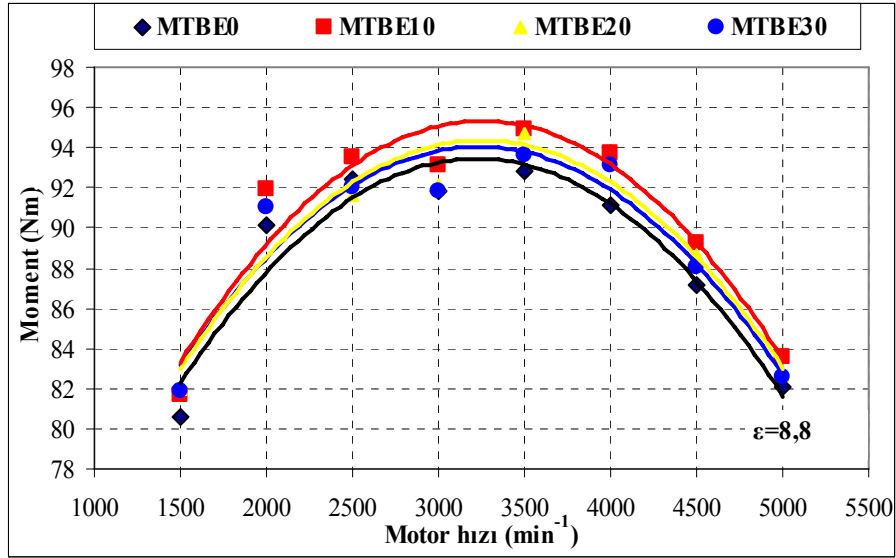
Düşük motor hızlarında moment değerlerinin düşük çıkması volümetrik verimin düşük olması yanında motorun yavaş çalışması sebebiyle silindir duvarlarına olan ısı kayıplarının yüksek olmasından da kaynaklanmaktadır. Devir sayısı artıp motor orta hızlara ulaştığında ise volümetrik verim artmakta ve kayıplar azaldığı için moment değerleri artmaktadır. Yüksek motor hızlarında ise emme sisteminde kısılma kayıplarından dolayı volümetrik verim düşmektedir. Ayrıca motor hızının artışına bağlı olarak yüksek hızlarda sürtünme kayıpları da artmaktadır.



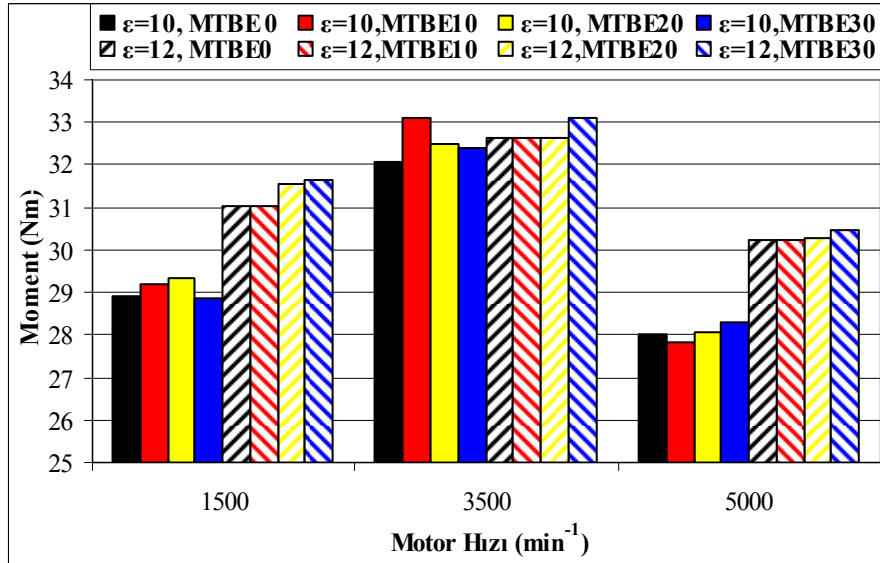
Şekil 4.1. Hydra deney motorunda motor momentinin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, HFK=1)



Şekil 4.2. Hydra deney motorunda motor momentinin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, HFK=1)



Şekil 4.3. Ford deney motorunda motor momentinin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\varepsilon=8,8$)



Şekil 4.4. Hydra deney motorunda motor momentinin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\varepsilon=10$, $\varepsilon=12$)

Özgöl yakıt tüketiminin motor hızına bağlı olarak değişimi

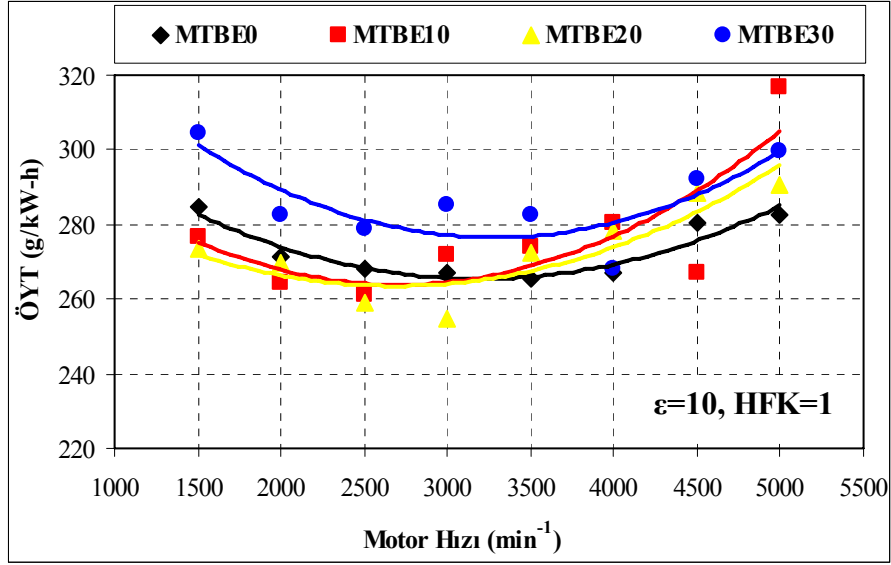
Şekil 4.5'te Hydra deney motoru için 10/1 sıkıştırma oranında özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük özgül yakıt tüketim değeri 3000 min^{-1} motor hızında MTBE20 karışımı ile elde edilmiştir. Düşük ve orta motor hızlarına kadar MTBE10 ve MTBE20 karışımlarından birbirine yakın sonuçlar elde edilmiş ve bu değerlerin kurşunsuz benzinin özgül yakıt tüketiminden daha az olduğu görülmüştür. Orta motor hızlarından sonra karışımların özgül yakıt tüketim değerleri hızlı bir artma eğilimine girerken, kurşunsuz benzinin özgül yakıt tüketimindeki artış daha düşük kalmış ve orta ve üstü motor hızları için en uygun özgül yakıt tüketim değerleri kurşunsuz benzinde elde edilmiştir. Özgül yakıt tüketiminde en fazla iyileşme 3000 min^{-1} motor hızında MTBE20 karışımı ile MTBE0'a göre %4,5 azalarak gerçekleşmiştir. Bu motor hızında MTBE20 karışımının ÖYT'si 255 g/kW-h , MTBE0'ın 267 g/kW-h olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.6'da Hydra deney motoru için 12/1 sıkıştırma oranında özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekilden bütün karışım değerleri için özgül yakıt tüketimi değerlerinin kurşunsuz benzine göre daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük özgül yakıt tüketimi değerleri MTBE20 karışımı için elde edilmiştir. Düşük motor hızları için MTBE30 karışımı daha iyi sonuçlar vermiş fakat daha sonra artan motor hızıyla birlikte özgül yakıt tüketimi de artmıştır. En düşük özgül yakıt tüketimi ise yine MTBE20 karışımı için 2500 min^{-1} de $240,27 \text{ g/kW-h}$ olarak elde edilmiştir. Kurşunsuz benzine nazaran özgül yakıt tüketimindeki en büyük azalma 4500 min^{-1} motor hızında MTBE20 karışımı ile $251,86 \text{ g/kW-h}$ olarak elde edilmiştir ki bu da yaklaşık olarak %12'lik bir iyileşmeye tekabül etmektedir.

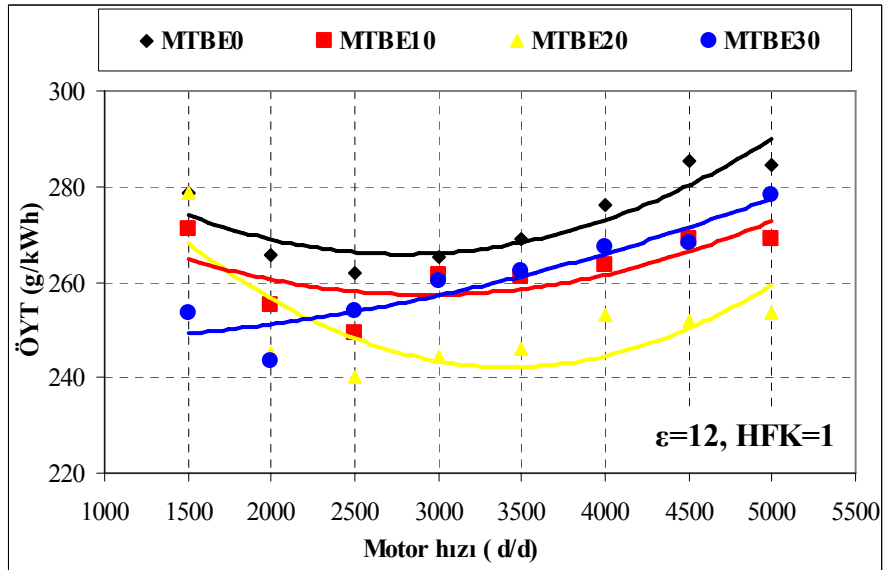
Şekil 4.7'de Ford motoru için (8,8/1 sıkıştırma oranında) özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı değişimi görülmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi özgül yakıt tüketimi değerleri 3000 min^{-1} 'e kadar MTBE10 için düşük olsa da bu devirlerden sonra hızlı bir artış göstermiştir. Tüm motor hızları dikkate alındığında en uygun

değerler kurşunsuz benzin için elde edilmiş ve en düşük özgül yakıt tüketimi 3500 min^{-1} için 259 g/kW-h olarak kurşunsuz benzin kullanıldığında elde edilmiştir.

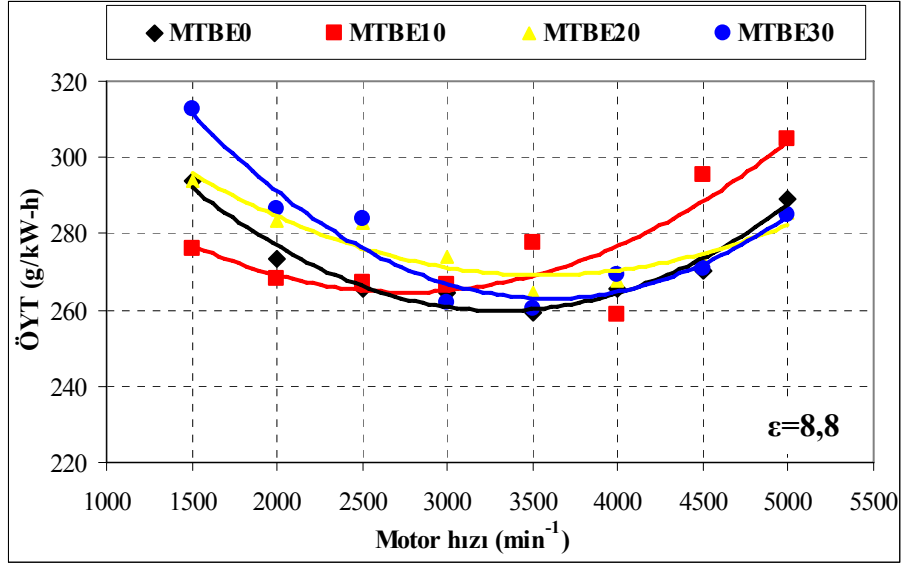
Şekillerden de görüldüğü gibi belirli oranda MTBE eklenmesi ile artan oktan sayısının yanma üzerindeki olumlu etkisi özgül yakıt tüketiminde azalmaya neden olmaktadır. Hydra deney motorunda 10/1 sıkıştırma oranı ve Ford motoru için özellikle düşük motor hızlarında MTBE ilavesi ile özgül yakıt tüketiminde azalma olmuştur. Bütün yakıtlar için özgül yakıt tüketim değerleri orta motor hızlarında en iyi değerine ulaşmaktadır. Bunun sebebi de yine önceki bölümlerde bahsedildiği üzere düşük ve yüksek devirlerde oluşan süpürme kayıpları ve volümetrik verimde azalmadır. Özgül yakıt tüketimi motorun maksimum momentinin elde edildiği değerlerde en düşük değerine ulaşır. Şekil 4.8’de Hydra motorunda her iki sıkıştırma oranı için yapılan deney sonuçlarından elde edilen özgül yakıt tüketim değerlerinin motor devrine göre değişim değerleri bir arada verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi artan sıkıştırma oranı ile birlikte bütün karışımlar için özgül yakıt tüketim değerleri azalmıştır. Özgül yakıt tüketiminde MTBE0’a göre en fazla iyileşme; 1500 min^{-1} için MTBE30 karışımında %16,78 olarak, 3500 min^{-1} için MTBE20 karışımı ile %9,7 olarak ve 5000 min^{-1} MTBE10 karışımı için %15 olarak gerçekleşmiştir. Bu iyileşmenin en büyük etkeni MTBE ilavesi ile artan oktan sayısının yanma üzerindeki olumlu etkisidir.



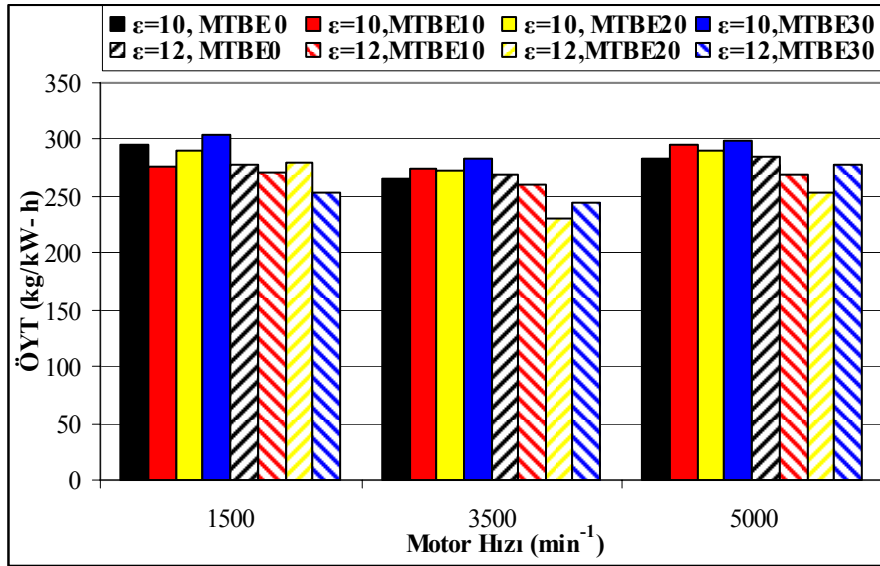
Şekil 4.5. Hydra deney motorunda özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, HFK=1)



Şekil 4.6. Hydra deney motorunda özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, HFK=1)



Şekil 4.7. Ford deney motorunda özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\varepsilon=8,8$)



Şekil 4.8. Hydra deney motorunda özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\varepsilon=10$, $\varepsilon=12$)

Termik verimin devre göre değişimi

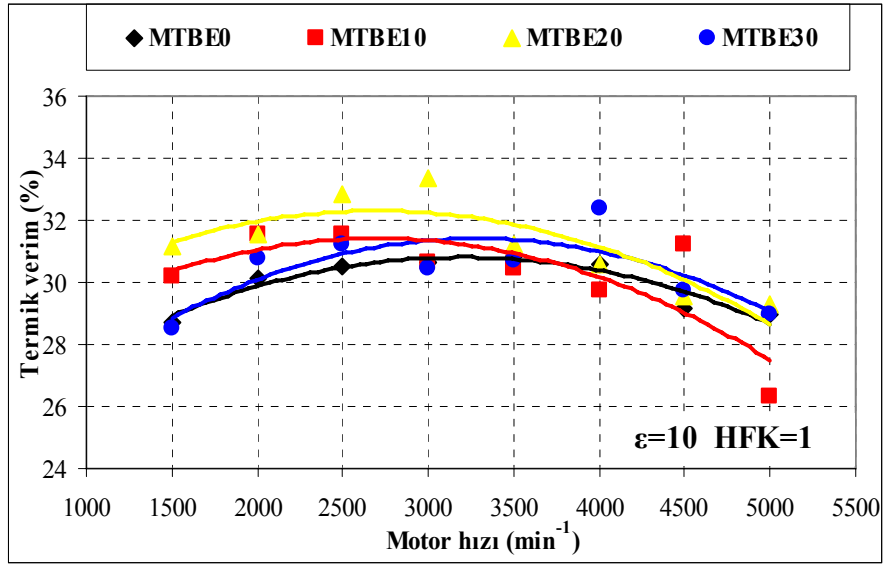
Termik verim motordan elde edilen faydalı gúcün harcanan enerjiye oranıdır. şekil 4.9'da Hydra deney motoru için 10/1 sıkıştırma oranında termik verimin motor hızına göre değişimi görölmektedir. şekilden de göröldüğü gibi bütün MTBE karışımlarının termik verim değerleri kurşunsuz benzinden daha iyidir. Bütün motor hızlarını dikkate aldığımızda en yüksek termik verim değerleri 3000 min⁻¹'de MTBE20 karışımı ile %33,38 olarak elde edilmektedir ve MTBE0'a göre %8,9 artış sağlamıştır.

şekil 4.10'da ise Hydra deney motoru için 12/1 sıkıştırma oranında termik verimin motor hızına göre değişimini görölmektedir. Bu sıkıştırma oranında da bütün karışımlar için termik verim değerleri kurşunsuz benzinden daha yüksek çıkmıştır. Bu sıkıştırma oranı için düşük motor hızlarında en yüksek termik verim değerleri MTBE30 karışımı ile elde edilmiştir, en yüksek termik verim değeri de yine MTBE30 karışımı ile 2000 min⁻¹ motor hızında %35,7 olarak elde edilmiştir. Bu değer ile birlikte aynı motor hızı için kurşunsuz benzine göre yaklaşık olarak %16'lık bir iyileşme sağlanmıştır. Orta ve yüksek motor hızlarında ise en yüksek termik verim değerleri MTBE20 karışımı ile elde edilmiştir, orta ve üstü motor hızları için ise en yüksek termik verim değeri 3500 min⁻¹'de %34,63 olarak MTBE20 karışımı ile elde edilmiştir. Bu değer kurşunsuz benzine göre %13.95 daha yüksektir. Düşük motor hızları için MTBE30 karışımı ile elde edilen termik verim değerleri en yüksek seviyelerde iken artan motor hızıyla birlikte düşüş göstermiştir. Elde edilen termik verim değerleri karışımdaki MTBE oranına bağlı bir artış göstermiştir.

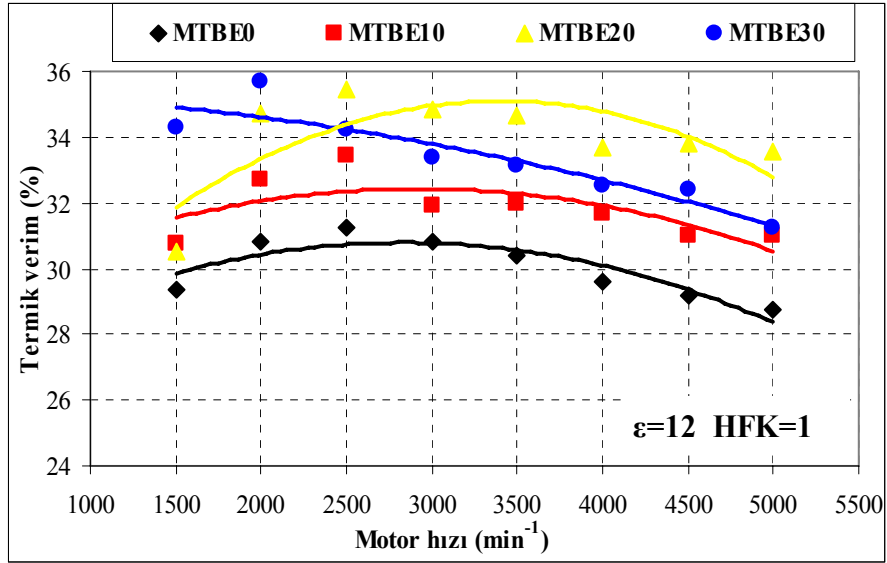
şekil 4.11'de Ford motor için termik verimin özgül yakıt tüketimine göre değişimi verilmiştir. Bu deney motoru için orta motor hızlarına kadar MTBE10 katışımının termik verimi yüksek değerler alırken orta ve yüksek motor hızlarında MTBE30 karışımıyla elde edilen termik verim değerleri daha yüksek çıkmıştır. En yüksek termik verim değeri 3500 min⁻¹ motor hızında %33,358 olarak MTBE30 karışımı ile elde edilmiş aynı motor hızı için kurşunsuz benzine göre %5,7 lik bir artış elde

edilmiştir. Termik verimde en fazla artış ise yine MTBE30 karışımı ile 5000 min^{-1} motor hızında yaklaşık olarak %8 olmuştur.

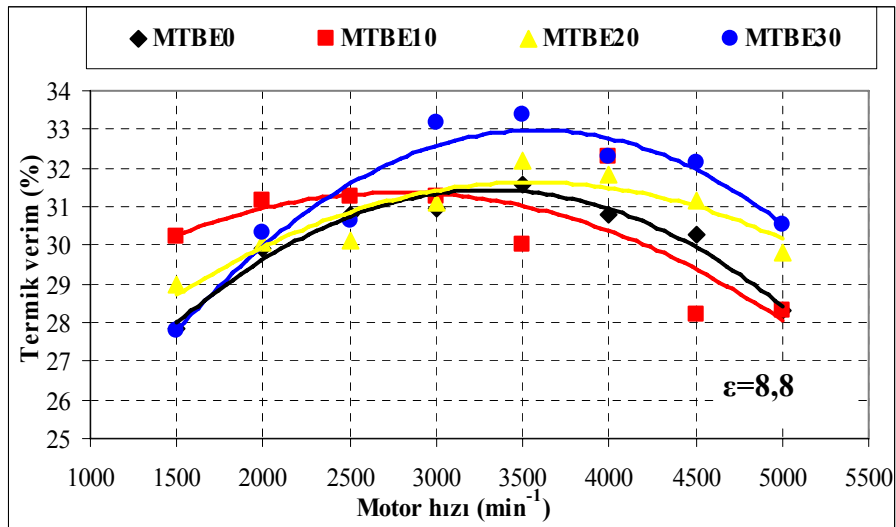
Şekillerden görüldüğü gibi benzine MTBE katılmasının, termik verimi iyileştirici bir etkisi olmuştur. Çünkü benzine MTBE katılmasının, oktan sayısını artırıcı etkisi ile birlikte düşük ısıl değeri yanma sıcaklığında azalma meydana getirmektedir. Böylelikle ısı kayıpların azalması ile termik verim iyileşmektedir.



Şekil 4.9. Hydra deney motorunda termik verimin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, HFK=1)



Şekil 4.10. Hydra deney motorunda termik verimin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, $HFK=1$)



Şekil 4.11. Ford deney motorunda termik verimin motor hızına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=8,8$)

4.1.2. Hava fazlalık katsayısının motor performansına etkilerinin incelenmesi

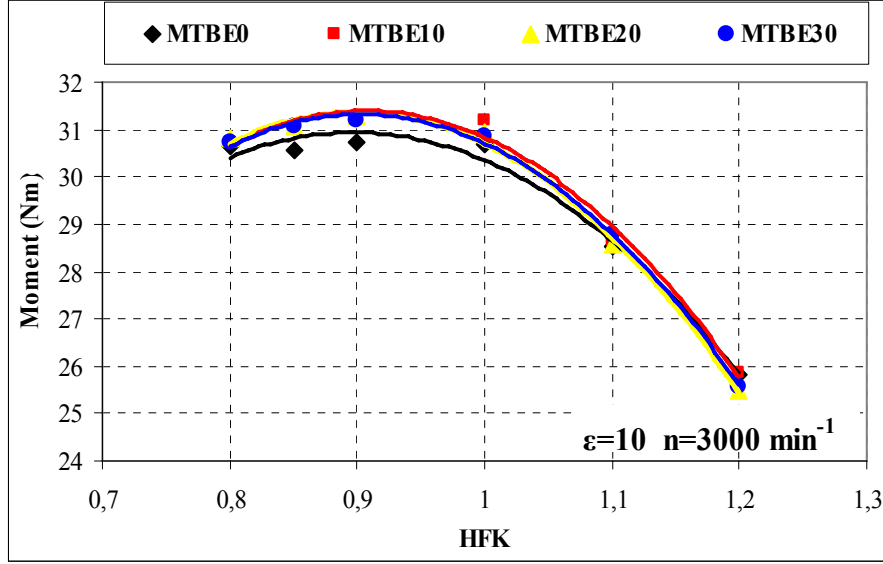
HFK değişimine bağlı deneyler Hydra motorunda motor hızı 3000 min^{-1} 'de sabit tutularak 10/1 ve 12/1 sıkıştırma oranlarında deneyler yapılmıştır.

Motor momentinin hava fazlalık katsayısına göre değişimi

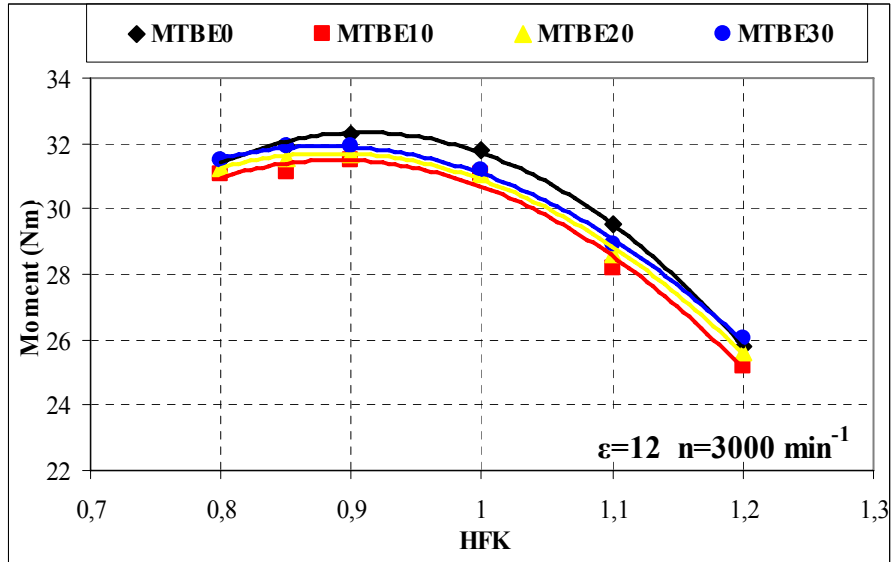
Şekil 4.12'de Hydra motor için 10/1 sıkıştırma oranında motor momentinin HFK'ya bağlı olarak değişimi görülmektedir. Şekil incelendiğinde MTBE karışımları arasında çok büyük farklılıklar olmamakla birlikte bütün karışım değerleri için yaklaşık olarak bütün HFK değerlerinde kurşunsuz benzine göre daha iyi moment değerleri elde edilmiştir. Biraz zengin karışımlarda yanma hızı artmakta ve motor momenti yükselmektedir. Bütün yakıtlar için en yüksek moment değerleri $\lambda=0,9$ değerinde elde edilmiş, en yüksek moment değeri ise yine aynı HFK değerinde MTBE10 karışımı ile 31,29 Nm olarak elde edilmiştir, bu da kurşunsuz benzine göre yaklaşık olarak % 2'lik bir iyileşmeyi ifade etmektedir.

Şekil 4.13'te ise aynı motor için 12/1 sıkıştırma oranındaki HFK değerleri için momentin değişimini göstermektedir. Sıkıştırma oranı artırıldığında ise en iyi moment değerleri kurşunsuz benzinde elde edilmektedir. Kurşunsuz benzinden sonra ise MTBE30 karışımı ve sonra sırasıyla karışımdaki MTBE oranı azaldıkça moment değerinin de azaldığı görülmektedir. En yüksek moment değerleri bu sıkıştırma oranı için de $\lambda=0,9$ değerinde elde edilmiştir. En yüksek moment değeri kurşunsuz benzinle 32,3 Nm olarak elde edilmiştir. Stokiyometrik hava/yakıt oranından itibaren HFK artırıldığında ($\lambda=1,1$ ve $1,2$) karışım fakirleşerek silindire içerisinde alınan yakıt azalmaktadır. Otto motorlarında hava-yakıt karışımı daha da fakirleştirildiğinde ($\lambda>1,3$) yanma sürecinin normal gelişimi için gerekli reaksiyon ortamını sağlayamamaktadır. Böylelikle motor momentinde de giderek azalmaya neden olmaktadır. Karışımın HFK oranı artırıldığında yanma başlangıcında alev teşkili oluşamamakta ve yanma tam olarak sağlanamamaktadır. HFK'nın aşırı düşük olduğu durumlarda ise; stokiyometrik orana göre hava/yakıt karışımı daha zengin

oluşmaktadır. Aşırı zengin karışımlarda yakıtın yanabilmesi için yeterince oksijen sağlanamadığından alev hızı azalmakta ve yanma olumsuz olarak etkilenmektedir.



Şekil 4.12. Hydra deney motorunda motor momentinin HFK'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, $AA=26^\circ \text{ KMA}$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)



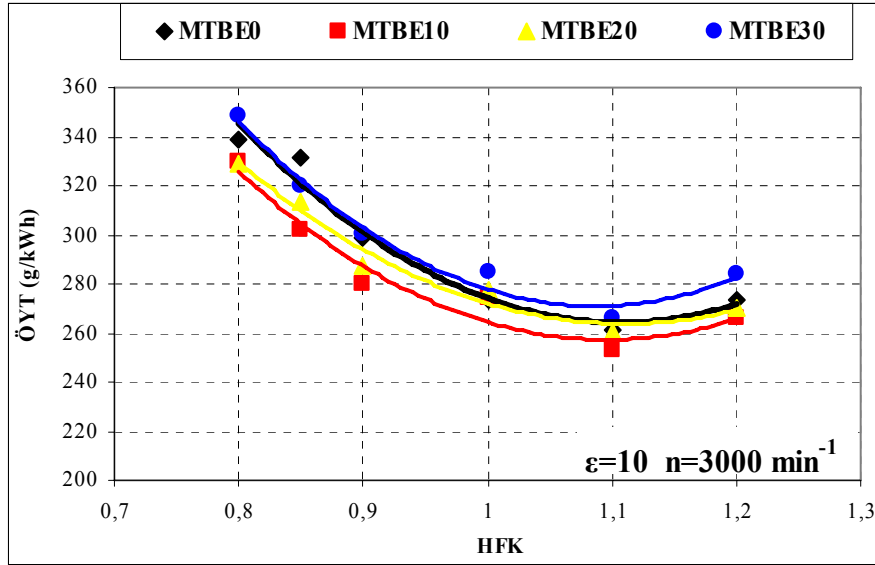
Şekil 4.13. Hydra deney motorunda motor momentinin HFK'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, $AA=23^\circ \text{ KMA}$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)

Özgöl yakıt tüketiminin hava fazlalık katsayısına göre değişimi

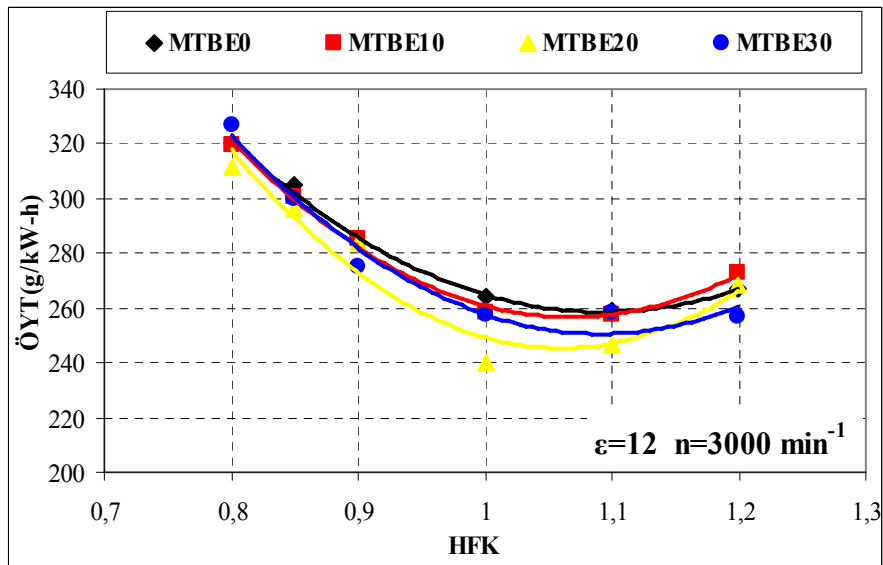
Şekil 4.14. ve 4.15'te Hydra deney motoru için özgül yakıt tüketiminin HFK değerine bağlı olarak değişimi görülmektedir. 10/1 sıkıştırma oranı için en düşük özgül yakıt tüketim değerleri bütün HFK değerlerinde MTBE10 karışımı ile elde edilmiştir. MTBE10 ve MTBE20 karışımlarının özgül yakıt tüketim değerleri kurşunsuz benzine göre daha iyi çıkmıştır. En düşük özgül yakıt tüketimi $\lambda=1,1$ değeri için MTBE10 karışımında 253,33 g/kW-h olarak elde edilmiştir, bu HFK değeri için kurşunsuz benzine göre %3'lük bir azalma söz konusu olmuştur.

Sıkıştırma oranı 12/1 olduğunda farklı bir durum söz konusudur. En uygun özgül yakıt tüketimi değerleri MTBE20 karışımı için elde edilmiştir. Sonra sırasıyla MTBE 30 ve MTBE10 karışımı kurşunsuz benzine göre daha düşük özgül yakıt tüketimi değerlerini vermişlerdir. En düşük özgül yakıt tüketim değeri MTBE20 karışımı için $\lambda=1$ değerinde 239,75 gr/kW-h olarak tespit edilmiştir. Bu değer kurşunsuz benzine göre yaklaşık olarak % 9,3 ve 10/1 sıkıştırma oranındaki MTBE10 karışımı ile elde edilen en düşük özgül yakıt tüketim değerine göre de % 5,3 daha az olduğu tespit edilmiştir.

Otto motorlarının maksimum motor momenti, gaz keleşinin tam açık konumunda hava fazlalık katsayısı (HFK) λ ve ateşleme avansı değerlerinin vuruntu olmayacak şekilde ayarlanmasıyla elde edilmekte ve bu durumda yakıt tüketimi minimum olmamaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi HFK 1.1 değeri için ÖYT minimum değerini almaktadır.



Şekil 4.14. Hydra deney motorunda ÖYT'nin HFK'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, $AA=26^\circ$ KMA, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)

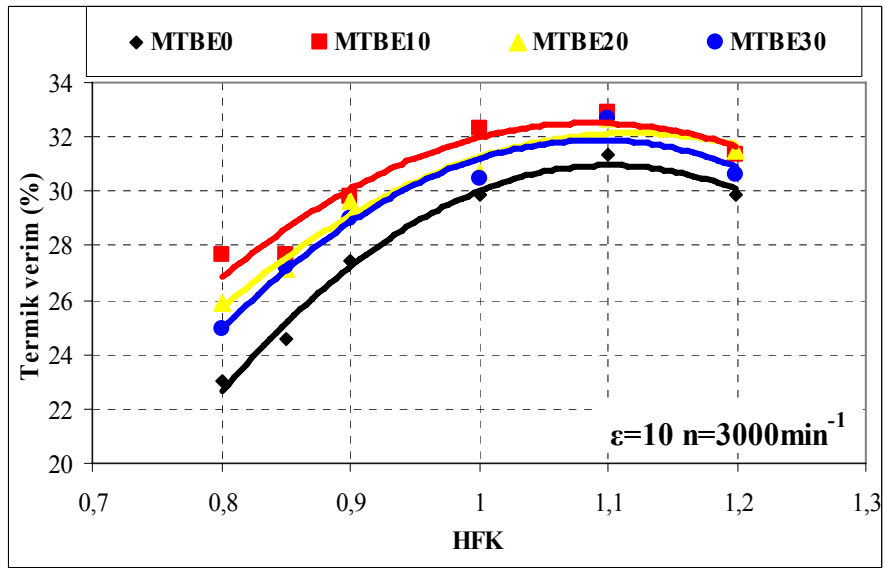


Şekil 4.15. Hydra deney motorunda ÖYT'nin HFK'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, $AA=23^\circ$ KMA, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)

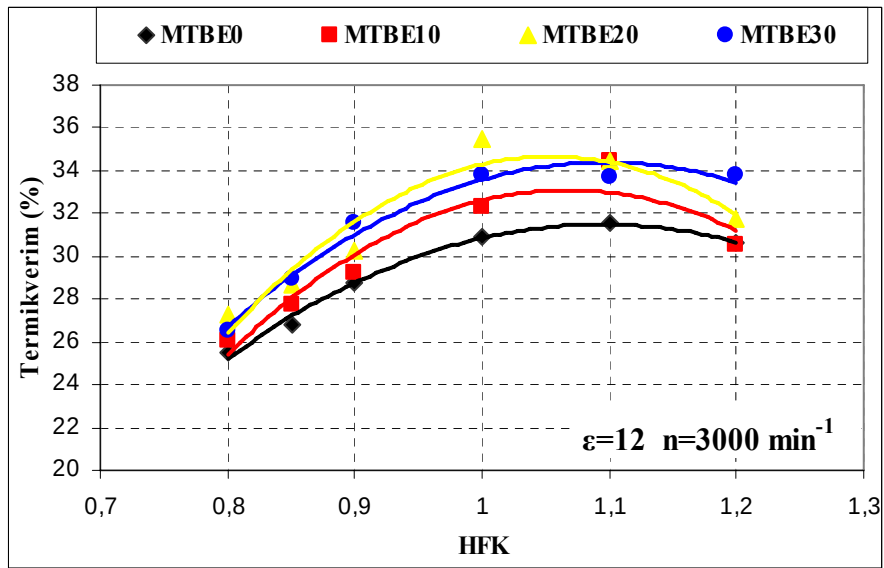
Termik Verimin hava fazlalık katsayısına göre değişimi

Şekil 4.16'da 10/1 sıkıştırma oranı için termik verimin hava fazlalık katsayısına göre değişimi görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere termik verim bütün yakıtlar için en yüksek değerlerine $\lambda=1,1$ noktasında ulaşmıştır. Bu noktaya kadar bütün yakıtlar için termik verimde bir artış söz konusudur. Bu noktadan sonra ise bütün yakıtlar için termik verim değerlerinde düşüş görülmüştür. Bütün MTBE karışım değerlerinin termik verimleri birbirine yakın olmakla birlikte hepsi kurşunsuz benzinin termik veriminden daha yüksek çıkmıştır. En yüksek termik verim değerine yine $\lambda=1,1$ noktasında %32,93 ile MTBE10 karışımıyla ulaşılmış olup bu değer ile birlikte kurşunsuz benzine göre %1,5'lik bir iyileşme söz konusudur.

Şekil 4.17'de ise 12/1 sıkıştırma oranı için termik verimin hava fazlalık katsayısına göre değişimi gösterilmiştir. Yine bu sıkıştırma oranı içinde bütün karışımların termik verim değerleri kurşunsuz benzine göre daha yüksek çıkmıştır. MTBE20 ve MTBE30 için en yüksek termik verim değerleri $\lambda=1,1$ değerinde elde edilirken, MTBE10 ve kurşunsuz benzin için $\lambda=1$ değerinde elde edilmiştir. En yüksek termik verim değeri MTBE20 karışımı ile $\lambda=1$ oranında %35,51 olarak gerçekleşmiştir. Bu nokta için kurşunsuz benzine göre yaklaşık olarak %15'lik bir iyileşme söz konusudur. Sıkıştırma oranının artmasına paralel olarak termik verim değerleri de artmıştır. Aynı karışım oranları için en yüksek artış %16 olarak MTBE20 karışımında görülmüştür. 10/1 sıkıştırma oranına göre karışım değerleri açısından tam tersi bir durum söz konusudur. Bunun nedeni MTBE ilave edilmesi ile oktan sayısının geliştirilmesi ve yüksek sıkıştırma oranlarına olanak sağlanmasıdır.



Şekil 4.16. Hydra deney motorunda için termik verimin HFK'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, $AA=26^\circ \text{ KMA}$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)



Şekil 4.17. Hydra deney motorunda termik verimin HFK'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, $AA=23^\circ \text{ KMA}$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)

4.1.3 Ateşleme avansının motor performansına etkilerinin incelenmesi

AA'nın değişimine bağlı deneyler Hydra motorunda motor hızı 3000 min^{-1} 'de sabit tutularak 10/1 ve 12/1 sıkıştırma oranlarında yapılmıştır.

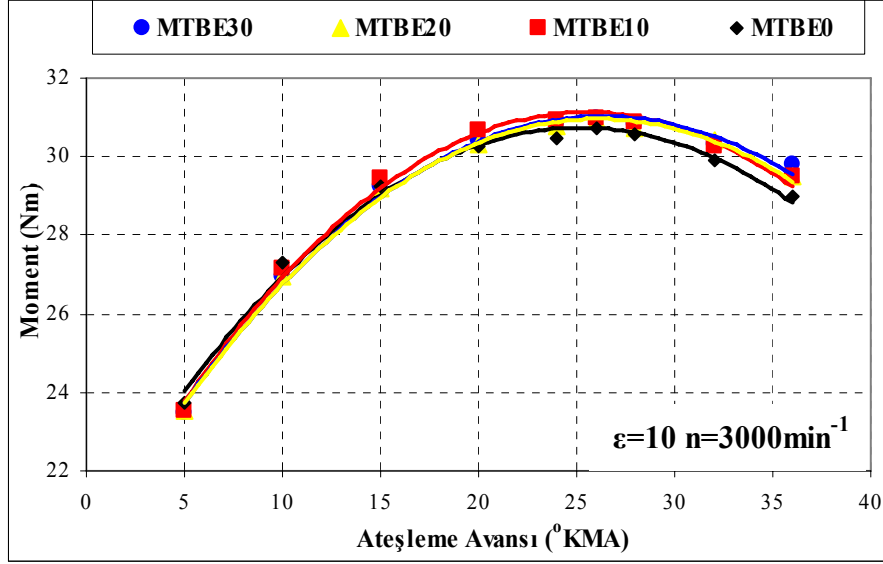
Motor momentinin ateşleme avansına göre değişimi

Şekil 4.18'de Hydra deney motoru ve 10/1 sıkıştırma oranında farklı AA değerleri için motor momentinin değişimi görülmektedir. Düşük AA değerlerinde karışımlar, normal benzine yakın sonuçlar vermiştir. AA'nın artırılması ile birlikte MTBE karışımlarıyla elde edilen moment değerlerinde artışlar olmuştur. Bu artışın temel sebebi MTBE'nin yüksek oktan sayısına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sıkıştırma oranı içinde en yüksek moment değeri 26° KMA 'nda MTBE10 ve MTBE30 karışımıyla $30,99 \text{ Nm}$ olarak elde edilmiş ve MTBE20 karışımı da yakın sonuçlar vermiştir.

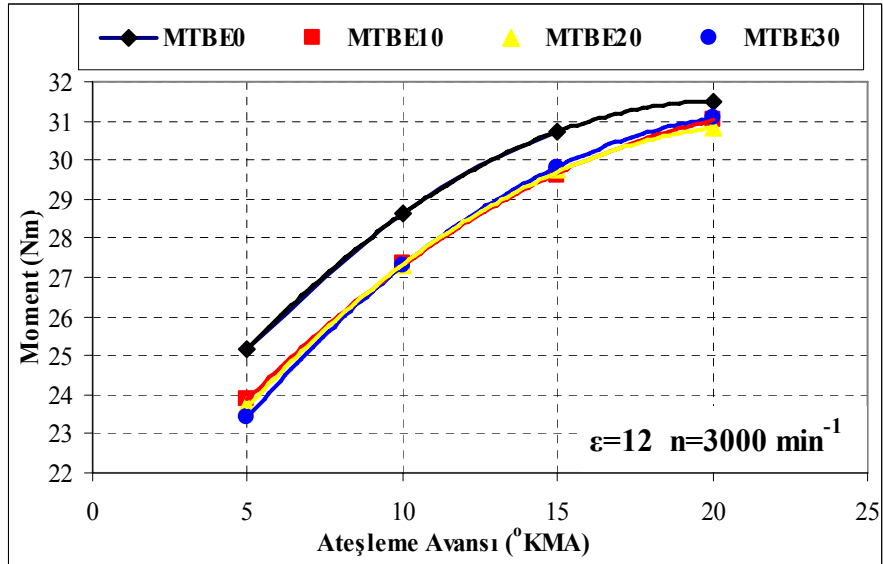
Şekil 4.19'da ise 12/1 sıkıştırma oranında motor momentinin avansa göre değişimi görülmektedir. 12/1 sıkıştırma oranı için vuruş oluşması sebebiyle sadece 20° KMA 'na kadar AA arttırılarak ölçüm yapılabilmektedir. Bu sıkıştırma oranında ise 20° KMA 'na kadar kurşunsuz benzin ile elde edilen moment değerleri daha yüksek çıkmış ve MTBE karışımları açısından moment değerlerinde belirgin bir farklılık görülmemiştir. 20° KMA değerinde ise bütün yakıtlar için birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Deney yapılan AA değerleri için en yüksek moment değeri 20° KMA 'nda kurşunsuz benzinle $31,51 \text{ Nm}$ olarak elde edilmiştir.

Ateşleme avansının az olması durumunda yanma daha geç başlamaktadır ve maksimum basıncın üst ölü noktadan daha sonra oluşması neticesinde motor momentinde azalma meydana gelmektedir. Avansın fazla olduğu durumlarda ise yanma sonrası maksimum basıncı pistonun üst ölü noktasına gelmeden gerçekleşerek motor momentinde azalma meydana getirmektedir. Kurşunsuz benzine MTBE katkısı ile daha düşük AA değerlerinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ateşleme

avansının azaltılması vuruntu direncinin azaltılması anlamına geldiğinden bu etki MTBE'nin yüksek oktan sayısı ile ilişkili olmaktadır.



Şekil 4.18. Hydra deney motorunda motor momentinin ateşleme avansına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, HFK=1, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)



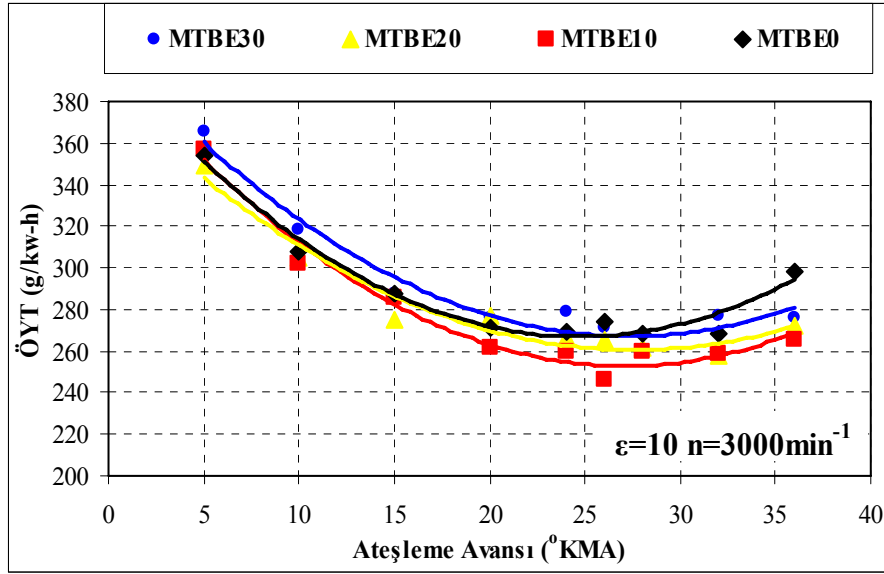
Şekil 4.19. Hydra deney motorunda motor momentinin ateşleme avansına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, HFK=1, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)

Özgöl yakıt tüketiminin ateşleme avansına göre değişimi

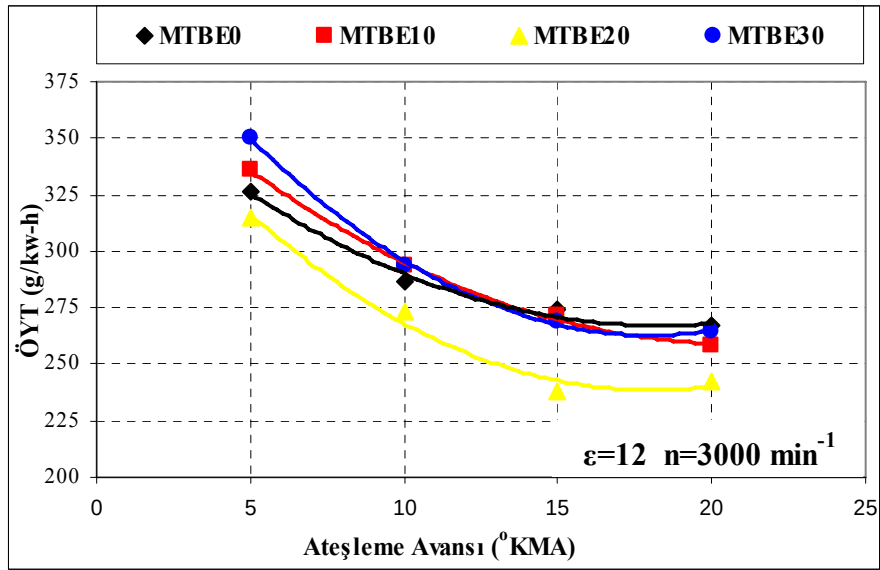
Şekil 4.20’de Hydra deney motoru ve 10/1 sıkıştırma oranında değişik avans değerleri için özgül yakıt tüketiminin değişimi görülmektedir. Şekil incelendiğinde bütün avans değerleri açısından MTBE10 karışımı ile elde edilen özgül yakıt tüketim değerleri diğer yakıtlardan elde edilen değerlerden daha düşük çıkmıştır. En düşük özgül yakıt tüketim değeri MTBE10 karışımı ile 26° KMA AA değerinde 246,66 g/kWh olarak elde edilmiştir. Bu AA’nda kurşunsuz benzine göre yaklaşık olarak %10’luk bir iyileşme sağlanmıştır.

Şekil 4.21’de 12/1 sıkıştırma oranında değişik avans değerleri için özgül yakıt tüketiminin değişimi görülmektedir 20° KMA’na kadar bütün AA değerleri için en iyi özgül yakıt tüketim değerleri MTBE20 karışımıyla elde edilmiştir. En düşük özgül yakıt tüketimi ise yine MTBE20 karışımıyla 15° KMA ateşleme avansında 237,69 gr/kWh olarak ölçülmüştür. AA değerlerinin artırılmasıyla birlikte karışımların özgül yakıt tüketimi değerleri kurşunsuz benzinin özgül yakıt tüketim değerinden daha düşük çıkmıştır.

Sabit GKA açıklığında ve sabit motor hızında silindir içerisine alınan dolgu miktarında herhangi bir değişim olmazken ateşleme avansı artırılarak değiştirildiğinde, ÖYT motorun maksimum moment değerlerine doğru azalarak minimum değerini almaktadır. Avans değeri en uygun değerden sonra artırıldığında ise yüksek avansın negatif etkisinden dolayı motor momentinin azalmasına bunun neticesinde de ÖYT’nin artmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.20. Hydra deney motorunda ÖYT'nin ateşleme avansına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, $\text{HFK}=1$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)

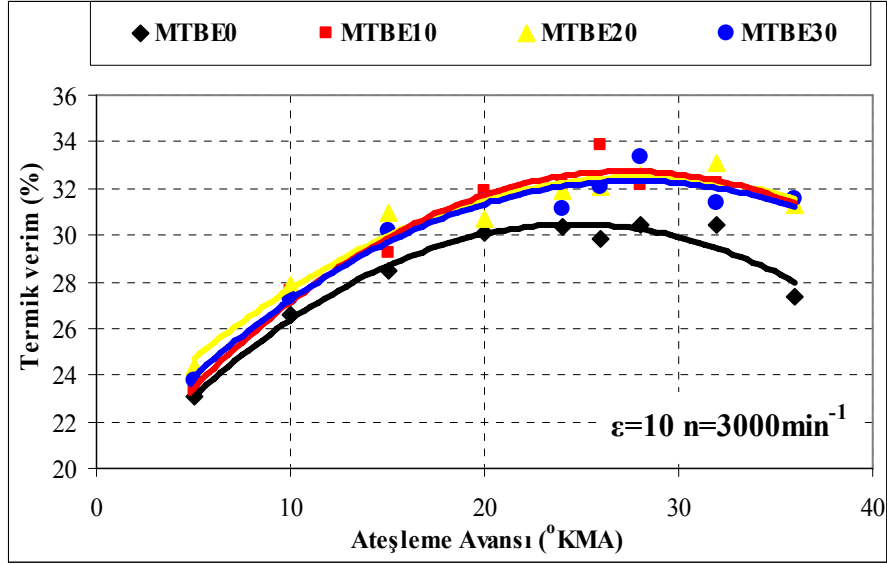


Şekil 4.21. Hydra deney motorunda ÖYT'nin ateşleme avansına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, $\text{HFK}=1$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)

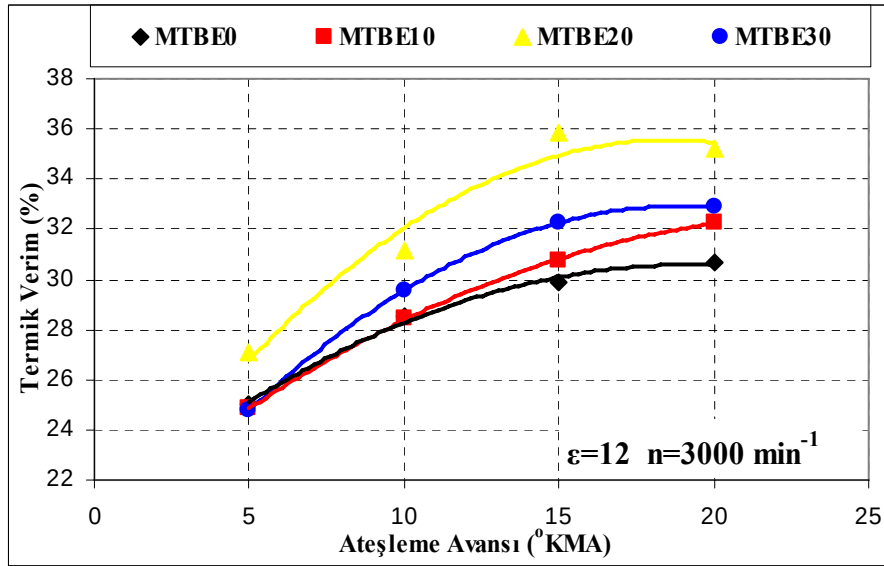
Termik verimin avans değerlerine göre değişimi

Şekil 4.22 ve 4.23'te her iki sıkıştırma oranı için termik verimin AA'na göre değişimi görülmektedir. Şekiller incelendiğinde her iki sıkıştırma oranı içinde bütün MTBE karışımlarında, AA değerlerinin tamamında kurşunsuz benzine göre daha yüksek termik verim değerleri elde edildiği görülmektedir. 10/1 sıkıştırma oranı için en yüksek termik verim değeri MTBE10 karışımı ile 26° KMA AA değerinde %33,82 olarak elde edilmiştir. Aynı AA değeri için kurşunsuz benzine göre %13'lük bir iyileşme söz konusudur. 12/1 sıkıştırma oranı için ise en yüksek termik verim değerleri bütün AA değerlerinde MTBE20 karışımıyla elde edilmiştir. 12/1 sıkıştırma oranında yapılan deneylerde AA değerleri kısıtlı olarak alınabildiğinden 20° KMA AA'na kadar düşünüldüğünde 10/1 sıkıştırma oranı ile karşılaştırıldığında benzer bir eğilim söz konusudur.

Termik verim motor gücü ve ÖYT'den elde edildiği için bu değerle avansın farklı değerlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Maksimum motor momentini veren 26° KMA avans değerinde ÖYT minimum olduğundan termik verim en yüksek değerine ulaşmaktadır. Avans değeri 28° KMA'dan fazla artırıldığında motor momenti azalmakta ve ÖYT artış göstermeye başladığı için termik verim azalma göstermektedir.



Şekil 4.22. Hydra deney motorunda termik verimin ateşleme avansına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, HFK=1, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)



Şekil 4.23. Hydra deney motorunda termik verimin ateşleme avansına bağlı olarak değişimi ($\epsilon=12$, HFK=1, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)

4.1.4. Değişik yük durumları için performans sonuçlarının incelenmesi

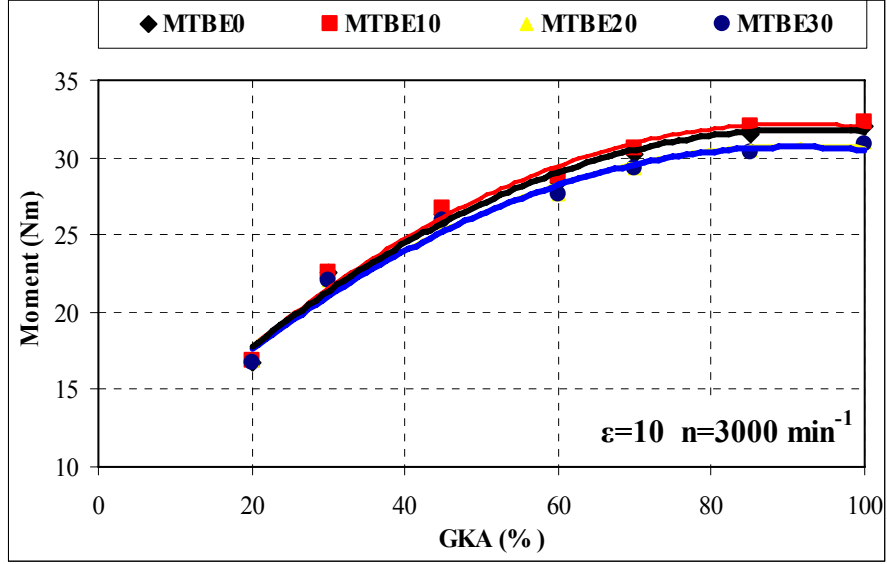
Yüke bağlı deneyler Hydra deney motorunda ve 10/1 sıkıştırma oranında yapılabilmiştir. Bu yüzden değerlendirmeler kurşunsuz benzin ve karışım oranları arasında yapılmıştır. Şekil 4.24'te 10/1 sıkıştırma oranı için 3000 min⁻¹'de ve sabit hava yakıt oranında ($\lambda=1$) motor momentinin yük durumuna göre değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere en yüksek moment değerleri bütün yük durumları için MTBE10 karışımı ile elde edilmiştir. Kurşunsuz benzin ile elde edilen moment değerleri MTBE20 ve MTBE30 karışımı ile elde edilen moment değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. En yüksek moment değeri ise MTBE10 karışımı ile tam GKA'da 32,22 Nm olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.25'te ise 10/1 sıkıştırma oranı için değişik GKA'da özgül yakıt tüketim değerlerinin değişimi görülmektedir. En düşük özgül yakıt tüketim değeri MTBE10 karışımı ile %60 GKA'da 260,93 g/kWh olarak elde edilmiştir. Bu değer aynı GKA için kurşunsuz benzine göre yaklaşık olarak %4'lük bir iyileşmeyi ifade eder. %80 GKA'ndan itibaren bütün MTBE karışımları kurşunsuz benzinden daha iyi sonuçlar vermişlerdir.

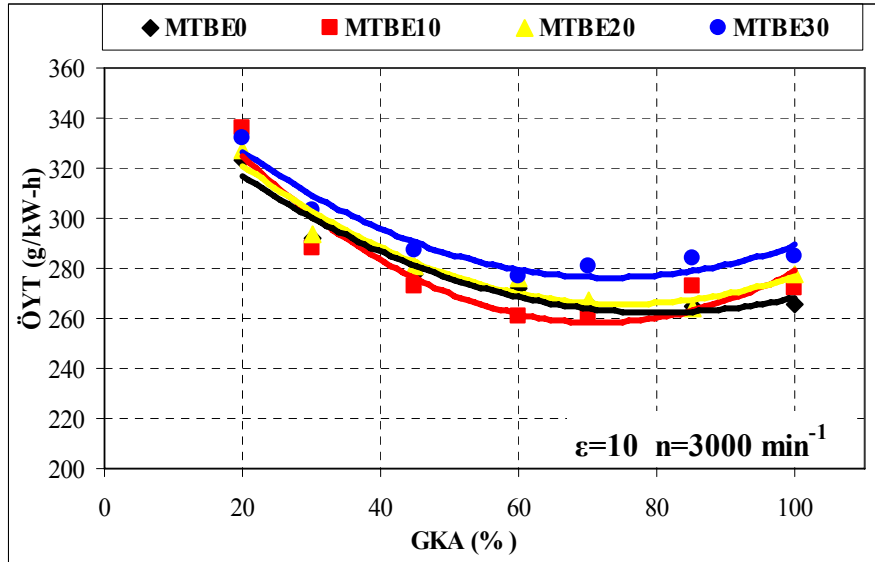
Şekil 4.26'da 10/1 sıkıştırma oranı için değişik GKA değerleri için termik verimin değişimi görülmektedir. Şekil incelendiğinde MTBE karışımlarının termik verim değerlerinin bütün GKA değerlerinde kurşunsuz benzinden daha iyi olduğu görülür. MTBE10 ve MTBE30 karışımı için en yüksek termik verim değerleri %60 GKA değerinde alınırken, MTBE20 ve kurşunsuz benzin için %75 GKA değerinde alınmaktadır. En yüksek termik verim değeri MTBE10 karışımı ile %60 GKA değerinde yaklaşık olarak %32 olarak gerçekleşmiştir.

Otto motorlarında momentin kontrolünün hava-yakıt karışımının toplam miktarının değişimi (gaz keleşbeği açıklık konumu) ile olması, yanma olayında etkin olmaktadır. Düşük yüklere geçilmesiyle HFK'da artış meydana gelmekte (fakirleştirilme) ve kısmi GKA'larda ÖYT minimum olmaktadır. Gaz keleşbeğin giderek kapanması ile

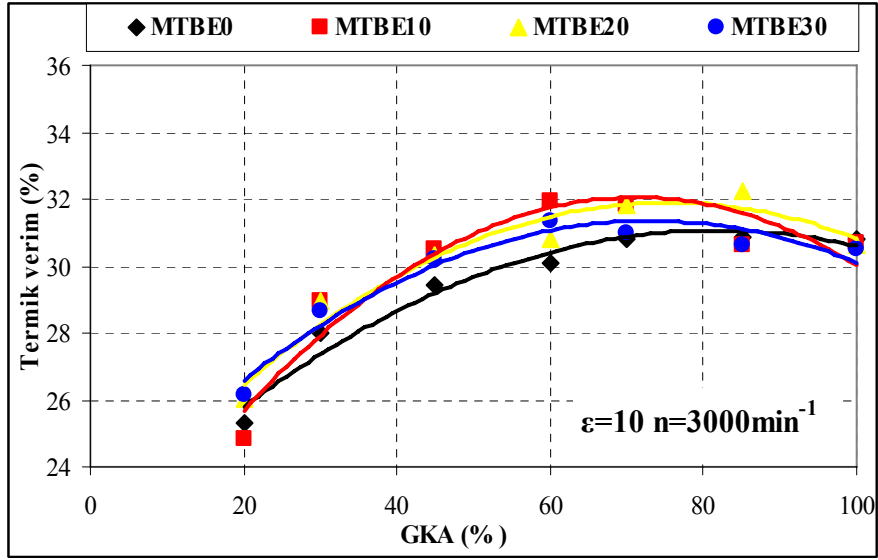
emme ve egzoz süreçlerine harcanan iş, yani pompalama kayıplarında artış olduğundan ÖYT artmaktadır.



Şekil 4.24. Hydra deney motorunda motor momentinin GKA'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, HFK=1, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)



Şekil 4.25. Hydra deney motorunda ÖYT'nin GKA'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, HFK=1, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)



Şekil 4.26. Hydra deney motorunda termik verimin GKA'ya bağlı olarak değişimi ($\epsilon=10$, $HFK=1$, $n=3000 \text{ min}^{-1}$)

5. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, kurşunsuz benzine hacimsel olarak %10, %20 ve %30 oranlarında MTBE ilave ederek yakıt karışımları hazırlanmıştır. Ricardo Hydra araştırma motorunda farklı sıkıştırma oranlarında (10/1 ve 12/1) ve Ford deney motorunda (8,8/1) MTBE ilavesinin motor performansı üzerine etkisi araştırılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Moment-devir ilişkisinde maksimum moment devri genellikle orta motor hızlarına tekabül etmektedir. Hydra motor için 10/1 sıkıştırma oranında ve Ford motor için en iyi sonuç MTBE10 karışımı ile elde edilmiştir. Hydra motor için 10/1 sıkıştırma oranında, 3500 min^{-1} de MTBE10 karışımı için moment 34,24 Nm olarak elde edilmiş, kurşunsuz benzine göre %3,2'lik bir iyileşme sağlanmıştır. Karışımdaki MTBE oranı %10 dan daha fazla olduğunda, motor momentinde azalma meydana gelmiştir. Bu sonucun en önemli nedeni; MTBE ilavesinin oktan sayısını iyileştirici olumlu etkisi ile birlikte yüksek buharlaşma ısısından dolayı dolgu havasının sıcaklığını düşürerek volümetrik verimi geliştirmesidir, 10/1 sıkıştırma oranı için %10 karışım oranından sonra MTBE'nin düşük ısıl değeri karışımın ısıl değerini giderek düşürmesi nedeniyle karşılanılamamaktadır. Sıkıştırma oranı artırıldığında Hydra 12/1 sıkıştırma oranında ise, moment MTBE oranının artışı ile artan oktan sayısının etkisini belirgin bir şekilde göstermesi sonucu benzine göre bir artış görülmüştür. Özellikle düşük ve yüksek motor hızları için MTBE karışımlarında benzine göre oktan sayısının artışının olumlu etkisi ile elde edilen moment değerlerinde kayda değer bir artış söz konusudur.

MTBE'nin içerdiği oksijen oranı ile birlikte daha düşük stokiyometrik orana sahip olmasından dolayı karışımın hava/yakıt oranının artmasına neden olmaktadır. Bütün yakıtlar için en yüksek moment değerleri $\lambda=0,9$ değerinde elde edilmiş, en yüksek moment değeri ise yine aynı HFK değerinde MTBE10 karışımı ile 31,29 Nm olarak elde edilmiştir, bu da kurşunsuz benzine göre yaklaşık olarak % 2'lik bir iyileşmeyi ifade etmektedir. Bu HFK değerinden sonra karışımın giderek daha fakirleşmesi yanmanın kötüleşmesi sonucu MTBE ve benzinin moment değerlerindeki fark

azalmıştır. MTBE karışımları için ateşleme avansının momente bağlı olarak değişimine bakıldığında yüksek AA değerlerinde bütün MTBE karışımlarının moment değerleri benzine göre daha yüksek çıkmıştır. Moment değerlerinin yük durumuna göre değişimine bakıldığında ise 10/1 sıkıştırma oranında tüm yük durumları için en yüksek değerler MTBE10 karışımıyla elde edilmiştir, karışımındaki MTBE oranı artırıldığında moment değerlerinde moment değerleri azalmıştır.

10/1 ve 8,8/1 sıkıştırma oranları için özgül yakıt tüketiminde, orta motor hızlarına kadar benzer bir eğilim söz konusudur. Bu sıkıştırma oranları için düşük ve orta hızlarda MTBE10 karışımının ÖYT değeri üzerine belirgin bir katkısı olmuştur. Her iki sıkıştırma oranında orta ve üstü motor hızlarında en düşük ÖYT değerleri kurşunsuz benzinle elde edilmiştir. Sıkıştırma oranının artırılmasıyla 12/1 sıkıştırma oranında MTBE ilavesinin oktan sayısı üzerine olumlu etkisi ile birlikte yanmanın iyileşmesi neticesinde ÖYT değerlerinde dikkate değer oranda bir azalma görülmüştür. En düşük ÖYT değerleri orta motor hızları için MTBE20 karışımı ile elde edilmiştir. Bu motor hızları için kurşunsuz benzine göre yaklaşık olarak %12'lik bir iyileşme sağlanmıştır. Değişik HFK oranlar için ÖYT değerlerinde ise en düşük özgül yakıt tüketim değerleri bütün karışımlar için HFK=1,1 oranında elde edilmiştir. 10/1 sıkıştırma oranında bütün HFK değerleri için en düşük ÖYT değerleri MTBE karışımlarında elde edilirken 12/1 sıkıştırma oranında MTBE oranı yüksek karışımlarda daha düşük değerler elde edilmiştir. Sıkıştırma oranı ve ateşleme avansının artırılması ile ÖYT değerlerinde azalma olmuştur. 10/1 sıkıştırma oranı için en düşük ÖYT değerleri MTBE10 karışımı ile elde edilmiş ve karışımındaki MTBE oranındaki artışa bağlı olarak ÖYT değerleri de artmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre bütün sıkıştırma oranlarında MTBE karışımlarının termik verim değerleri kurşunsuz benzinden daha iyidir. Benzine MTBE katılmasının, termik verimi iyileştirici etkisi, oktan sayısını artıcı etkisi ile birlikte düşük ısı değeri ile yanma sıcaklığında azalma meydana getirmektedir. Böylelikle ısı kayıpların azalması ile termik verim iyileşmektedir. MTBE yüksek oktan sayısına sahip olması ile sıkıştırma oranının artırılmasına izin vermektedir. Sıkıştırma oranının 10/1 den

12/1'e artırılması ile artan sıkıştırma sonu sıcaklığı ve basıncının yükselmesi ile birlikte termik verimde belirgin bir iyileşme sağlanabilmektedir. MTBE30 karışımında 2000 min⁻¹ motor hızında kurşunsuz benzine göre yaklaşık olarak %16'lık bir iyileşme sağlanmıştır. Termik verimin HFK değerlerine göre değişimi dikkate alınırsa burada da 10/1 sıkıştırma oranında bütün karışım oranları için kurşunsuz benzine göre daha yüksek değerler elde edilmiş, en yüksek termik verim değerleri bütün HFK değerleri için MTBE10 karışımında elde edilmiştir. 12/1 sıkıştırma oranında ise karışımdaki MTBE oranına bağlı olarak, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığının yükselmesi neticesinde en yüksek termik verim değerleri yüksek oranlı MTBE karışımlarında elde edilmiş ve sıkıştırma oranının artırılmasına bağlı olarak 10/2 sıkıştırma oranından daha yüksek değerler elde edilmiştir. Sıkıştırma oranı ve ateşleme avansının artırılması Sıkıştırma oranı ve ateşleme avansının artırılması ile ÖYT değerlerinde azalma olduğundan termik verimde artışa neden olmuştur.

KAYNAKLAR

1. Yüksel, F., Yüksel, B., “The Use of Ethanol-Gasoline Blend as a Fuel in an SI Engine”, *Renewable Energy*, 29: 1181-1191 (2004).
2. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., “İçten Yanmalı Motorlar, Cilt-1”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, 207 (1995).
3. Sayın, C., Çanakçı, M., Kılıçaslan, İ. ve Özsezen, N., “Çift Yakıt (Benzin + LPG) Kullanımının Motor Performansı ve Emisyonlar Üzerine Etkisinin DeneySEL Analizi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20 (4): 483-490 (2005).
4. Alasfour, F. N., “Butanol-A Single Cylinder Engine Study: Engine Performance”, *International Journal of Energy Research*, 21: 21-30 (1997).
5. Bayraktar, H., “Benzin Etanol Karışımlarının Benzin Motorlarında Yanma ve Motor Çevrimi Üzerindeki Etkilerinin Teorik Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1, 3 (1997).
6. Sürmen, A., Karamangil, İhsan, M., Arslan, R., “Motor Termodinamiği”, *Aktüel*, 159, 163 (2004).
7. Hamdan, M. A. and Al-Subaih, T. A., “Improvement of Locally Produced Gasoline and Studying its Effects on Both the Performance of the Engine and the Environment”, *6. International Combustion Symposium*, 11-25, İstanbul (1999).
8. Sezer, İ., “Normal Benzine Metanol ve MTBE Katılmasının Buji Ateşlemeli Motorun Performansına ve Emisyonlarına Etkisinin DeneySEL İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 11, 12 (2002).
9. Sezer, İ. ve Bilgin, A., “Normal Benzine Metanol ve MTBE Katılmasının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin DeneySEL Olarak İncelenmesi”, *1. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, 267-272, Denizli (2003).
10. Karaosmanoğlu, F., Işığür, A., Aksoy, A. H., “A New Blending Agent and Its Effects on Methanol – Gasoline Fuels”, *Energy Sources*, 22: 235-245, (2000).
11. Downstream Alternatives Incorporation, “The Compability of Reformulated and Oxygenated Gasoline with Fuel System Materials”, *Downstream Alternatives, Inc.(DAI)*, Informational Document No: 970201, (1997).
12. Wang, X., Yang, Y., Shang, S. and Feng, X., “Study of the Performance of MTBE Blended Unleaded Gasoline”, *SAE*, Paper No: 871268, (1987).

13. Çetinkaya, S ve Çelik, M. B., “Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Olarak Metanol Benzin Karışımlarının Kullanılması”, **5.Yanma Sempozyumu**, İstanbul, 255-266 (1997).
14. Topgül, T., Yücesu, H. S. ve Çınar,C., “Etanol Benzin Karışımlarının Buji Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Motor Performansına Etkisinin DeneySEL Olarak Belirlenmesi”, **8.Uluslararası Yanma Sempozyumu**, Ankara, 345-355 (2004).
15. Abu-Zaid, M., Bardan, O. and Yamin, J., “Effect of Methanol Addition on the Performance of Spark Ignition Engines”, **Energy and Fuels**, 18: 312-315, (2004).
16. Sezer, İ.ve Bilgin, A., “Benzine MTBE Katılmasının Motor Performansına Etkisi”, **7. Uluslararası Yanma Sempozyumu**, Ankara, 205-216 (2002).
17. A l- Dawood, A.M., “Effect of Blending MTBE, Methanol, or Ethenol with Gasoline on Performance and Exhaust Emission of SI Engines”, MSc Thesis, **King Fahd University, Department of Mechanical Engineering**, Dhahran-Saudi Arabia, December 214-215 (1998).
18. Hamdan, M.A., Al-Subaih, T.A., “Improvement of Locally Produced Gasoline and Studying its Effects on Both the Performance of the Engine and the Environment”, **Energy Conversion and Management**, 43: 1811-1820 (2002).
19. Pouloupoulos, S. and Philippopoulos, C., “Influence of MTBE Addition into Gasoline on Automotive Exhaust Emissions”, **Atmospheric Environment**, 34: 4781-4786 (2000).
20. Da Silva, R., Cataluna, R., “Menesez, E.W., Samios, D. and Sartori Piatnicki, C.M., “Effect of Additives on the Antiknock Properties and Reid Vapor Pressure of Gasoline”, **Fuel**, 84: 951-959 (2005).
21. Osman, M.M., “Relationship Between Gasoline Anti-knock Agents, Gasoline Aromatics Content and SI Engine Emissions”, **SAE**, Paper No: 961225, (1996).
22. Kaelblein, T., Jeong, Y.I., Rhee, K.T., “Knock Effects on Spark-Ignition Engine Emission and Performance”, **SAE**, Paper No: 900712 (1990).
23. Brown, A. G., Stone, C. R., and Beckwith. P., “Cycle-by-Cycle Variations in Spark Ignition Engine Combustion – Part 1: Flame Speed and Combustion Measurements and a Simplified Turbulent Combustion Model”, **SAE**, Paper No: 960612 (1996).
24. Abdulghani, A. and Al Farayedhi., “Effects of octane number o exhaust emissions of a spark ignition engine”, **International Journal of Energy Research**, 26: 279-289 (2002).

25. Sandquist, H., Denbratt, I., “Ingemarsson, A. and Olsson, J., “Influence of Volatility on Emissions and Combustion in a Direct Injection Spark Ignition Engine”, *SAE*, Paper No: 982701, (1998).
26. Al-farayedhi, A., A, Al-Dawood, A., M., and Gandhidasan, P., “Experimental investigation of SI Engine performance using Oxygenated fuel” *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power Transactions of the ASME*, 126: 179-191 (2004).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BİÇERER, Sedat
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 03.12.1979 Eskişehir
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (222) 239 80 10
 e-mail : sedatbicerer26@mynet.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı	2000
Lise	Eskişehir Motor Meslek Lisesi	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2000-2004	Sivrihisar Teknik ve End.Mes.Lisesi	Öğretmen
2004-2006	Çatalca Teknik ve End. Mes. Lisesi	Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Basketbol, Motor Sporları, Kitap okumak