

**E85 VE E50 KULLANIMININ YÜKSEK SIKIŞTIRMA ORANLARINDA
BENZİN MOTORU PERFORMANSINA ETKİSİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Mustafa KOÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2006
ANKARA**

Mustafa KOÇ tarafından hazırlanan E85 VE E50 KULLANIMININ YÜKSEK SIKIŞTIRMA ORANLARINDA BENZİN MOTORU PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ 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. H. Güçlü YAVUZCAN



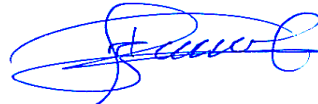
Üye : Doç. Dr. H. Serdar YÜCESU



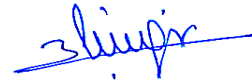
Üye : Doç. Dr. Atilla KOCA



Üye : Doç. Dr. İsmet ÇELİKTEN

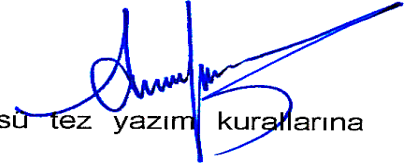


Üye : Doç. Dr. Yakup İÇİNGÜR



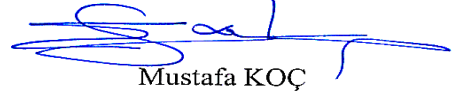
Tarih : 18 / 07 / 2006

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.



Mustafa KOÇ

**E85 VE E50 KULLANIMININ YÜKSEK SIKIŞTIRMA ORANLARINDA
BENZİN MOTORU PERFORMANSINA ETKİSİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Mustafa KOÇ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2006**

ÖZET

Bu çalışmada, tek silindirli dört zamanlı, enjeksiyonlu, buji ile ateşlemeli bir benzin motorunda E0, E50 ve E85 kullanımının yüksek sıkıştırma oranlarında motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler tam yükte yapılmış, motor devri, ateşleme avansı, hava fazlalık katsayısı ve sıkıştırma oranı değişken parametreler olarak seçilmiştir. Motor sıkıştırma oranı 10'dan 11'e yükseltildiğinde tüm yakıtlarla yapılan çalışmalarda ve tüm deney şartlarında motor momenti ve motor gücünde artış, görülmüştür. Moment ve güçteki en yüksek artış oranı E85 ile elde edilmiştir. Sıkıştırma oranı 11'den 12'ye yükseltildiğinde motor momenti ve gücünde bir miktar azalma tespit edilmiştir. Bütün motor deneylerinde en yüksek özgül yakıt tüketimi E85 ile elde edilmiştir. E50 ve E0 bunu izlemiştir. Motor devrine bağlı testlerde ise devir artışına bağlı olarak HC emisyonunda azalma tespit edilmiştir. Ancak sıkıştırma oranının artırılmasıyla HC emisyonlarında her üç deney yakıtında da artış tespit edilmiştir. Sıkıştırma oranı ve ateşleme avansına bağlı olarak CO ve CO₂ emisyonlarında kararlı bir değişim gözlenmemiştir. Hava fazlalık katsayısının artışına bağlı olarak HC ve CO emisyonlarında azalma, NO_x emisyonlarında artış görülmüştür. Motor performansı dikkate

alındığında 11 sıkıştırma oranında en iyi sonuçlar E85 yakıtı ile elde edilmiştir. Bunu E50 ve E0 izlemiştir.

Bilim Kodu : 708.3.026
Anahtar Kelimeler : Alternatif yakıtlar, etanol, benzin motoru, motor performansı, egzoz emisyonları
Sayfa Adedi : 116
Tez Yöneticisi : Doç.Dr. H. Serdar YÜCESU

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION EFFECT OF USAGE OF
E50 AND E85 FUELS ON GASOLINE ENGINE**

(M. Sc. Thesis)

Mustafa KOÇ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2006

ABSTRACT

In this study, effect of usage of E0, E50 and E85 fuels on exhaust emissions and engine performance of single cylinder spark ignition engine with injection system at high compression ratio. Experimental study was performed at full open throttle and engine speed, advanced timing, excess air coefficient and compression ratio were chosen as variable parameters. In the experiments, as the increased compression ratio from 10 to 11 improvements were observed on engine torque and power. The maximum increment in engine torque and power were obtained with E85 fuel. When the compression ratio was increased from 11 to 12 a small decrement was observed on engine torque and power. At all the engine tests, the maximum specific fuel consumption was obtained with E85, E50 and E0 followed the E0. The test carried out related to the engine speed, the HC emission increased with all test fuels. Depending on the ignition timing and compression ratio the significant variation was not observed on the NO_x and CO emissions. However depending on the increment of compression ratio the HC emission also increased with all test fuels. However depending on the increment of excess air fuel ratio the HC and CO emissions decreased and NO_x emission increased. In respect of engine performance the best

results was obtained at 11 compression ratio with E85 fuel. E85 was followed E50 and E0 respectively.

Science Code : 708.3.026

Key words : Alternative fuels, ethanol, gasoline engine, engine performance, exhaust emissions

Page Number : 116

Adviser : Assc. Doç. Dr. H.Serdar YÜCESU

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla bana rehberlik eden tez danışmanım Doç. Dr. Serdar YÜCESU'ya, Deneysel çalışmalarım sırasında beni yönlendiren her türlü destek ve yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Tolga TOPGÜL'e, çalışmalarım konusunda yardımcı olan, Yrd. Doç. Dr. Yakup SEKMEN'e, Yrd. Doç. Dr. Can ÇINAR'a ve Makina Mühendisi Cihan KOÇ'a, deney düzeneğinde teknik donanım desteği sağlayan Temas Müh. yöneticisi değerli arkadaşım Şerif DUMAN'a ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, Anneme, Babama, çok değerli eşim Azize ve biricik kızlarım, Z. Sena ve H. Sude'ye teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	11
3. ETANOLÜN ÖZELLİKLERİ.....	18
3.1. Etanol ve Benzinin Özellikleri.....	18
3.2. Alkol Esaslı Yakıtın Üretilmesi	20
3.3. Etanolü Yakıtta Faz Ayrışması	24
3.4. Alkollerin ve Benzinin Damıtma Eğrileri	26
3.5. Etanolün Alt Isıl Değeri.....	27
4. MATERYAL VE METOD.....	30
4.1. Materyal	30
4.1.1. Deney yeri.....	30
4.1.2. Deney motoru	30
4.1.3. Deneyde kullanılan yakıtlara ilişkin özellikler	32

Sayfa

4.1.4. Deneyde kullanılan ölçü aletleri	32
4.2. Metot	35
4.2.1. Motor momenti ve gücü	36
4.2.2. Yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi.....	38
4.2.3. Egzoz emisyonları.....	39
5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	43
5.1. Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarının Motor Devri İle Değişimi.....	43
5.1.1. Motor momentinin motor devri ile değişimi.....	43
5.1.2. Motor gücünün motor devri ile değişimi	46
5.1.3. Özgül yakıt tüketiminin motor devri ile değişimi	49
5.1.4. Egzoz emisyonlarının motor devri ile değişimi	51
5.2. Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarının Hava Fazlalık Katsayısı ile Değişimi	59
5.2.1. Motor momentinin hava fazlalık katsayısı ile değişimi.....	59
5.2.2. Motor gücünün hava fazlalık katsayısı ile değişimi	61
5.2.3. Özgül yakıt tüketiminin hava fazlalık katsayısı ile değişimi.....	64
5.2.4. Egzoz emisyonlarının hava fazlalık katsayısı ile değişimi	67
5.3. Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarının Ateşleme Avansı ile Değişimi.....	78
5.3.1. Motor momentinin ateşleme avansı ile değişimi	78
5.3.2. Motor gücünün ateşleme avansı ile değişimi	81
5.3.3. Özgül yakıt tüketiminin ateşleme avansı ile değişimi	84

Sayfa

5.3.4. Egzoz emisyonlarının ateşleme avansı ile değişimi.....	87
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	95
KAYNAKLAR.....	99
EKLER.....	103
EK-1. Motor performansı ve egzoz emisyonunun motor devrine bağlı değişimi.....	104
EK-2. Motor performansı ve egzoz emisyonunun HFK'ya bağlı değişimi....	108
EK-3. Motor performansı ve egzoz emisyonunun ateşleme avansına bağlı değişimi.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	116

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilme süreleri (yıl).....	3
Çizelge 1.2. Dünya birincil enerji tüketiminde yakıt payları 2000–2020 (%).....	4
Çizelge 1.3. Petrol ithalatının toplam ithalat içindeki payı.....	5
Çizelge 3.1. Etanol ve diğer alternatif yakıtların fiziksel ve kimyasal yönleriyle karşılaştırılması.....	19
Çizelge 3.2. Çeşitli tarımsal ürünlerin alkol verimleri.....	21
Çizelge 3.3. Etanol-Benzin karışımlarında faz ayrışması.....	25
Çizelge 3.4. Alternatif yakıt kullanan araçların performansları.....	28
Çizelge 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri.....	31
Çizelge 4.2. Dinamonun teknik özellikleri.....	32
Çizelge 4.3. Kontrol panelindeki göstergelerin ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri.....	33
Çizelge 4.4. SUN MGA 1500 cihazının teknik özellikleri.....	35

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Bio-etanol tesisinin üretim aşamaları şeması.....	22
Şekil 3.2. Metanol-benzin-su ve denatüre ispiroto-benzin-su sistemlerinin faz diyagramı.....	26
Şekil 3.3. Alkollerin ve benzinin damıtma eğrileri.....	27
Şekil 3.4. Etanol-benzin karışımı yakıtların alt ısı ve özgül ısı değerleri.....	29
Şekil 4.1. Deney tesisatının şematik görünüşü.....	30
Şekil 5.1. Tam gaz kelebeği açıklığında motor devrine bağlı moment değişimleri.....	45
Şekil 5.2. Tam gaz kelebeği açıklığında motor devrine bağlı güç değişimleri.....	48
Şekil 5.3. Tam gaz kelebeği açıklığında motor devrine bağlı özgül yakıt tüketimi değişimleri.....	50
Şekil 5.4. Tam gaz kelebeği açıklığında motor devrine bağlı CO emisyonu değişimler.....	52
Şekil 5.5. Tam gaz kelebeği açıklığında motor devrine bağlı CO ₂ emisyonları değişimleri.....	54
Şekil 5.6. Tam gaz kelebeği açıklığında motor devrine bağlı HC emisyonları değişimleri.....	56
Şekil 5.7. Tam gaz kelebeği açıklığında motor devrine bağlı NO _x emisyonları değişimleri.....	58
Şekil 5.8. Tam gaz kelebeği açıklığında HFK'ya bağlı moment değişimleri.....	60
Şekil 5.9. Tam gaz kelebeği açıklığında HFK'ya bağlı güç değişimleri.....	63
Şekil 5.10. Tam gaz kelebeği açıklığında HFK'ya bağlı özgül yakıt tüketimi değişimleri.....	66

Şekil	Sayfa
Şekil 5.11. Tam gaz kelebeği açıklığında sabit HFK'ya bağlı CO emisyonu değişimleri.....	69
Şekil 5.12. Tam gaz kelebeği açıklığında HFK'ya bağlı CO ₂ emisyonu değişimleri.....	71
Şekil 5.13. Tam gaz kelebeği açıklığında HFK'ya bağlı HC emisyonu değişimleri.....	74
Şekil 5.14. Tam gaz kelebeği açıklığında HFK'ya bağlı NO _x emisyonu değişimleri.....	77
Şekil 5.15. Tam gaz kelebeği açıklığında ateşleme avansına bağlı moment değişimleri.....	80
Şekil 5.16. Tam gaz kelebeği açıklığında ateşleme avansına bağlı güç değişimleri.....	83
Şekil 5.17. Tam gaz kelebeği açıklığında ateşleme avansına bağlı özgül yakıt tüketimi değişimleri.....	86
Şekil 5.18. Tam gaz kelebeği açıklığında ateşleme avansına bağlı CO emisyonu değişimleri.....	88
Şekil 5.19. Tam gaz kelebeği açıklığında ateşleme avansına bağlı CO ₂ emisyonu değişimleri.....	90
Şekil 5.20. Tam gaz kelebeği açıklığında ateşleme avansına bağlı HC emisyonu değişimleri.....	92
Şekil 5.21. Tam gaz kelebeği açıklığında ateşleme avansına bağlı NO _x emisyonu değişimleri.....	94

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Deney motoru.....	31
Resim 4.2. Mc Clure marka elektrikli dinamometre.....	32
Resim 4.3. Kontrol paneli.....	33
Resim 4.4. Sun MGA–1500 Egzoz gaz analizörü.....	35

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
B	Yakıt tüketimi (kg/h)
be	Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
kd	Moment düzeltme katsayısı
Md	Düzeltilmiş motor momenti (Nm)
P	Ortam basıncı (kPa)
n	Motor devri (min^{-1})
Pe	Efektif motor gücü (kW)
λ	Hava fazlalık katsayısı
ϵ	Sıkıştırma oranı
Kısaltmalar	Açıklama
CO	Karbonmonoksit
CO₂	Karbondioksit
HC	Hidro karbon
NO_x	Azot oksit
E0	%100 Benzin
E50	%50 Etanol + %50 Benzin (Hacimsel)
E85	% 85 Etanol + %15 Benzin (Hacimsel)
HFK	Hava fazlalık katsayısı
KMA	Krank mili açısı ($^{\circ}$)
TEP	Ton eş değer petrol
ppm	Milyonda bir parçacık
ÖYT	Özgül yakıt tüketimi

1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisindeki gelişmeler taşıtları, insan hayatının vazgeçilmez bir parçası haline getirmiştir. Taşıt sayılarının her geçen gün büyük bir hızla artması, özellikle taşıtların kullandığı yakıt ihtiyacının hem devamlı hem de ekonomik olması gibi bir sorunu ortaya çıkarmıştır.

Dünyada enerji tüketiminin, artış gösterdiği ve sürekli büyüdüğü gözlenmektedir. Kullanımındaki bu aşırı artış enerjiye dünya ölçüsünde fiziksel boyutunun dışında yeni boyutlar kazandırmıştır. Bunlar; teknolojik, ekonomik, politik ve çevresel boyutlardır. Ekonomik yönden işlenebilir olup olmadıkları dikkate alınmaksızın teknolojik araçlarla yararlanılabilir duruma getirilen doğadaki enerji kaynakları “enerji varlıkları” olarak belirtilebilir. Bu varlıkların bir bölümü, ekonomik yönden işletilebilir durumda ya da ileride ekonomik olarak değerlendirileceği bilinen veya beklenen yenilenemez doğal enerji kaynaklarıdır. Bunların diğer bir bölümü de yine ekonomik yönden işletilebilir durumda olan ve sürekli yenilenen doğal enerji kaynaklarıdır. Tüketilebilir enerjilere “stok enerjiler”, yenilenebilir enerjilere “akım enerjileri” de denilmektedir. Enerjinin herhangi bir değişim ya da dönüşüm uygulanmamış biçimi “birincil enerji” veya “primer enerji “ olarak tanımlanır. Birincil enerjinin dönüştürülmesi sonucu elde edilen enerji çeşidi “ikincil enerji” veya “sekonder enerji”dir. İkincil enerjinin en çok kullanılan türü “elektrik enerjisi”dir [1].

Uluslar arası literatürde birincil enerji kaynakları; katı yakıtlar (kömür, linyit, turb, vb.), petrol (petrol ürünleri), doğalgaz, nükleer enerji, yeni enerjiler (güneş, jeotermal, rüzgâr, biyogaz, vb.), olarak tanımlanmaktadır. Birincil enerji kaynaklarından, geleneksel ve ticari olmayan enerjilerle birlikte, kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil kaynaklı alışlagelmiş enerji kaynakları yenilenemeyen enerji kaynaklarını, güneş, jeotermal, rüzgâr, biyogaz gibi enerji kaynakları da yenilenebilir enerji kaynaklarını oluştururlar. Günümüzde kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kökenli, birincil enerji kaynaklarının yanı

sıra, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji teknolojisinde değerlendirilmesi konusuna artan bir ilgi ve uygulama yoğunluğu gösterilmektedir. Yeni-yenilenebilir enerji kaynakları içinde en büyük teknik potansiyele biokütle sahiptir. Ana bileşenleri karbon-hidrat bileşikler olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler biokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan üretilen enerji ise biokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Bitkisel biokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla doğrudan kimyasal enerjiye dönüştürerek depolanması sonucu oluşmaktadır. Fotosentez ile enerji içeriği yaklaşık olarak $3 \cdot 10^{21}$ J/yıl olan organik madde oluşmaktadır. Bu değer dünya enerji tüketiminin 10 katı enerjiye karşılık gelmektedir.

Biokütle enerji teknolojileri kapsamında;

- Odun (enerji ormanları, çeşitli ağaçlar),
- Yağlı tohum bitkileri (kolza, ayçiçek, soya vb.),
- Karbon-hidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar, enginar, vb.),
- Elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, miskantus, vb.),
- Protein bitkileri (bezelye, fasulye, buğday vb.), bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk, vb.),
- Hayvansal atıklar ile şehirselle ve endüstriyel atıklar,

değerlendirilebilir. Biokütle enerji kaynağı olarak değerlendirilen bu enerji kaynaklarından mevcut yakıtlara alternatif çok sayıda katı, sıvı ve gaz yakıtlarına ulaşılmaktadır [1, 2].

Dünya enerji ihtiyacının karşılanmasında petrol, kömür ve doğalgaz kaynaklarının yanı sıra nükleer ve hidrolik enerjilerinden de önemli derecede yararlanmaktadır. Herhangi bir yılın sonunda rezerv olarak geride kalan fosil yakıt miktarının, o yıl içinde yapılan üretim miktarına bölünmesi ile elde edilen rezervlerin kullanılabilme süreleri belirlenir. Çizelge 1.1’de dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilme süreleri gösterilmiştir [3].

Çizelge 1.1. Dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilme süreleri (yıl) [3]

Bölge	Petrol	D.Gaz	Kömür
Kuzey Amerika	14	10	234
Orta ve Güney Amerika	19	72	381
Avrupa	8	16	167
Eski SSCB Ülkeleri	21	79	>500
Ortadoğu	87	>100	>500
Afrika	27	90	246
Asya ve Okyanusya	16	44	147
TOPLAM DÜNYA	40	62	216

Dünya yakıt rezervlerinin 142,9 milyar tonunu petrol, 155,1 trilyon m³ doğalgaz, 984,5 milyar ton kömür rezervlerinin olduğu bilinmektedir. 2002 yılı üretim seviyesi ile kömürün 216 yıl, doğalgaz 62 yıl, petrolün ise 40 yıl ömrü kaldığı tahmin edilmektedir [3].

Yenilenemeyen temel enerji kaynaklarının başında yer alan petrol, dünya ekonomisinde ara malı, hammadde, güç ve enerji kaynağı olarak çok önemli yer tutmaktadır. Petrolün mutlak bir alternatifi henüz mevcut değildir. Ancak yakın ikamelerinden söz edilebilir. Alternatif enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin ısınma, güç ve elektrik üretiminde petrolün yerini kısmen doldurmasına rağmen, ulaşım sektöründe küresel çapta bir ikame yakıt, yakın gelecekte çok fazla mümkün gözükmemektedir. Dünyadaki enerji planlaması yapan enerji kuruluşların birisi olan IEA (International Energy Agency: Uluslararası Enerji Ajansı) Çizelge 1.2’de izleneceği gibi, 2000 yılında küresel enerji tüketiminin %89’unu sağlayan fosil yakıtların payı artarak 2010’da %91, 2020 yılında ise %92’ye yükseleceği düşünülmektedir. Bu durum gelecek 20 yıl içerisinde, dünya ülkelerinin petrol, kömür ve doğalgazdan oluşan fosil yakıt tüketmeye devam edeceklerini göstermektedir [4].

Çizelge 1.2. Dünya birincil enerji tüketiminde yakıt payları 2000–2020 (%) [4]

Yıl Kaynak	2000 (%)	2010 (%)	2020 (%)
<i>Petrol</i>	40	39	38
<i>Kömür</i>	25	28	29
<i>Doğalgaz</i>	24	24	25
Fosil Yakıtlar	89	91	92
Nükleer	7	6	4
Hidrolik	4	3	3
Diğer Yenilenebilir	0	1	1

Yapılan projeksiyonlara göre, gelecek 20 yıl içerisinde dünya petrol tüketiminde gerçekleşecek yaklaşık 2 milyar ton'luk (15 milyar varil) ilave artışın %59'u ulaştırma sektöründen kaynaklanacağı tahmin edilmektedir. Buji-ateşlemeli motorların bir günlük yakıt tüketimleri yaklaşık olarak dünya petrol üretiminin üçte birine denk geldiği düşünülürse, sınırlı olan petrol kaynaklarının yakın gelecekte bu gereksinimi karşılayamayacağı tahmin edilmektedir. Günümüzde ulaştırma sektörünün dünya genel enerji tüketimindeki payının %20 olduğu bunun da 3/4'ünün karayolları taşımacılığına gittiği görülmektedir. Karayollarında seyahat eden taşıtların temel yakıt olarak halen petrol kullandıkları dikkate alınırsa, petrolün yerini alabilecek ekonomik bir alternatif yakıt bulunmadığı sürece, en azından bu yüzyılın ilk yarısında petrol önemini sürdürmeye devam edecektir [4, 5].

Türkiye'nin enerji üretimi, 1999 yılında 25,1 milyon TEP olurken, 2002 yılında 24,6 milyon TEP gerçekleşmiş olup, 2020 yılında 70,2 milyon TEP'e ulaşması beklenmektedir. Toplam birincil enerji kaynakları arzı hızlı bir şekilde artmış olup, 1990 yılında 52,6 milyon TEP, 1999 yılında ise 76,8 milyon TEP, 2002 yılında 78,4 milyon TEP olarak gerçekleşmiş olup 2020 yılında 298 milyon TEP'e ulaşması beklenmektedir. Enerji üretiminin yavaş,

talebin ise hızlı artması neticesinde, net enerji ithalatı 1990 yılındaki 28,5 milyon TEP'ten yıllık ortalama %5,4 artışla 2002 yılında 53,5 milyon TEP değerine ulaşmıştır. 2020 yılında 228,2 milyon TEP'e ulaşması beklenmektedir. Böylece Türkiye toplam arzının 1990 yılında %54 ve 2002 yılında %68'i net ithalatla karşılanırken, bu değer 2020 yılında %76'ya ulaşacağı tahmin edilmektedir [3, 6].

Türkiye'ye ithal edilen birincil enerji kaynaklarından ham petrol içerisindeki, motor yakıtları açısından önemli bir yer tutmaktadır. 2003 yılında 24 096 407 milyon ton petrol satın alınmış olup 6 milyar dolar döviz ödenmiştir [7].

Türkiye'nin toplam ithalatının yaklaşık %9'u ham petroldür. Gayri Safi Milli Hâsılanın %2'sinden biraz fazlası, net petrol ithalatı için harcanmaktadır. Yerli üretim giderek azalmakta ve yurt içinde tüketilen petrolün yaklaşık %90'ı ithal edilmektedir [7]. Çizelge 1.3'de Petrol ithalatının toplam ithalat içindeki payı verilmiştir.

Çizelge 1.3. Petrol ithalatının toplam ithalat içindeki payı [7]

YIL	TOPLAM İTHALAT (MİLYON DOLAR)	PETROL İTHALATI (MİLYON DOLAR)	PETROL İTHALATININ PAYI (%)
1996	43.627	3.416	7,83
1997	48.559	3.194	6,58
1998	45.921	2.084	4,54
1999	40.671	2.755	6,77
2000	54.503	4.208	7,72
2001	41.399	3.878	9,37
2002	44.756	4.088	9,13

Türkiye'nin petrol ithalatının toplam ithalatı içindeki payı 1996–1998 yılları boyunca azalarak 1998 yılında %4,5'a düşmüş, daha sonra artarak 2001

yılında %9,4 ve 2002 yılında %9,1 olarak gerçekleşmiştir. Bu eğilim, doğrudan petrol fiyatlarına bağlı olarak açıklanabilir. 2003 yılı Ocak-Nisan döneminde 2002 yılının aynı dönemine göre petrol ithalatı %38 ve toplam ithalat %32,3 oranında artmış, petrol ithalatının toplam ithalat içindeki payı %7,9'dan %8,3'e yükselmiştir. Aynı yıl ham petrole ilaveten ithal edilen petrol ürünleri de dikkate alınırsa bu rakam daha da yükselecektir [7].

Petrol fiyatlarındaki yükselme dünya ekonomisinin büyümesinde önemli bir engel olmakla birlikte petrol fiyatlarının yüksek seyretmesi, enerji fiyatlarını artırarak maliyet enflasyonuna yol açmakta, bu da büyümeyi olumsuz etkilemektedir. Yüksek petrol fiyatları, petrol ithal eden gelişmekte olan ülkelerin cari işlemler dengesinde önemli ölçüde zarar vermektedir. Türkiye, çevresindeki zengin enerji kaynağına sahip ülkelerin aksine, bilinen enerji kaynakları oldukça kısıtlı bir ülkedir. Bu nedenle ekonomik kalkınmanın en önemli girdisi olan enerjinin çok büyük bir bölümünü ithal ederken bunu verimsiz olarak harcamamalıdır. Enerji, mümkün olan kaynaklardan temin edilmeli, kaynaklar çeşitlendirilmeli, verimlilik artırılmalı, Yenilenebilir enerji kaynaklarına önem verilmelidir [8].

Enerjiye ilişkin tüm faaliyetlerin çevresel risk taşıdığı dikkate alınarak, sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde, enerji ihtiyacı karşılanırken çevresel hususların da dikkate alınmalıdır. Doğal kaynaklar, tarihi zenginlikler ve insan sağlığının riske atılmaması ve bunları sağlamak üzere mümkün olduğunca, ülke koşullarına uygun, yeni ve temiz teknolojilerin uygulanması gerekmektedir. Fosil kökenli yakıt kullanan araçlar hem şehir alanlarını hem de atmosferi kirleten birer tehlikedir. Yakıt ve otomobil endüstrisi, insan sağlığı ve çevre sorunlarının teknik, sosyal, politik ve finansal olarak üstesinden gelmek zorundadır. Hava kirliliği, modern yaşamın getirdiği önemli sorunlardan biridir. Kirliliğin temel kaynağı, enerji elde edilmesi sırasında oluşan yanma olaylarıdır. Dünyada kullanılan enerjinin %30'u hidrolik ve nükleer santrallerden, %70'i ise petrol, kömür vb. fosil yakıtların yakılmasından elde edilmektedir. Yakıtın yakılması sırasında, hava ve yakıt

oranlarının ideal değerlerden uzaklaşması ile oluşan fakir veya zengin karışım eksik yanmaya neden olur. Eksik yanmada karbon monoksit, hidrokarbonlar, azot oksitler, katı parçacıklar, kurşun bileşikleri, kükürt oksitler gibi ürünleri ortaya çıkarmakta ve hava kirliliğine neden olmaktadır [9, 10, 11, 12].

İçten yanmalı motorlarda kullanılacak yakıtların; ucuz ve bol miktarlarda üretilmesi, ısı değerlerinin yüksek olması, kolayca depolanabilmesi ve taşınabilmesi, yüksek sıkıştırma oranlarında çalışmaya olanak vermesi ve düşük düzeylerde egzoz emisyonu oluşturması istenir. Bu özellikleri sağlayan başlıca alternatif yakıtlar genel olarak: yapay benzin, alkoller ve gaz yakıtlar olarak sınıflandırılmaktadır. Sözü edilen yakıtların motor yakıtı olarak kullanılması durumunda, alışlagelmiş motor yakıtlarına göre çeşitli üstünlüklerin yanı sıra bazı olumsuzlukların da ortaya çıkacağı araştırmacılar tarafından belirtilmektedir [5].

Yapay benzin genellikle; karbon monoksit ve hidrojenden çeşitli hidrokarbonlar sentez edilerek üretilmektedir. Bu yöntemde hammadde olarak kömür ve doğal gaz kullanılmaktadır. Bu yolla çok iyi kalitede benzin üretilmesine karşın üretim maliyeti çok yüksek olmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılabilecek başlıca gaz yakıtlar: metan, hidrojen, sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) ve sıvılaştırılmış petrol gazıdır (LPG). Alkoller, otomobilin icat edildiği yıllardan beri motorlarda kullanılmaktadır. Metanol, etanol, tersiyer bütıl alkol, metil tersiyer bütıl eter ve izopropanol gibi alkoller; ya motor yakıtı olarak ya da çeşitli amaçlarla motor yakıtlarına katılarak kullanılmaktadır. Tersiyer bütıl alkol ve metil tersiyer bütıl eter oktan sayısını yükseltmek, izopropanol ise karbüratör buzlanmasını ve benzin-alkol karışımlarındaki faz ayrışması sorununu önlemek için benzine düşük oranlarda katılmaktadır. Alkollerden sadece etanol ve metanol petrol esaslı olmayan hammaddelerden güncel teknolojiyle pratik olarak üretilmektedir. Metanol yüksek gücün istendiği ve yakıt ekonomisinin önemsenmediği özel olarak tasarlanmış yarış otomobili motorlarında yaygın olarak

kullanılmaktadır. Dizel motorlarında ise alkol-dizel yakıt karışımları, bitkisel yağ-dizel yakıt karışımı ve bitkisel yağlar yakıt olarak kullanılmaktadır. Biyoetanol, her tür biokütleden üretilebilen geniş bir potansiyele sahiptir. Büyük veya küçük tesislerde uygun fiyatlarla üretilebilmektedir [5, 9, 12].

Benzinli motorlarda hacimsel olarak %7–10 konsantrasyonunda etanol ile benzinin karıştırılması Kuzey Amerika’da yaygın bir uygulama olarak kendini göstermekle birlikte, 1970’den beri üretilen araçlara %10 etanollu (E10) yakıt karışımı tam olarak uygulanmaktadır. Bütün üreticiler E10 karışımının kullanılmasını onaylamakta ve taşıtlarını bu yakıt için garanti etmektedirler. Düşük seviyedeki etanol karışımlarının kullanılması ile motor karakteristik değerlerinde kayda değer bir değişiklik olmamaktadır. Biyoetanol için özel üretilmiş araçlarda biyoetanol, %85 etanol-%15 benzin (E85) karışım oranına kadar, yüksek karışım oranlarında kullanılabilir. E85 yakıtı kullanan araçlar, otomobil üreticilerinin bu ürünü test etmeleri nedeniyle sınırlı sayıda üretilmektedir. Bu araçlar %100 etanol veya %85 sınırına kadar her oranda etanol-benzin karışımı olarak çalıştırılabilmektedir. Bu nedenle bu taşıtlar esnek yakıtlı taşıtlar olarak adlandırılır. E85 yakıtının kullanımının yaygınlaşmasını engelleyen etmenlerden biri özel dağıtım donanımlarına ihtiyaç olmasıdır [12].

Tam çevrimde bir litre %100 benzin yerine E10 yakıtı kullanıldığında; eğer etanol tahıldan üretilmişse sera etkisi yapan gaz emisyonunu %3–4, şayet etanol selülozdan üretilmişse gaz emisyonunu %6–8 düşürebilir. Tamamen benzin yerine E85 yakıtı kullanımı net emisyonları %75’e kadar düşürebilir. Biyoetanol ve benzin kombinasyonlarındaki uçucu organik bileşiklerin duman üretimindeki tüm artış sonuçları saf etanol ve saf benzinle karşılaştırılmış, bunun sonucunda, düşük uçuculuğa sahip olan etanol-benzin karışımı üretilebileceği belirtilmiştir [12].

AB, 2003/30 sayılı biyoyakıt kullanımı yönetmeliği: Biyoyakıtların tüm üye

lkelerde ticari ve nakliye amaçlı kullanılan akaryakıtlara karıştırılması gerekliliğini tanımlamış ve bu kullanımın oranlarını hedefler halinde belirlemiştir. Buna göre; 2005 yılı sonuna kadar %2, 2010 yılı sonuna kadar %5,75 oranlarında biyoyakıt, konvansiyonel yakıtlar ile karıştırılarak kullanılacağı açıklanmıştır. 2010 yılı itibarı ile ülkelerin gelmeyi amaçladığı durum ise şöyledir: Brezilya 24 milyar litre kapasite hedeflemektedir (lke akaryakıt tüketiminin %75'i ve 8 milyar litre ihracat). ABD, 16 yeni tesis ilave ederek 2010 yılında 22 milyar litre kapasiteye ulaşacaktır (lke yakıt tüketiminin yaklaşık %10'u). AB lkeleri, özellikle yeni katılan ülkelerde yapılacak 16 milyar litrelik yeni yatırımlar ile büyümeyi planlamaktadırlar (AB yakıt tüketiminin yaklaşık %12'si) [13].

Türkiye'nin yıllık benzin tüketimi yaklaşık olarak 4 milyon tondur. Bu miktarın %2 si 80 000 ton, %5,75'i (Avrupa'nın 2010 yılı itibarı ile kullanmayı taahhüt ettiği biyoetanol oranı) 345 000 ton dur. Ülkemizde yakıt alkol üretimini yapan bir tesis bulunmakta, ancak kapasitesi ihtiyaca cevap vermemektedir. Bu tesis dışında, Türkiye şeker Fabrikaları A.ř. bünyesinde Turhal, Malatya, Erzurum ve Eskişehir şeker Fabrikaları'nda alkol tesisleri bulunmakta ancak teknolojik olarak ilave yatırımlar ile geliştirilerek çalıştırılmaları gerekmektedir. Pankobirlik bünyesinde ise; Amasya şeker Fabrikası'nda, alkol tesisleri (içecek alkol) mevcuttur. Konya şeker Fabrikası ise Türkiye'nin en büyük kapasiteli biyoetanol fabrikasının kuruluş çalışmalarına başlamıştır. Planlanan tesisin %2 karışım oranında ülkemizin tüm ihtiyacına cevap verebileceği öngörülmüştür. Yurduumuzda akaryakıtlara uygulanan özel tüketim vergisi oranının, etanol üzerinden kaldırılması halinde, ülkemiz hazinesinin uğrayacağı kayıp, yurt dışından aynı miktar yakıtı üretmek için yapılacak ham petrol ithalatı ve biyoyakıt üretiminin yurt içi piyasasına sağlayacağı katma değerden çok daha az olacaktır. Örneğin; 2005 yılı itibarı ile kullanılması düşünülen (Pankobirlik tarafından planlanan yeni tesisin kapasitesi) 80.000 ton etanol karşılığı benzin için yurt dışına ödenen bedel 50 Milyon Dolardır. Bu bedelin yurt içinde kalmasının yanı sıra pancar tarımının özellikleri gereğince kullanılan; kimyevi gübre, tarımsal alet ve makineler,

zirai mücadele ilaçları, taşımacılık sektörü, yan ürünleri ile hayvancılık sektörüne sağlanan katkılar ve istihdam ilave ekonomik katma değerler olarak dikkate alındığında tüm bu katma değerlerin getirisi çok daha fazla olacaktır. Böylece, yerli tarım ürünlerinden elde edilen etanol ile yurdumuz, yatırım ve istihdam avantajlarının yanı sıra, ilave katma değer sağlamakta ve dışa bağımlı enerji kullanımını da azaltmaktadır [13].

1973 ve 1979 petrol krizleri řu gerçeği ortaya koymuştur: lkeler deme güçleri olsa bile istedikleri zaman istedikleri kadar petrol alamayacaklardır. Bu nedenle birçok ülkede yerli kaynaklara dayanan enerji üretimi çalışmaları hız kazanmıştır. Kimi lkeler alternatif enerji kaynağı bulmaya yönelik çalışmalarını yoğunlaştırırken, kimi ülkeler de petrol tüketimlerini azaltmak için çeşitli önlemler almaya yönelmişlerdir. Bununla ilgili olarak biyolojik kökenli yenilenebilir, evre dostu temiz yakıtlara ihtiyaç vardır [14].

Bu çalışmada, benzin motorlarında E0, E50 ve E85 yakıtının optimum kullanımının yüksek sıkıştırma oranlarında ve tam yükte, motor devrine bağlı motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi ile sabit devirde hava fazlalık katsayısı ve ateşleme avansına bağlı motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel incelenmesi yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları yakıtların özellikleri, bazıları da motorların özelliklerini araştırma konusu etmektedir.

Kurşunsuz benzin-etanol karışımlarının, (tip TOYOTA, TERCEL- 3A) 4 silindirli 4 zamanlı buji ateşlemeli motorda, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Kurşunsuz benzin-etanol karışımı kullanılması sonucu, fren gücünde, ısı veriminde ve hacimsel verimde ortalama artışlar sırasıyla %8,3, %9,0 ve %7 olarak ölçülmüştür. Ayrıca özgül yakıt sarfiyatı %2,4 azalma göstermiştir. Bütün devirlerde, CO ve HC emisyonlarında sırasıyla ortalama olarak %46,5 ve %24,3 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. Diğer yandan CO₂ emisyonunda %7,5 oranında artış görülmüştür. Kurşunsuz benzin-etanol karışımında, motor performansı ve egzoz emisyonları açısından en iyi sonuçlar E20 yakıtı ile elde edilmiştir. E25 yakıtı ile yapılan deneylerde de motorun çalışmasında her hangi bir problem ile karşılaşılmadığı belirtilmektedir [15].

He ve ark. tarafından, buji ateşlemeli elektronik enjeksiyon sistemlerinde, etanol-benzin karışımı yakıtların katalitik dönüşüm verimlerine ve emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Benzin içerisine etanol eklenmesiyle oktan sayısında artma ve damıtma sıcaklığında düşüş meydana gelmiştir. Yüksüz çalışma da E10 yakıtı, CO, toplam hidrokarbon ve NO_x emisyonlarının azalmasında az etkili olurken, E30 yakıtı, büyük ölçüde CO, THC, NO_x emisyonlarını azaltmıştır. Karışım içindeki etanol miktarının artırılması, motor dışına atılan yanmamış etanol miktarını ve asit aldehit emisyonlarını artırmıştır. Pt/Ph tabanlı üç yollu katalizör kullanımı, asit aldehit dönüşümlerini çok verimli yapabilirken, yanmamış etanol dönüşümünde yeterince verimli olamamıştır. [16].

Asfar ve Hamed, tarafından sürekli yanma içerisinde, yakıt katkılarının etkilerini ve egzoz gazları içerisindeki kirleticileri belirlemek için çeşitli kerosen-dizel yakıtı ve alkol-dizel yakıtı karışımlarının yanmalarını deneysel olarak incelemişlerdir. Etanol-dizel yakıtı karışımlarında, karışımı dengelemek ve yakıtı iyileştirmek için, karışım içerisine dengeleyici olarak izobütanol eklenmiştir. Dizel-kerosen karışımı sonucu önemli ölçüde yanma iyileşmiş ve egzozdaki kirleticiler ile is miktarının azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak NO_x miktarında önemsiz bir artış görülmüştür. Kerosen oranını artırmakla, ısı transfer hızı ve buna bağlı olarak ısı verim artmıştır. En yüksek ısı transfer hızı saf kerosende elde edilmiştir. Alkol-dizel karışımlarında ise, %10 oranının üstünde yanma kötüleşmiş ve egzoz emisyonlarının artma meydana gelmiştir. Karışım içerisindeki optimum alkol oranı %10 civarında tespit edilmiştir [17].

Bayraktar, benzin içerisine etanol katılmasının, buji ile ateşlemeli motorların performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Deneylerde kullanılan karışımlarda bulunan etanolun hacimsel oranları 1.5, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5 ve %12 olarak alınmıştır. Sayısal analizlerde bu oran %21 e çıkarılmıştır. Her bir karışım oranı için motor; 1500 min^{-1} 'de 7.75 ile 8.25 sıkıştırma oranlarında ve tam gazda çalıştırılmıştır. Deneysel sonuçlarda, etanolun benzine katılması yanmayı iyileştirmiş olup silindir basıncı ve sıcaklığı artarken yanma süresi azalmıştır. Etanol miktarının artırılmasıyla birlikte, yanmanın iyileşmesi sonucu olarak, efektif güç, efektif verim gibi performans parametrelerinde artış görülmüştür. Etkili bir şekilde CO azalırken, NO_x miktarı tersine bir şekilde silindir sıcaklığının artmasından etkilenecek, etanol artışına paralel bir artış göstermiştir. Buji ateşlemeli motorlarda kullanılabilen en ideal karışım teoride %16,5 iken, deneysel çalışmalarda %7,5 olarak belirlenmiştir. Buji ateşlemeli motorlarda etanol-benzin kullanımındaki bazı problemler ortadan kaldırılırsa %16,5 oranında olan etanol motor tasarımında veya yakıt sisteminde her hangi bir değişikliğe gerek kalmadan kullanılabileceği öngörülmüştür. Deneylerde kullanılan matematiksel modelin, daha detaylı ve daha fazla parametre içeren değişik

etanol-benzin karışımları için, buji ile ateşlemeli motorlarla ilgili çalışmalarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [18].

Wang, ve ark., tarafından Çin'deki bio-etanol kullanan araçların ekonomik, çevresel ve enerji açısından etkileri incelenmiştir. Çalışmalarda sıradan bir benzinli araç ve manyok esaslı E85 yakıtı kullanan esnek yakıtlı taşıt kullanılmıştır. Manyok esaslı E85'in piyasa fiyatı, benzin ve manyok'un fiyatına bağlı olarak %15 daha fazladır. Ancak manyok esaslı E85; düşük seviyede CO₂, CO, HC kirleticilerine sahip olmakla birlikte yüksek NO_x emisyonuna sahip olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte manyok esaslı E85 kullanan taşıtta, yakıt sarfiyatı %12 artmış, buna karşılık E85 kullanımı ile benzin sarfiyatında %40 azalma sağlanmıştır. Enerji ve çevre bakımından manyok esaslı E85 kullanan esnek yakıtlı taşıt, benzinli bir araçtan daha avantajlı olduğu belirtilmiştir. Çevresel etkenler açısından normal benzine oranla %20 daha az zararlıdır. E85 kullanan bir araç, normal benzin kullanan bir araçtan ekonomi, çevre, enerji şartlarına göre daha uygun olduğu, bio-etanol karışimli yakıt kullanan otomobillerin, taşımacılık açısından potansiyel bir araç olarak Çin'in taşımacılık sisteminde hak ettiği yeri alacağı belirtilmektedir [19].

Ceviz ve Yüksel, tarafından etanol-kurşunsuz benzin karışımının buji ateşlemeli motorlarda, çevrimsel değişkenliğe ve emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Hacimsel olarak %10 etanol-kurşunsuz benzin karışımı COV_{imep} (indike efektif basınç değişim katsayısı) ve egzoz emisyonları açısından en iyi sonucu vermiştir. Saf benzinle karşılaştırıldığında egzoz emisyonlarında %20 oranında HC ve %30 oranında CO emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. Hacimsel oran %10'u geçtikten sonra, COV_{imep}, HC ve CO emisyonlarında artma gözlenmiştir. Bunun sebebi ise emme supabının sıcaklığının artmasıyla, volumetrik verimin düşmesinden kaynaklandığı belirtilmektedir. Ancak, hacimsel %20 etanol-benzin karışımında motor sorunsuz bir şekilde çalışmıştır [20].

Rahmani ve Osman, bir VARICOMP buji ile ateşlemeli motor kullanarak, farklı etanol-benzin karışımlarının, değişik sıkıştırma oranlarında motor performansına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Etanol-benzin karışımları %40'a kadar çıkılarak farklı sıkıştırma oranlarında denenmiştir. Etanol oranı %10'un üzerine çıktığında 10 sıkıştırma oranında motor gücünde artış gözlenmiştir. Etanol oranı %20'nin üzerine çıktığında sıkıştırma oranının artırılmasıyla motor gücünün arttığı gözlenmiştir. Her yakıt karışımı için, maksimum gücü sağlayan uygun bir sıkıştırma oranının olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada E10, E20, E30 oranları için uygun sıkıştırma oranları sırası ile 8, 10, 12 olarak belirlenmiştir [21].

Yüksel ve Yüksel, buji ateşlemeli motorlarda, etanol-benzin karışımı yakıt kullanımını deneysel olarak incelemişlerdir. Yakıt karışımında homojenliği sağlamak amacıyla yeni bir karbüratör tasarlanmıştır. E60 yakıtının performans, yakıt sarfiyatı ve egzoz emisyonları açısından test edilmiştir. Deneyler sonucunda motor torkunun biraz arttığı, CO ve HC emisyonlarının yaklaşık %80 ve %50 azaldığı, CO₂ emisyonlarının ise motor durumuna bağlı olarak %20 arttığı gözlenmiştir [22].

Yücesu ve Bayındır, tarafından dört zamanlı benzinli bir motor üzerinde yapılan çalışmada, etanol-benzin karışımlarının çevre kirliliğine etkileri incelenmiştir. Etanol-benzin karışımları; değişik motor devri, zengin-fakir karışım, gaz kelebek açıklığının değişik konumları, boşta ve yük altındaki tüm çalışma koşullarında benzine göre daha düşük CO ve HC emisyonları vermiştir. Karışımdaki etanol miktarının artışına bağlı olarak CO ve HC emisyonlarında düşüş tespit edilmiştir [23].

Salman ve Mutlu, dört zamanlı ve tek silindirli bir benzin motorunda alternatif yakıtlardan etanol ve değişik etanol- benzin karışımlarının kullanılabilirliği, motor performansına ve egzoz emisyonuna etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Alkol-benzin karışımları ile karşılaşılan problemlerden birisinin, benzin ve alkolün aynı tank içerisinde bulundurulması durumunda

karışım oranına, ortam sıcaklığına ve karışımı oluşturan benzinin kimyasal yapısına bağlı olarak faz ayrışması olduğu tespit edilmiştir. Faz ayrışmasında alkol deponun alt tarafında benzin ise üst tarafında toplanmaktadır. Buna bağlı olarak yalnızca motora alkol sevk edilmektedir. Faz ayrışmasını önlemek için çift karbüratör bağlanan bir manifold imal edilmiş ve ayrı ayrı hazırlanan yakıtlar manifoldta hazırlanarak silindire sevk edilmiştir. Benzin etanol karışımlarındaki faz ayrışması problemini çözümlmek için karışıma izopropanol eklenmesi önerilmiştir [24].

Bayındır, tarafından dört zamanlı benzinli bir motor üzerinde yapılan çalışmada, etanol-benzin karışımlarının benzinli motorlarda motor karakteristikleri ve hava kirliliğine etkileri incelenmiştir. Motorun standart değerlerinde etanol–benzin karışımları yakıt olarak kullanılırken CO ve HC emisyonlarında düşüş görülmüş ve volumetrik verimde de artış sağlanmıştır. Hava fazlalık katsayısının (0,931'den 1,069'a) artışına bağlı olarak gerek benzin gerekse etanol-benzin karışımları ile CO ve HC emisyonlarında azalma tespit edilmiştir. Karışımdaki etanol miktarının artışına bağlı olarak da özellikle yüksek devirlerde motor gücü ve momentindeki düşüşün hızlandığı görülmüştür [25].

Sabit ve değişken sıkıştırma oranlı benzinli ve dizel motorlarda, çeşitli oranlardaki alkollü yakıtlarla yapılan bir çalışmada, motor performans karakteristiklerindeki değişimlerini incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, etil alkolün yüksek oktan sayısına sahip olmasından dolayı benzin motorlarında vuruntuyu önlediği görülmüştür. Yaklaşık %10 alkol içeren karışım kullanımında sıkıştırma oranına paralel olarak efektif verimde %7–15 arasında, yalnız benzin kullanılma durumunda ise %4–8 arasında bir artış gözlenmiştir. Sabit sıkıştırma oranında artan devir sayısına paralel olarak da efektif verimde %8–16 arasında bir artış görülmüştür. Aynı zamanda %0–8,5 arasında bir moment artışı olmaktadır. Daha yüksek alkol oranlarında ise, benzinin alt ısı değeri alkolün alt ısı değerinden daha fazla olduğundan moment ve güçte azalma olduğu tespit edilmiştir [26].

Sümer, dört zamanlı ve tek silindirli bir benzin motorunda alternatif yakıtlardan etanol ve değişik etanol-benzin karışımlarının kullanılabilirliği, motor performansına ve egzoz emisyonuna etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Yapılan deneyde en yüksek motor momenti benzinli çalışmada elde edilmiştir. Benzine karıştırılan etanol miktarı arttıkça moment azalmış ve en düşük moment etanolü çalışmada elde edilmiştir. 2400 min^{-1} 'ya kadar moment artmış, bu devirden sonra benzine kıyasla moment hızlı düşme göstermiştir. Karışımdaki etanol miktarının artışına bağlı olarak momentin azalmasıyla motor gücü de azalmıştır. Karışımdaki etanol miktarı arttıkça CO emisyonları düşmüştür. En düşük CO emisyonu etanolü çalışmada elde edilmiştir. HC emisyonları ise etanol miktarı arttıkça yükselmiş ve etanolü çalışmada en yüksek seviyeye çıktığı gözlenmiştir [27].

Çelikten ve ark., Ford marka dört silindirli ön yanma odalı turbo dizel bir motorda etanol dizel yakıtı karışımlarının etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Dizel yakıtına oksijenli bir bileşik olan etanolün eklenmesi CO, is ve SO₂ emisyonlarını önemli derecede azaltırken NO_x emisyonlarını bir miktar artırmıştır. Etanolün ısı değeri daha düşük olmasından dolayı güçte belirli bir oranda düşme olmaktadır. Etanol katkısının emisyonlar üzerindeki olumlu etkisi, kısmi motor yüklerinde yüksek hava fazlalık katsayısı nedeniyle daha az oranda gerçekleşmiştir [28].

Çelikten, İndirekt püskürtmeli dizel motorunda (IDI) tam yükte dizel ile %10 oranında etanol-dizel karışımını kullanarak, motor performansı (güç, tork, yakıt tüketimini) ve emisyonlarla (O₂, CO, CO₂, NO_x, SO₂ ve % duman koyuluğu) ilgili değişimleri incelemiştir. Deney sonucunda, dizel yakıtına göre etanolü yakıt karışımı kullanıldığında motor gücü ortalama olarak 5 kW ve motor torku da 10 Nm kadar düşmektedir. Emisyon değişimlerinde ise No.2 yakıtına göre etanol karışimli yakıtın O₂ miktarları ortalama olarak %2–3 civarında artarken, NO_x ve CO emisyonları kısmen, CO₂, SO₂ ve duman emisyonlarında ise oldukça yüksek oranlarda azalmalar tespit edilmiştir [29].

Makoi, içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt kullanımı konulu çalışmasında, alkollerin içten yanmalı motorlarda kullanılması için motorlarda bazı önemli değişiklikler (silindirlerin büyütülmesi ve supapların küçültülmesi) yapılması gerektiğini, ancak mevcut motorlarda tasarım değişikliği gerekmeksizin alkollerin belli oranlarda benzin veya dizel yakıta karıştırılarak kullanılması daha avantajlı olduğu belirtilmektedir. Alkollerin ısı değerleri benzin ve dizele göre daha düşük olmasının yanı sıra alev hızı ve oktan sayısının yüksek oluşu avantajlarından yararlanılarak, sıkıştırma oranı dolayısıyla gücü artırma imkânının olabileceği belirtilmiştir [30].

3. ETANOLÜN ÖZELLİKLERİ

3.1. Etanol ve Benzinin Özellikleri

Etanol temiz, renksiz ve zehirli olmayan bir sıvıdır. Etanol içerisinde etil alkol bulunan, şeker, şekeri çevirebilen selüloz ve nişasta gibi maddelerin fermantasyonu sonucu elde edilen alkol türüdür. Etanolun motorda kullanımı düşüncesi tarım ürünlerin bolca yetiştirildiği ülkeler için geçerlidir. Etanolun ısı değeri benzinden düşüktür. Etanol su ile her oranda karışabilme özelliğine sahiptir. Etanol, yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın düşük setan sayısına sahip olması ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarında kullanımında bir takım sorunlar meydana gelebilmektedir. Kendi kendine tutuşma direnci, benzin motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığından benzin motorlarında kullanımı daha avantajlıdır. Etanol ve metanol Çizelge 3.1’de görüleceği gibi yüksek oktanlı yakıtlardır. Yanma hızları benzine göre yüksektir [31].

Motorun yalnız alkol ile çalıştırılması durumunda hava miktarının iyi ayarlanması gerekmektedir. Eğer alkolün yakılmasında yeterli miktarda hava bulunmazsa aldehit ve su, daha az hava olması halinde ise sirke asidi meydana gelir. Havanın iyi bir şekilde ayarlanması ile aldehit ve sirke asidi oluşumu önlenmektedir. Etanol, benzin ile karıştırılarak kullanıldığında, fazla oksijen benzin tarafından kullanıldığı için, sirke asidi ve aldehit oluşumu önlenmiş olur [25, 32].

Etanol ve bazı yakıtların fiziksel ve kimyasal yönden karşılaştırması Çizelge 3.1’de görülmektedir [31].

Çizelge 3.1. Etanol ve diğer alternatif yakıtların fiziksel ve kimyasal yönleriyle karşılaştırılması [31]

	Hidrojen	Metan	Metanol	Etanol	Benzin	Dizel
Kimyasal Denklemi	H ₂	CH ₄	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₈ H ₁₈	
C/H Oranı	0	0,25	0,25	0,333	0,556	0,520
Moleküler Ağırlığı	2,02	16,04	32,04	46,07	91,4	170
Özgül Ağırlığı						
Sıvı (kg/dm ³)	0,07	0,424	0,790	0,790	0,73	0,83
Gaz (kg/dm ³)	0,84*10 ⁻⁴	0,78*10 ⁻³				
Isıl Değeri						
(Mj/kg)	119,93	50,8	20,01	26,9	43,4	43,1
(Mj/litre)	8,41	20,8	15,9	21,3	31,8	
Stokiyometrik						
Karışım için						
Hava	34,2	17,2	6,44	8,96	14,7	14,5
/Yakıt (Kütlese)	2,38	9,53	7,14	14,3	45,79	
Hava/Yakıt	3,20	3,40	3,53	3,61	3,78	
(Hacimsel) (kJ/litre)	3,20	3,40	3,53	3,61	3,78	
Mol ürünler/mol reaktantlar	0,85	1,00	1,06	1,06	1,04	
Buharlaştırma ısısı (MJ/Kg)	0,447	0,509	1,102	0,856	0,272	0,3
Tutuşma sınırları						
% Hacim	4,1–74	5-5,14	6-37	3,5–19	1,3–7,6	
λ	0,15–4,35	0,5–0,2	0,24–2,22	0,29–1,92	0,29–1,67	0,48–1,35
Laminer alev hızı (m/s)	2,91	0,37	0,52		0,37	
Adyabatik alev sıcaklığı(°C)	2110	1954	1878	1924	1993	
Difüzyon katsayısı (m/s ²)	0,61	0,16				
Kaynama noktası (°C)	-252,35	-161,3	65,1	78,7	32–221	170–350
Donma noktası(°C)	-259		-97,6	-114,1	-56	
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı(°C)	574–591	632	470	392	257	
Oktan Sayısı						
ROS	130	130	110	106	91–100	
MOS		105	87	89	82–94	

3.2. Alkol Esaslı Yakıtın Üretilmesi

20. yüzyıl başlarında alkol üretiminin hammaddeye dayanması, çiftçiyi bir enerji üreticisi yapmıştır. Fakat son yıllarda petrolün ucuz olması, kolaylıkla ve bol miktarda temin edilmesi, alkolün yakıt olarak kullanılmasını geri plana itmiştir. Tarımsal ürünler alkol maddesi olarak düşünüldüğünde, pek çok ürün bu amaçla kullanılabilirlik kazanmaktadır.

Bu durumda bütün, karbonhidratlar fermantasyon yoluyla alkole dönüşebilirler. Bu dönüşüm, şeker için basit ve kolaydır, herhangi bir hazırlığa gerek yoktur. Nişasta için kısmen zordur. Çünkü nişasta moleküllerini enzim veya asidin etkisine bırakmadan önce, nişastanın içinde depo edildikleri hücrelerin olgunlaşmalarını beklemek gerekmektedir. Selülozun fermante olabilen şekere parçalanmasını sağlamak daha da zor olmaktadır [14].

Alkol üretiminde genel olarak kullanılan hammadde kaynakları aşağıda belirtilmiştir [14].

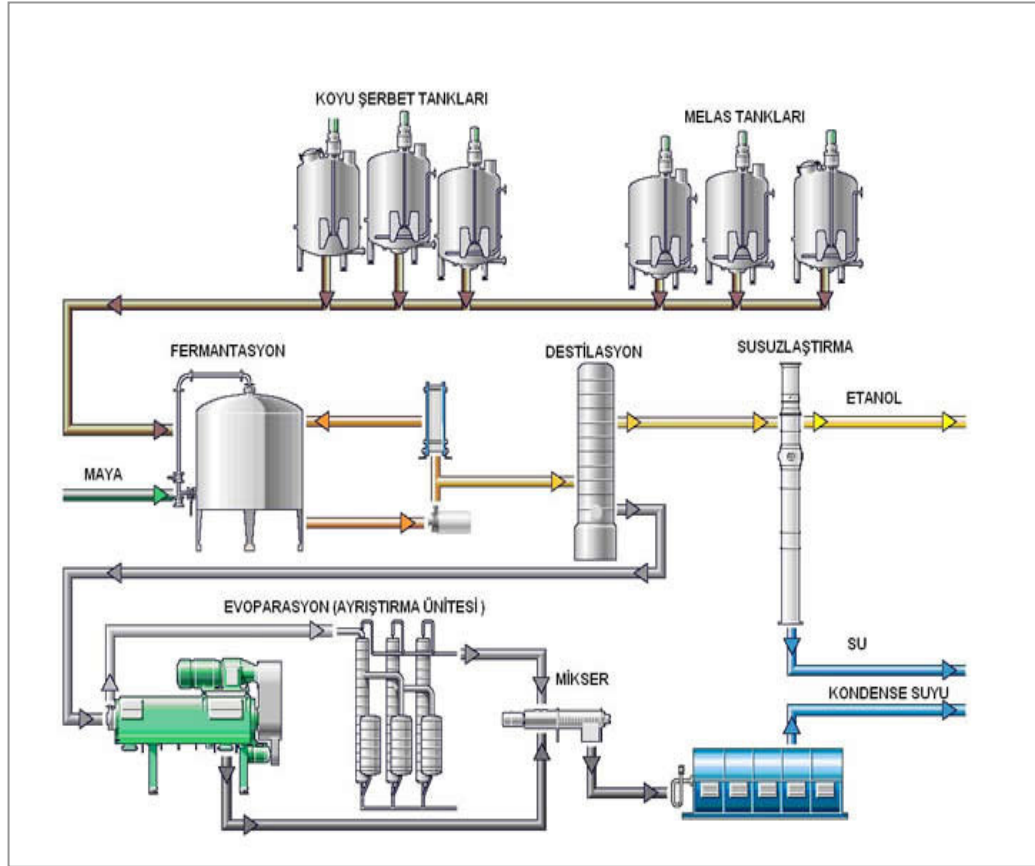
- 1) Şekeri kapsayan ürünler (şeker pancarı, şeker kamışı, hayvan pancarı, yaş ve kuru meyveler vb.)
- 2) Nişastayı kapsayan ürünler (tahıllar, patates, vb.)
- 3) Gıda sanayi artıkları,
- 4) Selülozlu maddeler (şehir artıkları, çiftlik artıkları, odun ve artıkları, vb.)
- 5) Tarımsal kökenli olmayan bazı gazlar (etilen, asetilen, tabii gaz, kömür gazı, sanayi artığı vb.)

Bir litre alkol üretmek için çeşitli tarımsal ürünlerin alkol verimleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir [33].

Çizelge 3.2. Çeşitli tarımsal ürünlerin alkol verimleri [33]

Ham madde	1litre Alkol üretimi için kullanılacak miktar (kg)
Melas	3,4
Pancar	10
Ham şerbet	13
Yaş meyveler	5–10
Kuru meyveler	3–4
Buğday	3–4
Mısır	3–4
Patates	10

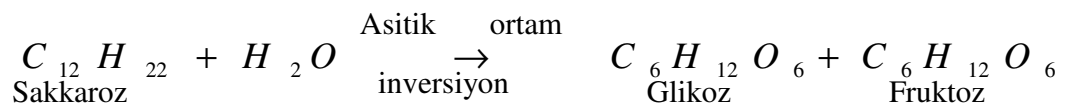
Bio-etanol elde etmek için hammadde olarak koyu şerbet ve melas kullanan bir tesisin üretim aşamaları Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Tesis fermantasyon, destilasyon, rektifikasyon (susuzlaştırma) ve ayrıştırma ünitelerinden meydana gelmiştir [13].



Şekil 3.1. Bio-etanol tesisinin üretim aşamaları şeması [13]

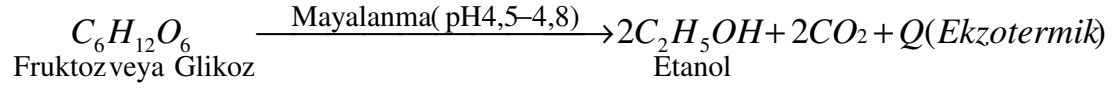
Fermantasyon ünitesi

Bu ünite, fermantasyon metoduyla, kullanılan mayalar ile asit ilavesi yapılarak sakarozu, glikoz ve fruktoza parçalanması sağlanır. pH 4,5 – 5 arasında tutulursa; Sakaroz, glikoz ve fruktoza parçalanır. Bu olaya inversiyon denir.



Glikoz ve fruktoz, maya tarafından parçalanarak, etanol ve CO₂'e dönüştürülür. Reaksiyon ekzotermik olduğundan her 1 kg alkol için, 1200 kJ enerji açığa çıkar.

Fermantör sıcaklığını yükselten bu olay, maya aktivitesini düşürdüğü hatta mayanın ölümüne neden olduğu için, mayşe bir eşanjörden geçirilerek, sıcaklığı 32 °C–34 °C derece arasında tutulur.



Fermantasyon esnasında meydana gelen CO₂ çok az miktarda alkol taşıyacağı için, atmosfere atılmadan önce, bir CO₂ yıkayıcısından geçirilir, yıkantı şartlarına bağlı olarak, ya fermantöre verilir veya besi suyu tankına verilir.

Fermantörde, alkol oluştuktan sonra destilasyona çekilmeden önce, seperatörden geçirilerek mayası ayrılır ve fermentere geri gönderilir. Ara kapta toplanan, mayasız alkollü mayşe bir pompa yardımıyla destilasyon kolonuna gönderilir.

Destilasyon Ünitesi

Bu ünite, destilasyon kolonları bulunur. Mayşe kolonuna % hacmen değeri düşük olan alkolle beslenen sıvının % hacmen oranı yükseltilerek, fraksiyonlu destilasyonla, ham ve saf alkol dereceleri yükseltilerek soğutulduktan sonra günlük depolarda stoklanır. Daha sonra rektifikasyon kolonuna gönderilir.

Rektifikasyon (Susuzlaştırma) ve ayrıştırma Ünitesi

Rektifikasyon kolonuna gelen, % hacmen 96–96,3'lük alkol besleme platosu sıcaklığı olan, 76–78 °C soğutulmak için otomatik bir soğutucudan geçirilerek kolona verilir. Kolonun taban sıcaklığı, endirekt buharla sağlanır ve 80–82 °C'de tutulur. Saatte yaklaşık 700–800 kg buhar sarf eder. 96 derecede olan alkol biraz kaynatılarak, uçucu ve kötü kokulu maddeleri biraz daha uzaklaştırılma işlemi yapılır.

Üste geçen alkol buharları su ile soğutulan yoğunlaştırıcıdan geçirilerek, oluşan kondensat bir ara depoya alınır ve sürekli retür edilir.

Atmosfere açık olan yoğunlaştırıcıdan, kaliteyi bozan, aldehit, keton gibi gazları atmosfere atılır [13].

3.3. Etanollu Yakıtta Faz Ayrışması

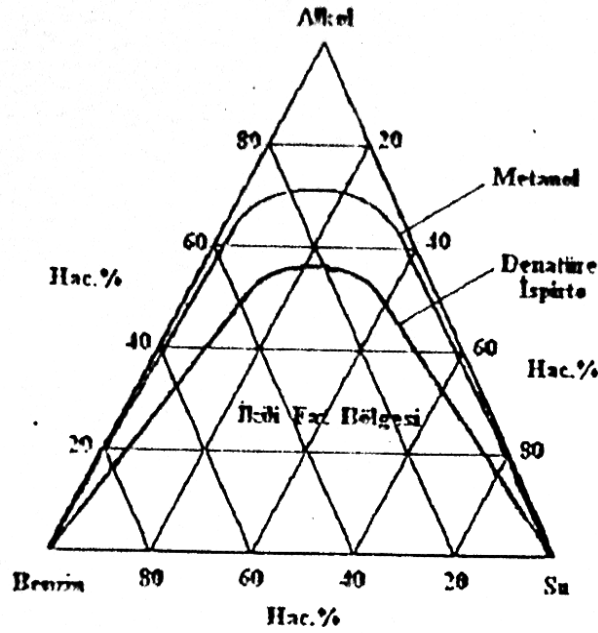
Etil alkolün su çekici özelliği vardır ve içinde muhakkak su bulunur. Alkol katkılı benzinler, alkollerin higroskopik özelliklerinden dolayı, pratik olarak (benzin-alkol-su) dan oluşan üçlü bir karışımdır. Bu karışımın motor yakıtı olarak değerlendirilmesindeki en önemli sorun; daima homojen olması gereken sistemde iki ayrı fazın oluşmasıdır. Bu karışımda üst faz benzin, alt faz ise alkol bakımından zengindir. Bu durumda ayrışma yapmış karışım, motora ulaştığında, alkol fazı tek başına motora geçtiğinde, motorda yakıt yetersizliği ve ani güç düşüşünün verdiği tekleme, sarsıntılar ve ilk hareket zorlukları oluşur. Alkollü benzinlerde faz ayrımı, alkol, su miktarı, sıcaklık ve benzinin bileşimine bağlıdır. Faz ayrışma sıcaklığını düşürmek amacıyla alkollü benzinlerde çeşitli katkı maddeleri katılmaktadır. İzopropanol, tersiyer bütanol, siklohegzanol, izobütanol ve n-bütanol, faz ayrışma sıcaklığını düşürebilecek etkin katkı maddeleridir [34].

Faz ayrışmasına uğramış bir yakıtın alt seviyesindeki etanol-su karbüratöre ulaştığında stokiyometrik hava–yakıt oranı değişecek ve motor gücünün düşmesine neden olacaktır. Bu nedenle çeşitli şartlar altında ve mevcut araçlarda gerekebilecek değişiklikleri saptamak için hangi şartlarda faz ayrışmasına uğrayacağının tespit edilmesi gerekmektedir. Böyle bir karışımın mevcut bir araçta sebep olacağı tahribat önemli derecede olabilir. Çizelge 3.3’de faz ayrışmasının meydana geldiği alkol yüzdeleri ve sıcaklıklar görülmektedir [24].

Çizelge 3.3. Etanol-Benzin karışımlarında faz ayrışması [24]

% Etanol	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C	-10 °C	-20 °C
0	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
10	Normal	Normal	Normal	Faz	Faz	Faz	Faz
20	Normal	Normal	Normal	Faz	Faz	Faz	Faz
30	Normal	Normal	Normal	Normal	Faz	Faz	Faz
40	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Faz	Faz
50	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Faz
60	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
80	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
100	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal

Alkol- benzin karışımları, alkol, benzin su olmak üzere üç bileşenden meydana gelmektedir. Şekil 3.2’de alkol katkılı benzine ait bir faz diyagramı verilmiştir. Diyagramdan da görüldüğü gibi bileşenlerin miktarlarına bağlı olarak normal sıcaklıkla homojen bir fazın dayanıklı olduğu bölgeler açıkça seçilebilmektedir. Her iki eğrinin içinde kalan bölgede heterojen faz etkili iken, eğrilerin dış kısmındaki sistem normal sıcaklıkta homojendir. Bu özelliklere bağlı olarak alkol-benzin karışımları bünyesindeki su miktarı belli bir değeri geçince fazlar ayrışır [25].



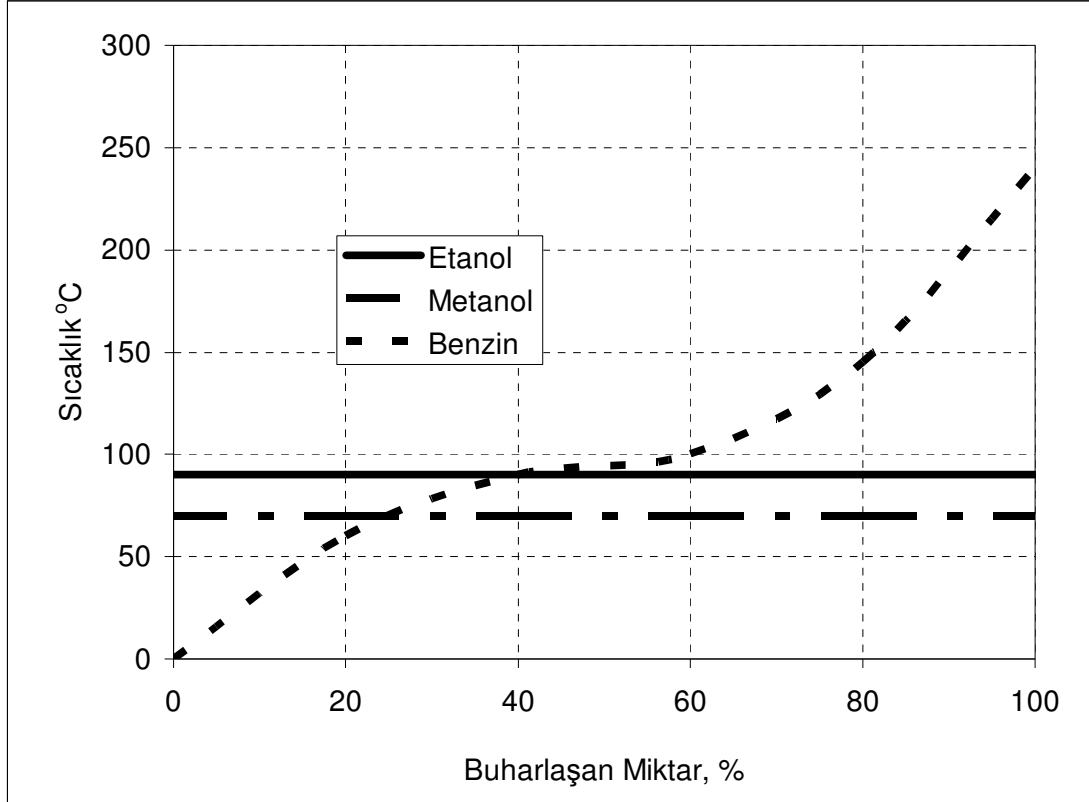
Şekil 3.2. Metanol-benzin-su ve denatüre ispirto-benzin-su sistemlerinin faz diyagramı [25]

3.4. Alkollerin ve Benzinin Damıtma Eğrileri

Şekil 3.3'de alkollerin ve tipik bir benzin örneğinin damıtma eğrileri görülmektedir. Görüldüğü gibi alkollerin damıtma eğrileri düz bir yatay çizgi şeklindedir. Alkollerin bu özellikleri yüzünden soğukta çalışmasında problem ortaya çıkarmaktadır.

Alkollerin, özgül motor gücünün iyi olması iki nedenden kaynaklanmaktadır. Alkollerin gizil buharlaşma ısılarının hemen hemen benzininkinden üç kat fazla olmasından dolayı (Bkz. Çizelge 3.1.), motor çevriminde doldurma işleminde karbüratörden verilen yakıtın buharlaşması sonucunda hava sıcaklığındaki düşme alkol kullanıldığında çok fazla olur. Dolgu sıcaklığındaki düşüklük, motorun hacimsel verimini artırmakta, dolayısıyla birim motor hacminden elde edilecek güç artmaktadır. İkinci neden ise alkollerin vuruntuya dayanıklı olmalarıdır. Bu özellikleri nedeniyle motorları yüksek

sıkıştırma oranlarında vuruntusuz çalıştırma imkânı vardır. Sıkıştırma oranı arttıkça motor gücünde artacaktır [35].



Şekil 3.3. Alkollerin ve benzinin damıtma eğrileri [35]

3.5. Etanolun Alt Isıl Değeri

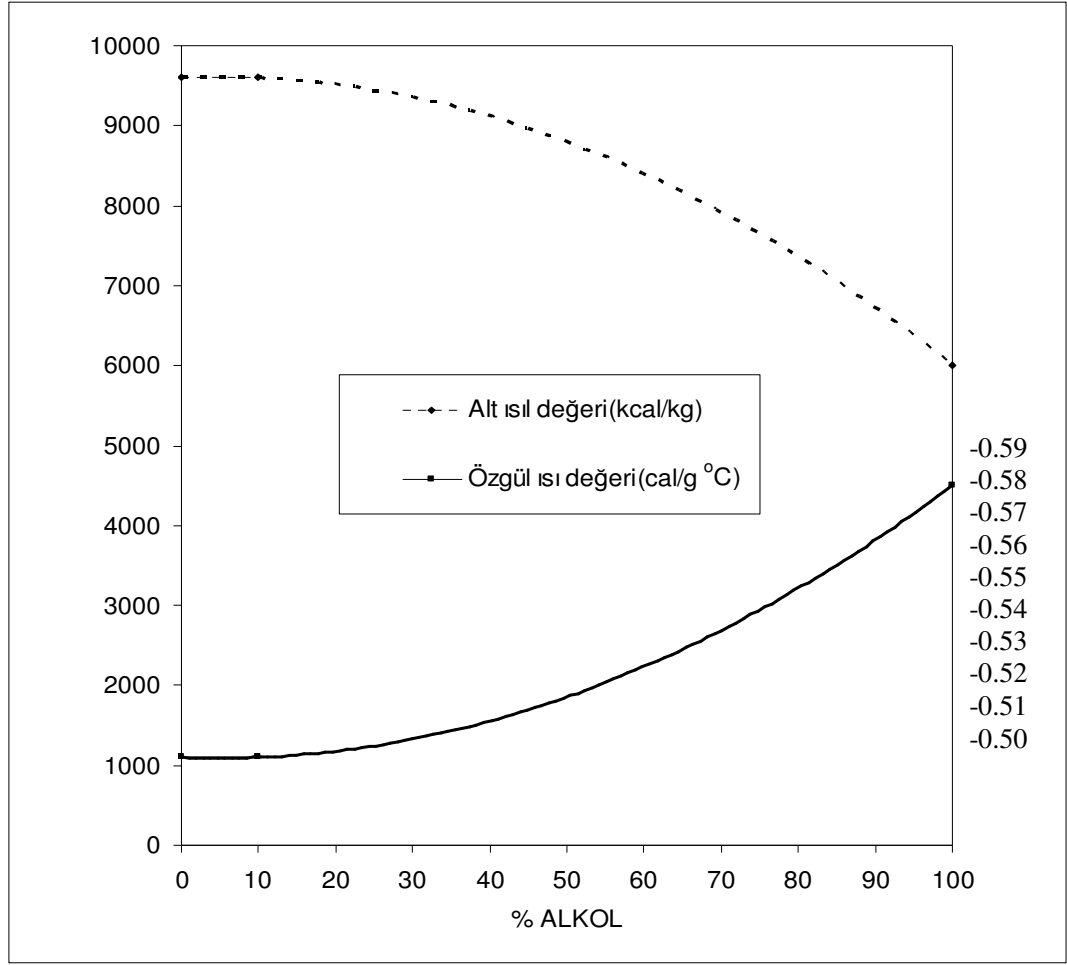
Etanolun alt ısı değeri benzinin yaklaşık %60'ı kadar olması nedeniyle, etanolu çalışmalarda özgül yakıt tüketimi, karışımdaki etanol miktarı ile orantılı olarak artmaktadır. Çizelge 3.4'de görüleceği gibi benzin yerine etanol kullanıldığında aynı yolu gitmek için benzinin 1,25 katı kadar yakıt deposu gerekmektedir [27, 31].

Çizelge 3.4. Alternatif yakıt kullanan araçların performansları [31]

	Benzin	Dizel	Hidrojen	Metanol	Etanol	Lpg	Doğalgaz
Hızlanma 0–100 km/h, Saniye	12	14	18	10	10	11	12
Yakıt Tüketimi, L/100 km	6.9	6.0	21.4	10.7	8.4	7.6	29.4
Mesafe (km) 57 L/tank	820	935	275	565	675	755	205

Etanol-benzin karışımlı yakıt hazırlarken karışımın sahip olacağı alt ısı değerinin kesin olarak bilinmesi gereklidir. Çünkü motora ısı değeri düşük yakıtın verilmesi, yakıt miktarının ve hava-yakıt oranının değiştirilmesine neden olur. Bu da motorda güç düşüklüğüne sebep olmaktadır.

Etanol-benzin karışımı yakıtların alt ısı ve özgül ısı değerleri Şekil 3.4’de görülmektedir [27].



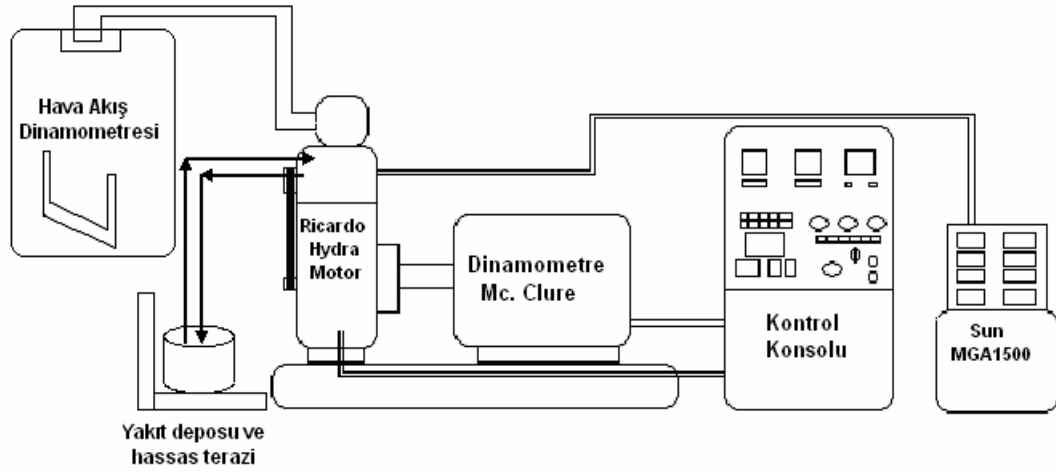
Şekil 3.4. Etanol-benzin karışımı yakıtların alt ısı ve özgül ısı değerleri [27]

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

4.1.1. Deney yeri

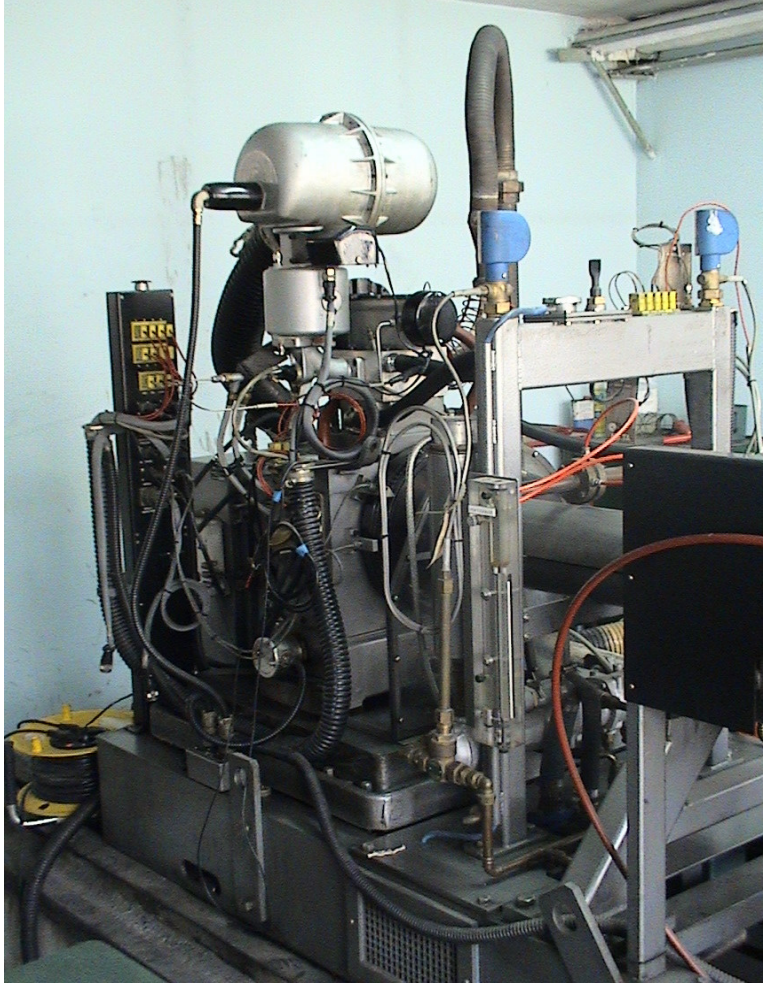
Deneyler Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı, İçten Yanmalı Motorlar laboratuvarında yapılmıştır. Deney tesisatının genel görünümü Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Deney tesisatının şematik görünüşü

4.1.2. Deney motoru

Deney motoru olarak Resim 4.1’de görülen tek silindirli direkt püskürtmeli Ricardo Hydra marka benzin motoru kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 4,1’de verilmiştir.



Resim 4.1. Deney motoru

Çizelge 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri

Markası	Ricardo Hydra	
Silindir sayısı	1	
Çap X Kurs	80.26 x 88,9 mm	
Maksimum devir ve güç	5400 d/d 15 kW	
Sıkıştırma oranı	5:1 - 13:1 (9 farklı oran)	
Ateşleme zamanı	70° KMA ÜÖN'den önce - 20° KMA ÜÖN'den sonra	
Supap Zamanlaması	Açılma	Kapanma
Emme	12° ÜÖN'den önce	56° AÖN'den sonra
Egzoz	56° AÖN'den önce	12° ÜÖN'den sonra

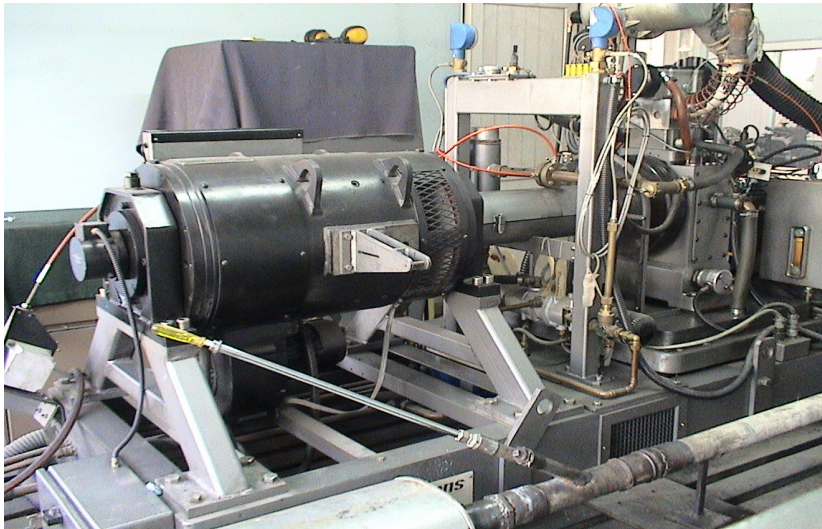
4.1.3. Deneyde kullanılan yakıtlara ilişkin özellikler

Deneylerde yakıt olarak, kurşunsuz benzin ile %99,5 saflıkta etanol kullanılmıştır. Benzin ve etanola ait özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

4.1.4. Deneyde kullanılan ölçü aletleri

Dinamometre

Deneylerde Resim 4,2’de görülen Mc Clure marka elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Dinamometrenin teknik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

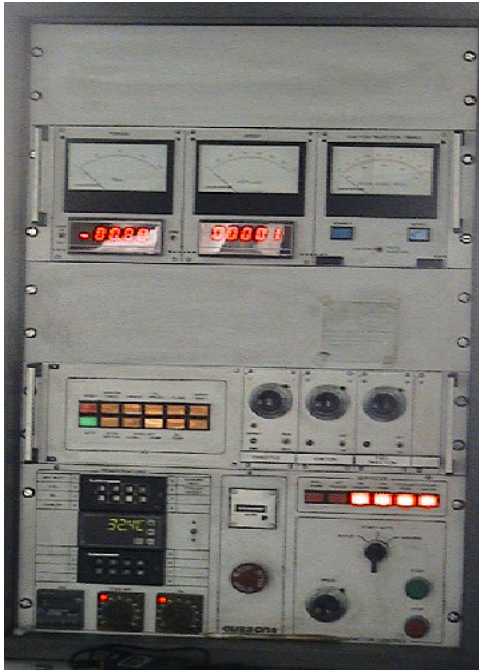


Resim 4.2. Mc Clure marka elektrikli dinamometre

Çizelge 4.2. Dinamonun teknik özellikleri

Üreticisi	Mc Clure
Tip	Ayrı uyartımlı şönt sargılı DC akım makinesi
Ölçüm aralığı	30-37 kW
Maksimum hız	6500 d/d
Endüvi/rotor	400V 65 amp.
Topraklama	370 V
Ventilation/Soğutma	Elektrikli fan

Dinamometreye bağılı bulunan kontrol paneli Resim 4.3’de görülmektedir. Panelin üst kısmında yer alan göstergeler motor momentini, motor devrini ve ateşleme avansını göstermektedir. Motor momentini, motor devri kontrol panelinde hem analog hem de dijital olarak izlenebilmektedir. Kontrol panelindeki göstergelerin ölçüm aralıkları ve ölçümler esnasındaki hassasiyetleri Çizelge 4.3’de gösterilmektedir.



Resim 4.3. Kontrol paneli

Çizelge 4.3. Kontrol panelindeki göstergelerin ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri

	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Hassasiyeti
Motor Momenti	0-80 Nm (Dijital-Analog)	0,01 Nm
Motor Devri	0-7000 min ⁻¹ (Dijital-Analog)	1 min ⁻¹
Statik Enjeksiyon Avansı	0-40° KMA	1° KMA

Kronometre

Yakıt tüketim süresinin tespiti için, 0,01 saniye hassasiyetinde ölçüm yapabilen Robic sports SC–700 marka bir dijital ve kronometre kullanılmıştır.

Hassas Terazı

Tüketilen yakıtın ağırlığını ölçmek için Ohaus GT 8000 marka, elektrikle çalışan, dijital ve 0,1 gram hassasiyetinde terazi kullanılmıştır.

Hava Akış metresi

G-Power M-5000 marka 1 mm su sütunu hassasiyetinde hava akış metresi kullanılmıştır. Motor gücüne bağılı olarak 1,183” çapındaki venturi kullanılmıştır.

Egzoz gaz analizörü

Resim 4.4’de görülen Sun MGA–1500 gaz analizörü, motorun emisyon değerlerinin analizinde kullanılmıştır. Dijital göstergelidir. Şekilde gösterilen cihaza ait teknik özellikler Çizelge 4.4’de verilmiştir.



Resim 4.4. Sun MGA–1500 Egzoz gaz analizörü

Çizelge 4.4. SUN MGA 1500 cihazının teknik özellikleri

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

4.2. Metot

Ölçümlere başlamadan önce, motor çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Gaz kelebeği tam açık konuma getirilerek, dinamometre ile motor yüklenmiştir. Motor 1500 min⁻¹'den 5000 min⁻¹'ya kadar 500 min⁻¹ aralıklarla 8 değişik devirde çalıştırılarak, E0, E50, E85, etanol-benzin karışımlarını üç farklı yakıt oranı kullanarak deneyler yapılmıştır.

3000 min⁻¹'da sıkıştırma oranı motor vuruntusu dikkate alınarak 10–11–12 olarak kademeli olarak artırılmıştır. Ateşleme avansı da motor vuruntusu

dikkate alınarak 5° KMA'dan başlatılmış olup, motorun vuruğu yaptığı noktaya kadar kademeli olarak artırılmıştır. Ayrıca HFK 0,85–1,2 aralığında 5 değişik aralıkta değiştirilerek sabit devir deneyleri yapılmıştır.

4.2.1. Motor momenti ve gücü

Motor momenti

Motor momenti, yakıtın yanması sonucu pistonun üzerine etki eden kuvvetin krank milini döndürebilme kabiliyeti olarak tarif edilebilir. Düşük hızlardan yüksek hızlara doğru motor hızının artmasıyla motor momenti de artmaktadır. Yaklaşık olarak maksimum motor devrinin yarısında motor momenti en yüksek değerine ulaşır ve bu noktadan sonra hız arttıkça moment azalır. [26, 36].

Bu çalışmada motor yük altında çalışırken, moment değeri kontrol konsolu ünitesinden dijital olarak okunmuştur (Şekil 4.4). Deney şartları dikkate alınarak moment düzeltme katsayısı hesaplanmış ve hesaplarda dikkate alınmıştır (Eş. 4.1). Her bir devir için göstergeden okunan moment değeri, moment düzeltme katsayısıyla çarpılarak o devirdeki düzeltilmiş motor momenti bulunmuştur (Eş. 4.2).

$$kd = \left[\frac{99}{P} \right]^{1,2} \times \left[\frac{T}{298} \right]^{0,6} \quad (4.1)$$

Örnek olarak, E85 yakıtı ile 3000 min⁻¹ da yapılan deneyde ölçülen çevre sıcaklığı 22 °C ve ortamın ölçülen basınç değeri 92,3 kPa'dır. Eş. 4.1'de yerine konulduğunda;

$$P = 92,3 \text{ kPa}$$

$$T = 273 + 22 = 295 \text{ K}$$

$$kd = \left[\frac{99}{92,3} \right]^{1,2} \times \left[\frac{295}{298} \right]^{0,6}$$

$kd = 1,0811$ bulunur.

$$Md = M \times kd \quad (4.2)$$

Deneyde göstergeden okunan tork değeri 29,82 Nm'dir. Bu değeri Eş.4.2'de yerine konulduğunda,

$$Md = 29,82 \times 1,0811$$

$Md = 32,24$ Nm olarak hesaplanır.

Motor Gücü

Motor hızının bir fonksiyonudur. Motorun belli hız ve yük konumlarında krank milinden elde edilen güçtür. Artan devir sayısına bağlı olarak artar. Maksimum güç devri maksimum motor devrine yakındır [36, 26].

Hesaplanan bir büyüklük olan motor gücü, düzeltilmiş moment değerinin Eş.4.3'de yerine konulması ile hesaplanır.

$$Pe = \frac{2 \times \pi \times n \times Md}{60 \times 1000} \quad (4.3)$$

Örnek olarak, E50 yakıtı ile 3000 min⁻¹ da yapılan deneyde hesaplanan düzeltilmiş moment değeri (32,34 Nm) Eş.4.3'de yerine konulursa;

$$Pe = \frac{2 \times \pi \times 3000 \times 32,34}{60 \times 1000}$$

$P_e = 10,15$ kW olarak hesaplanır.

4.2.2. Yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi

Yakıt tüketimi

Motorlarda birim zamanda tüketilen yakıt miktarıdır. Deney koşullarında motorun, kronometre ile 60 saniyede ne kadar yakıt tükettiği 0,1 gram hassasiyetinde çalışan dijital terazi ile ölçülerek, saatteki yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

Örnek olarak, 3000 min^{-1} da süre başlangıcında E50 yakıtı için terazide 3062 g, süre bitiminde 3008,5 g 1 dakika da geçen süre için okunmuştur. Buradan bir dakikada harcanan yakıt miktarı;

$$3062 - 3008,5 = 53,5 \text{ g/dak hesaplanır.}$$

Saatte tüketilen yakıt;

$$\frac{53,5 \times 60}{1000} = 3,210 \text{ kg/h olarak bulunur.}$$

Özgül yakıt tüketimi

Birim güç üretimi başına tüketilen yakıt miktarıdır. Özgül yakıt tüketimi, aynı zamanda motorun verimini belirleyen bir büyüklüktür[36].

Özgül yakıt tüketimi Eşitlik 4.4'den faydalanılarak hesaplanır.

$$b_e = \frac{B}{P_e} \times 1000 \quad (4.4)$$

3000 min⁻¹'da E50 yakıtı için yakıt tüketimi 3,210 kg/h ve motor gücü (Eş.4.3) 10,15 kW olduğuna göre buradan;

$$be = \frac{3,210}{10,15} \times 1000$$

$be = 316,26$ g/kWh olarak hesaplanır.

4.2.3. Egzoz emisyonları

Egzoz emisyonu ölçümünde Sun MGA-1500 emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaz ilk açılışta 15 dakikalık sürede kendini kalibre etmektedir. Ölçme işleminden önce analizörün hortumu temizlenerek, egzoz ölçme probu motorun egzoz çıkış borusuna takılmıştır. Motor normal çalışma koşullarına getirildikten sonra verilen devir aralıklarında ve değişik avans değerlerinde, HC, CO, CO₂, NO_x ve hava fazlalık katsayısı (λ) değerleri ölçülmüştür.

Hidrokarbon (HC)

Egzoz gazları içerisindeki hidrokarbon bulunması yakıtın tam olarak yakılmadığını gösterir. Benzin motorlarında özellikle cidara yakın kısımlarda alev sönmektedir. Burada silindir cidarlarından iç kısımlara doğru gidildikçe HC miktarının azaldığı görülmektedir. Alev sıcaklığı soğuk bölgelerde aniden düşerek bu bölgelerdeki hava–yakıt karışımının yanmasına mani olur. Soğuk bölgeler civarındaki bu yanmamış veya kısmen yanmış yakıt daha sonra egzoz çevrimi esnasında pistonun yukarı hareketlenmesi ile birlikte silindirden dışarı atılır [25, 37, 38].

Toplam HC emisyonu yanma veriminin bir ölçüsü olmasına rağmen, kirlilik emisyonunun tam bir göstergesi değildir. Buji ateşlemeli bir motorun egzoz gazları içindeki yanmamış HC miktarı, motora giren yakıt miktarının %1 ila %2,5'i kadardır [26].

HC emisyonları zengin karışımlarda yanma tamamlanmadığı için artmakta, karışım fakirleşmesi ile de azalmaktadır. Ancak çok fakir karışımlarda yanma tekrar kötüleştiği için motor tasarımına da bağlı olarak, belirli bir hava fazlalık katsayısından sonra yanmamış HC'lar tekrar artış gösterir [37].

Sıkıştırma oranındaki artışlar HC emisyonlarını artırmaktadır. Bunun başlıca sebepleri; yüksek sıkıştırma oranlarında genişleme zamanının sonlarında gaz sıcaklıklarının çok düşmesi sonucu silindirdeki HC oksitlenmesinin daha az gerçekleşmesi, daha küçük egzoz sıcaklıkları nedeniyle egzoz sisteminde daha az oksidasyon olmasıdır. Ayrıca yanma odası yüzeylerindeki ve piston bölgesindeki yarık, oyuk kısımların hacmindeki artışlar HC emisyonunu artırmaktadır [39].

Karbon monoksit (CO)

Egzoz gazlarında bulunan CO emisyonunun ana sebebi yanma odasındaki oksijenin yetersiz olmasıdır. Oksijen miktarı yanma odasının tümünde yetersiz olacağı gibi, yerel olarak da yetersiz olabilir. Otomobillerde CO emisyonu yük ve hız değişimlerine büyük oranda duyarsız olup hava / yakıt oranına karşı daha duyarlı davranmaktadır. CO emisyonunu etkileyen en önemli faktör hava fazlalık katsayısıdır [37,38].

Benzin motorlarında karışım zenginleştikçe ($\lambda < 1$), yanma odasında yakıtın içindeki karbonun tamamını karbondioksit (CO_2) dönüştürecek oksijen bulamadığından, CO oranı hızlı bir şekilde artmaktadır. Benzin motorları kısmi yüklerde yakıt ekonomisi bakımından stokiometrik orandan biraz fakir ($\lambda \geq 1$) çalışmakla birlikte, belirli bir strok hacmi için emilen havadan tam olarak yararlanmak amacıyla tam yükte zengin karışımda ($\lambda < 1$) çalışırlar [38].

Karbondiyoksit (CO_2)

Teorik olarak uygun sıcaklık, zaman ve yeteri miktarda oksijenli koşullarda tam yanma sonucu CO_2 ve H_2O oluşur. Pratikte ise bu teorik ideal tam yanma durumu maalesef yanmanın birçok faktöre bağılı olması neticesi meydana gelmektedir. Eğer motor gücünü yükseltmek için zengin karışımla çalıştırılırsa hidrokarbon yakıtın bütün molekülleri yanarak CO_2 meydana getirmezler. Böylece bir kısmı oksitlenmiş CO meydana gelir. Yanma odası içerisinde yanma esnasındaki yetersiz hava nedeniyle benzin motorlarında CO_2 ve H_2O 'nun yanı sıra CO, HC ve NO_x meydana gelmektedir [40].

Azot oksitler (NO_x)

Azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO_2) birlikte azot oksit (NO_x) olarak adlandırılır. Genellikle 1800 K üzerinde yüksek sıcaklıklarda teşekkül etmektedir. Eğer sıcaklık 1800 K'nin üstünde yükselmez ise N_2 ve O_2 , NO gazı meydana getirmeden egzoz sisteminden dışarı atılır. 1800 K üzerinde yanmalı sistemlerden atmosfere %92–98 NO ve %2–8 NO_2 olarak atılmaktadır [38, 41].

Yanma sırasında alev cephesi silindiri içerisinde yayılırken NO_x oluşumu alev cephesi içinde ve arasında meydana gelir. Ancak alev reaksiyon tabakası çok ince olduğundan, NO_x oluşumunun esas olarak alevin arkasındaki yüksek sıcaklığa sahip yanmış gaz bölgesinde meydana geldiğı kabul edilmektedir. Kimyasal reaksiyon oranları sıcaklığa bağılı olarak çok hızlı bir şekilde arttığından, yüksek sıcaklıklarda NO_x oranı daha fazladır [38].

Hava-yakıt oranının stokiyometrik orandan daha zengin olmasıyla NO_x konsantrasyonunun düşmesinin nedeni oksijen miktarının azalması, oldukça fakir karışımlarda düşmesinin nedeni ise yanmanın yavaş olması ve maksimum sıcaklığının düşük olmasıdır. HFK= 1,1 civarında (yani azot ile birleşecek oksijen bulunması durumu) azot oksit oluşumu en fazla

olmaktadır. Ancak HFK 1,1'den büyük olursa yani fakir karışım halinde, silindir içi sıcaklık, reaksiyona giren gaz miktarının azalması ile düşecek ve NO_x emisyonunda hızlı bir azalma gözlenecektir [37, 38].

Ateşleme zamanında avans veya rötar verilmesi, yanma odası içinde oluşan maksimum sıcaklığı değiştirdiğinden NO_x konsantrasyonu da değişmektedir. Teorik hava-yakıt oranı için NO_x konsantrasyonu ateşleme zamanı avans verdikçe yüksek yanma sıcaklığına bağlı olarak önemli derecede artar [38].

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarının Motor Devri İle Değişimi

Motor devrine bağlı deneylerde, hava fazlalık katsayısı deney boyunca $\lambda=1$ değerinde sabit tutulmaya çalışılmış ancak $\pm 0,005$ 'lik toleranslar dâhilinde sapmalara izin verilmiştir. Devre bağlı deneyler, tam gaz kelebeği açıklığında ve motor devri 1500–5000 min^{-1} aralığında 500 devirlik artışlarla gerçekleştirilmiştir. Ateşleme avansı, motorun her devri için maksimum momentin elde edildiği değere ayarlanmıştır. 10–11 ve 12 sıkıştırma oranlarında E0, E50 ve E85 yakıtları için devre bağlı performans ve emisyonlar açısından değerlendirmeler yapılmıştır. Motor performansı ve egzoz emisyonlarının, sıkıştırma oranı ve motor devri artışına bağlı olarak değişimleri EK-1'deki, Şekil 1.1, Şekil 1.2, Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'de grafik halinde verilmiştir.

5.1.1. Motor momentinin motor devri ile değişimi

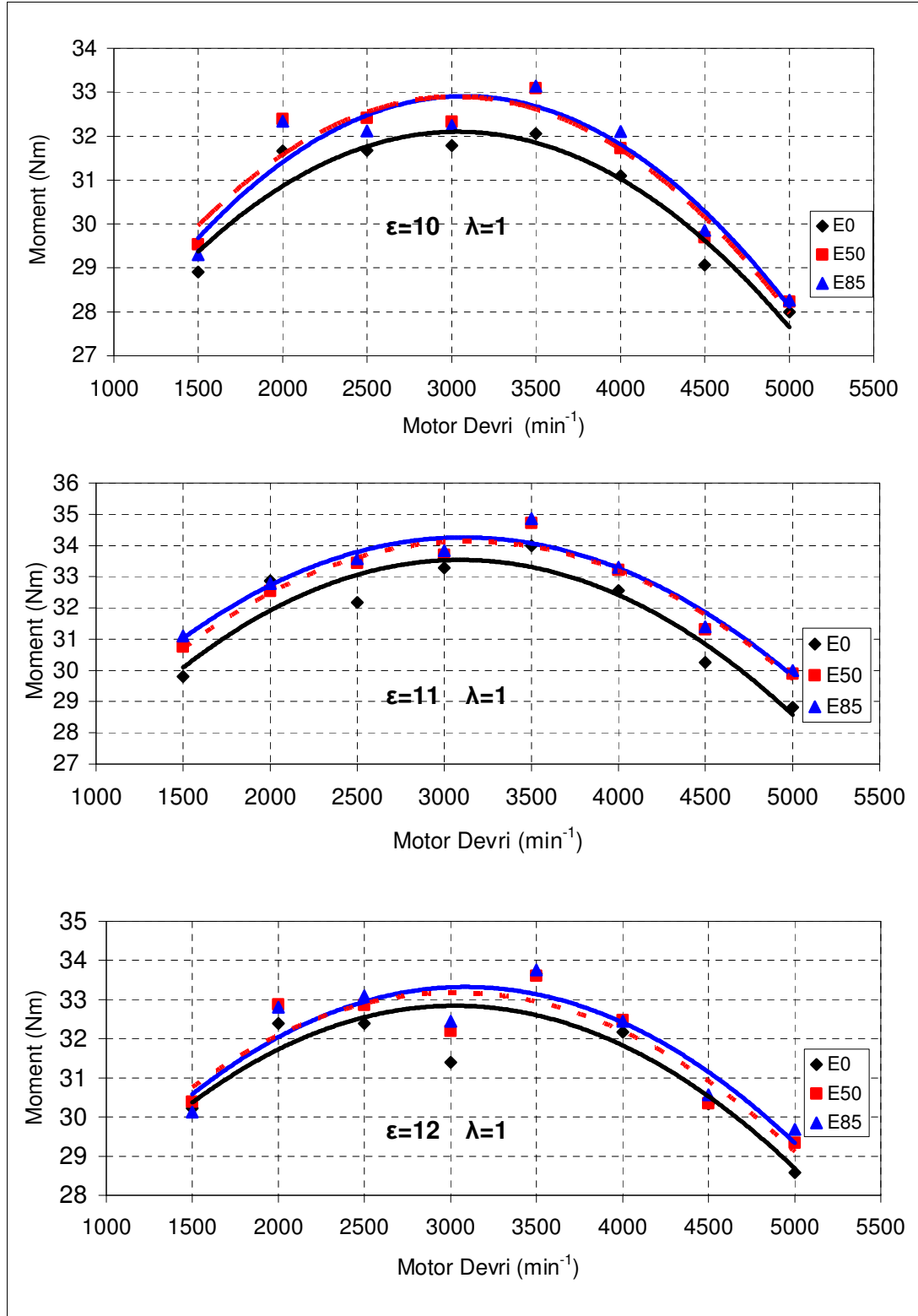
Motor momenti–motor devri ilişkisi incelendiğinde, momentin bir noktaya kadar arttığı ve daha sonra azaldığı görülmektedir. Moment-devir grafiklerinde en yüksek momentin elde edildiği devir maksimum moment devri olarak tanımlanmaktadır. Motorda en fazla dolgu maksimum momentin elde edildiği devirde silindire alınmaktadır.

Motor momenti E0, E50 ve E85 yakıtlarında ve 10–11 ve 12 sıkıştırma oranlarında devir artışına bağlı olarak bir noktaya kadar arttığı görülmüştür. En fazla moment artışı 11 sıkıştırma oranında 3500 min^{-1} 'da E0, E50 ve E85 yakıtlarında sırasıyla; 34, 34,72 ve 34,85 Nm olarak elde edilmiştir. 3500 min^{-1} 'dan sonraki hız artışlarında motor devrine bağlı olarak manifold ve motordaki sürtünme kayıplarının artması motor momentinde düşmeye neden olmaktadır. En düşük moment değeri 10 sıkıştırma oranında 5000 min^{-1} 'da

E0, E50 ve E85 yakıtlarında sırasıyla; 28, 28,23 ve 28,26 Nm olarak elde edilmiştir.

Motor sıkıştırma oranının artışına bağlı olarak, motorda yanma sonu basınç ve sıcaklığın artması beklenmektedir. Bunun sonucunda da motor momentinde artış sağlanmaktadır. Deney yakıtlarıyla motor devrine bağlı yapılan çalışmalarda 10 sıkıştırma oranında elde edilen moment değerleri 11 sıkıştırma oranında artış gösterirken, 12 sıkıştırma oranında 11 sıkıştırma oranına göre düşüş göstermiştir. Buna göre maksimum moment elde edilen E85 yakıtında 10 sıkıştırma oranında 3500 min⁻¹'da elde edilen maksimum moment 33,14 Nm iken %5,15 artarak 11 sıkıştırma oranında 34,85 Nm değeri elde edilmiştir. 12 sıkıştırma oranında maksimum moment %3,12 düşerek 33,76 Nm değeri elde edilmiştir (Şekil 5.1).

Sıkıştırma oranının kademeli artırılmasıyla E0 yakıtında kısmen vuruntu gözlenmiş olup, E85 ve E50 yakıtı ile yapılan deneylerde vuruntu gözlenmemiştir. Dolayısıyla bu yakıtlarda E0 yakıtına göre daha yüksek moment elde edilmiştir.



Şekil 5.1. Tam gaz keleşliği açılışında motor devrine bağlı moment değişimleri

5.1.2. Motor gücünün motor devri ile değişimi

Motor gücü motor devri ve motor momentinin bir fonksiyonudur. Sürtünme kayıplarının devre bağlı olarak artmasıyla momentin düşmesi aynı zamanda da motor gücündeki artışın yavaşlamasına neden olmaktadır. Alkollerin oktan sayıları benzine göre yüksek olduğundan, yüksek sıkıştırma oranlarında vuruntu yapmadan çalışabilirler. Bu durum sıkıştırma sonu sıcaklık ve basıncını dolayısıyla da yanma verimini artıracığından benzine göre daha yüksek motor gücü çıkışı sağlayabilmektedir [42].

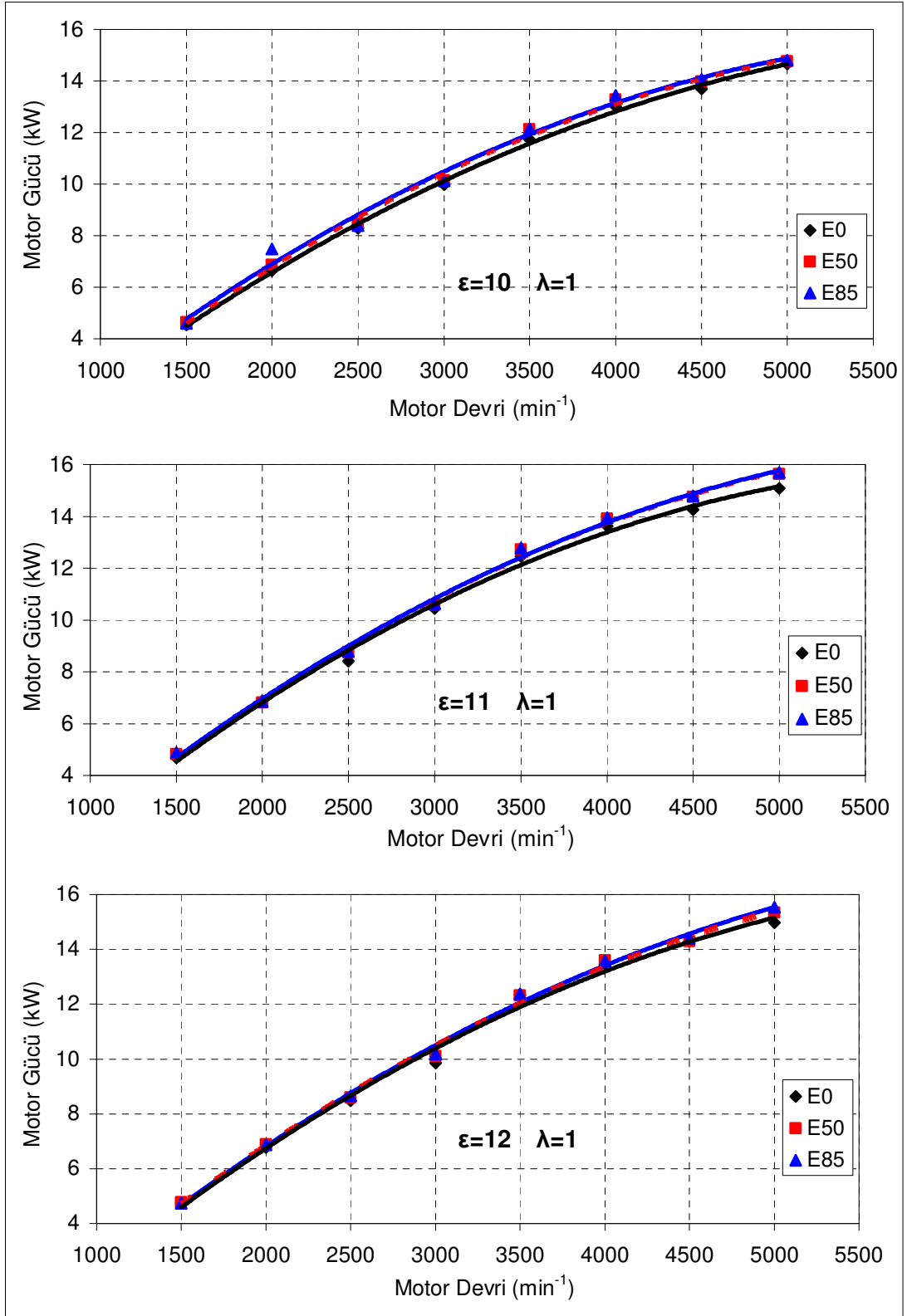
Deneylerde 10–11 ve 12 sıkıştırma oranlarında, motor gücü devir artışına paralel olarak sürekli yükseliş eğilimi göstermiştir ve motor gücünde birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

10 sıkıştırma oranında 1500 min^{-1} 'da E0, E50 ve E85 ile elde edilen motor güçleri sırasıyla 4,54, 4,60, 4,64 kW olarak tespit edilirken, 5000 min^{-1} 'ya kadar motor gücü artarak 5000 min^{-1} 'da sırasıyla 14,65, 14,70, 14,77 kW olarak tespit edilmiştir. Bu durumda en yüksek güç artışı E85 ile yapılan çalışmada elde edilmiştir.

Motor, 10 sıkıştırma oranından 11 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde her üç yakıtla yapılan çalışmada güç artışı tespit edilmiştir. 5000 min^{-1} 'da %6,2 artışla en fazla güç artışı 15,69 kW olarak E85 ile elde edilmiştir. Bunu %7 artışla 15,64 kW olarak E50 yakıtı ve %2,93 artışla 15,08 kW olarak E0 yakıtı izlemiştir.

Motor 11 sıkıştırma oranından 12 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde 5000 min^{-1} 'da motor gücünde E0, E50 ve E85 ile yapılan çalışma sonucu motor gücünde bir miktar düşme tespit edilmiştir. Buna göre; motor gücü E85 yakıtında, %1,01 düşerek 15,53 kW olurken, E50 yakıtında, %1,79 düşerek 15,35 kW olmuştur. E0 yakıtında ise %0,72 oranında düşerek 14,97 kW

olarak tespit edilmiştir. Her üç sıkıştırma oranında motor devrine bağlı motor gücü değişimi Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Tam gaz kelebeği açıklığında motor devrine bağlı güç değişimleri

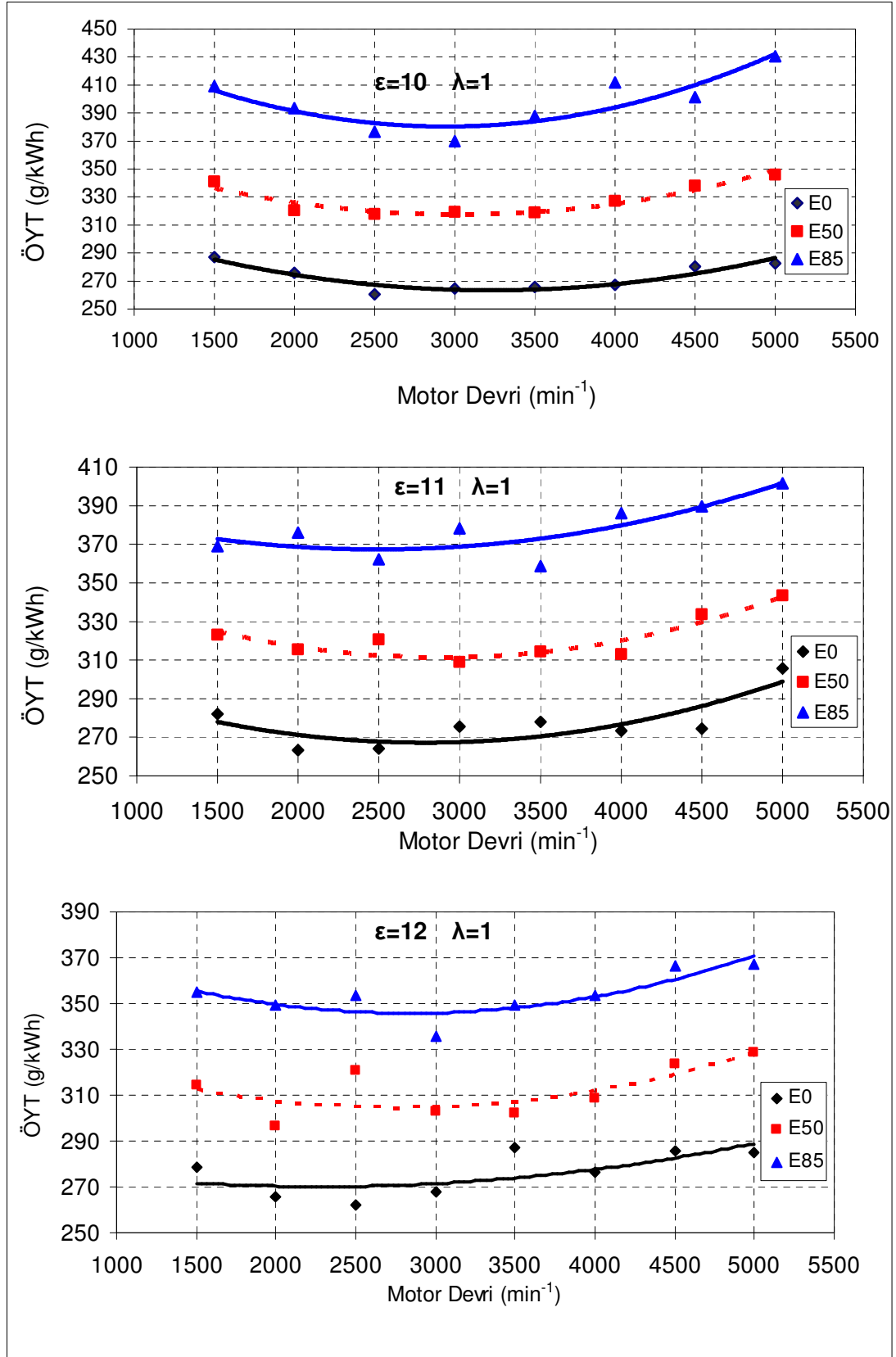
5.1.3. Özgöl yakıt tüketiminin motor devri ile değişimi

E0, E50 ve E85 yakıtlarıyla yapılan deneylerde 10,11 ve 12 sıkıştırma oranlarında, motor devrine bağlı özgöl yakıt tüketim eğrileri Şekil 5.3'de görülmektedir. Özgöl yakıt tüketimini etkileyen faktörlerden biri yakıtın ısı değeri'dir. Etanolun alt ısı değeri'nin benzinin alt ısı değerinden düşük olması nedeniyle (Bkz. Çizelge 3.1) etanol ile yapılan çalışmalarda özgöl yakıt tüketimi, karışımdaki etanol miktarı ile orantılı olarak artmaktadır.

Benzinle karıştırılan etanol miktarının artması ile E85 ve E50 yakıtlarının özgöl yakıt tüketimi de artmaktadır. 10 sıkıştırma oranında maksimum torkun elde edildiği 3500 min⁻¹'da, E0, E50 ve E85 ile yapılan çalışmada özgöl yakıt tüketimleri sırasıyla; 266, 319, 388 g/kW olarak tespit edilmiştir. Motor 10 sıkıştırma oranından 11 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde maksimum torku veren 3500 min⁻¹'da, E0 ile yapılan çalışmada özgöl yakıt tüketiminde %4,51 oranında artış göstererek 278 g/kWh olarak elde edilirken, E50 ile yapılan çalışmada %1,56 oranında düşüş göstererek 314 g/kWh olarak tespit edilmiştir. E85 ile yapılan çalışmada ise %7,47 oranında düşüş göstererek 359 g/kWh olarak elde edilmiştir.

12 sıkıştırma oranında yapılan çalışmada ise maksimum torku veren 3500 min⁻¹'da, 11 sıkıştırma oranına göre E0 ile yapılan çalışmada özgöl yakıt tüketimi %3,23 oranında artış göstererek 287 g/kWh olarak gerçekleşirken, E50 yakıtında %3,82 oranında düşüş göstererek 302 g/kWh olarak tespit edilmiştir. E85 ile yapılan çalışmada ise %2,78 oranında düşüş göstererek 349 g/kWh olarak elde edilmiştir.

Tüm devirlerde ve sıkıştırma oranı değişikliklerinde özgöl yakıt tüketimi değeri büyükten küçüğe sırasıyla E85, E50 ve E0 yakıtları ile elde edilmiştir. E0 yakıtı ile en düşük özgöl yakıt tüketimi elde edilirken, maksimum özgöl yakıt tüketimi 5000 min⁻¹'da, 10 sıkıştırma oranında 431 g/kWh ile E85 yakıtında elde edilmiştir.



Şekil 5.3. Tam gaz keleşliği açıklığında motor devrine bağlı özgül yakıt tüketimi değişimleri

5.1.4. Egzoz emisyonlarının motor devri ile değişimi

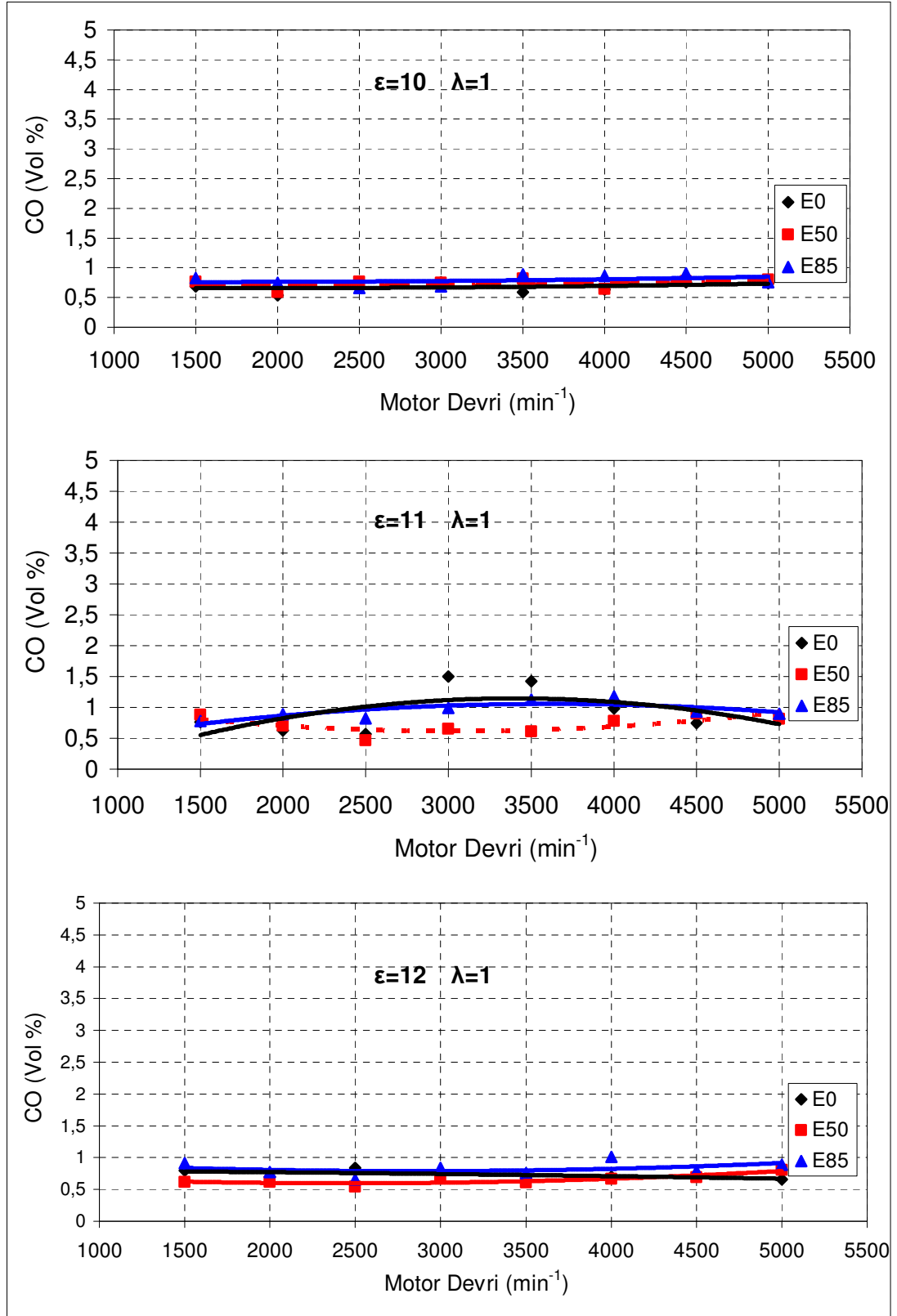
Karbon monoksit (CO) emisyonu

E0, E50 ve E85 yakıtlarıyla yapılan deneylerde 10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında, motor devrine bağlı CO emisyonu değişimleri Şekil 5.4'de görülmektedir. $\lambda=1$ 'de gerçekleşen deneyde grafik incelendiğinde CO emisyonunun sıkıştırma oranı ve devir artışına bağlı olarak önemli bir artış gözlenmemiş olup her üç yakıtta da benzer değerler elde edilmiştir.

10 ve 12 sıkıştırma oranlarında yapılan deneyler boyunca ölçülen CO emisyonları her üç yakıt için hacimsel olarak %1'in altında kalmıştır.

11 sıkıştırma oranında maksimum torkun elde edildiği devir olan 3500 min^{-1} 'da ise ölçülen CO emisyon değeri, E0 ile yapılan çalışmada hacimsel olarak %1,42 olarak ölçülürken, E50 yakıtında %0,61 olarak ölçülmüştür. E85 ile yapılan çalışmada ise CO emisyon değeri %1,13 olduğu görülmüştür.

Devir artışına bağlı olarak hava ile yakıtın yüksek hızlarda daha iyi karışarak yanmayı iyileştirmesi sağlanmaktadır, bu nedenle CO emisyonlarında düşüş beklenirken, egzoz çıkışındaki CO konstrasyonu 1600–2000 K sıcaklıklarındaki termokimyasal denge terkiibindedir. Motor hızı arttıkça bu süper denge konsantrasyonunu veren donma sıcaklığı da artmaktadır. $\text{HFK}=1$ civarında CO oluşumu daha çok meydana gelen yüksek ısının tesiri ile CO_2 'nin parçalanması sonucu oluşmaktadır. Bu reaksiyona ait donma sıcaklığı 1650-1950 K mertebesindedir. İşletme koşullarına bağlı olarak silindirden çıkan CO egzoz borusunda oksitlenerek azalabilir. Bazen egzoz borusunda HC'lerin eksik oksidasyonu sonucu artışa neden olabilmektedir [25].



Şekil 5.4. Tam gaz keleşği açıklığında motor devrine bağı CO emisyonu değışimleri

Karbondiyoksit (CO₂) Emisyonu

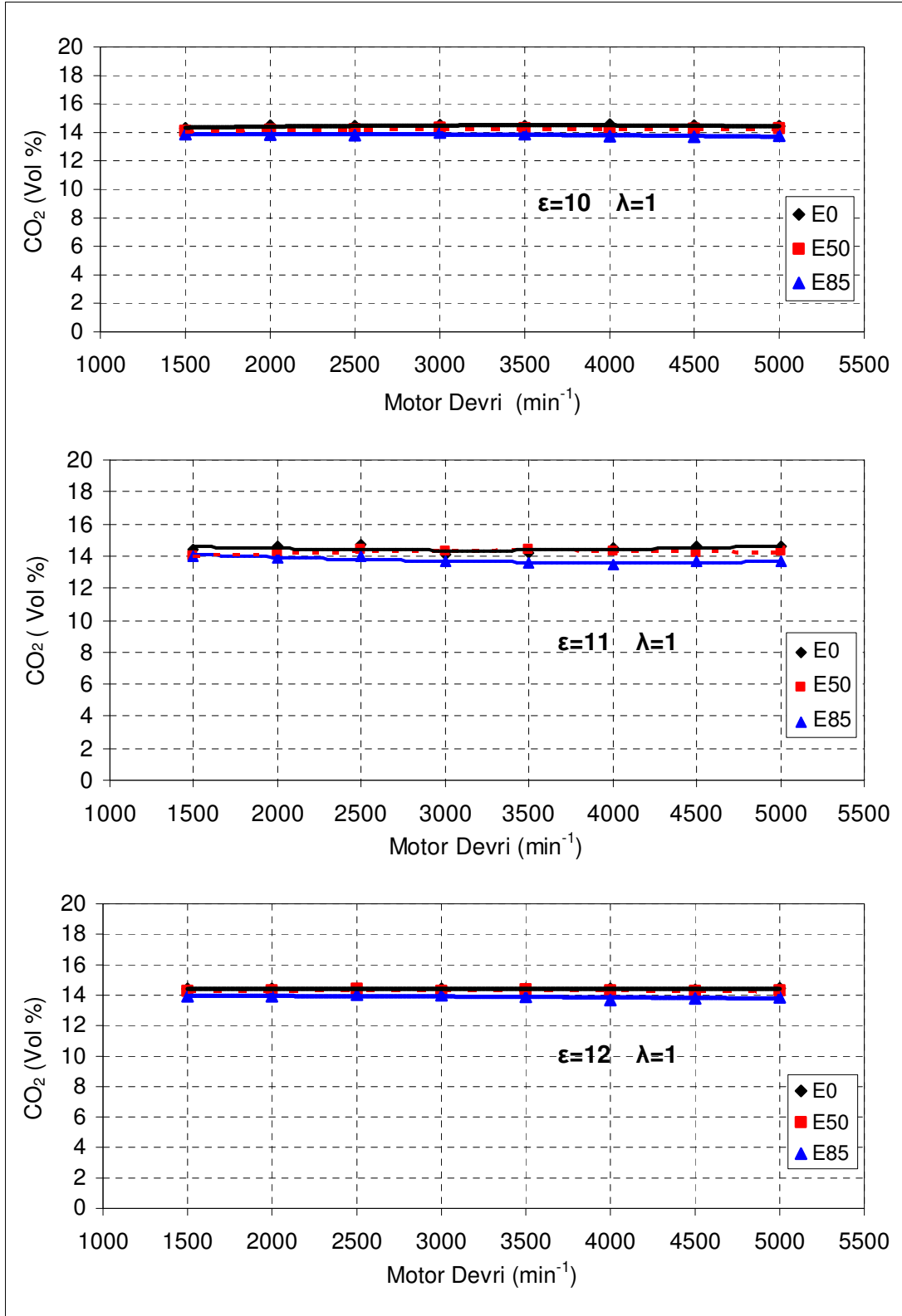
E0, E50 ve E85 yakıtlarıyla yapılan deneylerde 10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında, motor devrine bağlı CO₂ emisyonu değişimleri Şekil 5,5'de görülmektedir

Maksimum torkun elde edildiği devir olan 3500 min⁻¹'da 10 sıkıştırma oranında E0, E50 ve E85 ile yapılan çalışmada CO₂ emisyonu sırasıyla; hacimsel olarak %14,43, %14,30 ve %13,89 olarak ölçülmüştür.

Motor 11 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde 3500 min⁻¹'da CO₂ emisyon değerinde E0 ve E85 yakıtında bir miktar düşme E50 yakıtında ise bir miktar yükselme tespit edilmiştir. Buna göre CO₂ emisyon değeri E0 yakıtında %14,23 ve E85 yakıtında %13,57 olarak ölçülürken, E50 yakıtında ise %14,36 olarak tespit edilmiştir.

12 sıkıştırma oranında elde edilen CO₂ emisyonu değerlerinde 11 sıkıştırma oranına elde edilen değerlere göre bir miktar artış gözlenmiştir. 3500 min⁻¹'da CO₂ emisyonu değeri E0 yakıtında %14,44 olarak tespit edilirken, E50 yakıtında %14,39 olarak tespit edilmiştir. E85 yakıtında ise bu değer %13,89 olarak gerçekleşmiştir.

Sıkıştırma oranı artışı ve devir artışına bağlı olarak CO₂ emisyonunda önemsenmeyecek değişimler görülmektedir. Meydana gelen küçük değişimlerde daha çok karışım içerisindeki etanol miktarının değişimi ile gözlenmektedir. Yani yakıt içerisindeki etanol miktarı arttıkça CO₂ emisyonunda azalma tespit edilmiştir. En yüksek CO₂ emisyonu benzin ile yapılan çalışmada tespit edilmiştir. Bunu E50 ve E85 yakıtı izlemiştir.



Şekil 5.5. Tam gaz kelebeği açıklığında motor devrine bağlı CO_2 emisyonları değişimleri

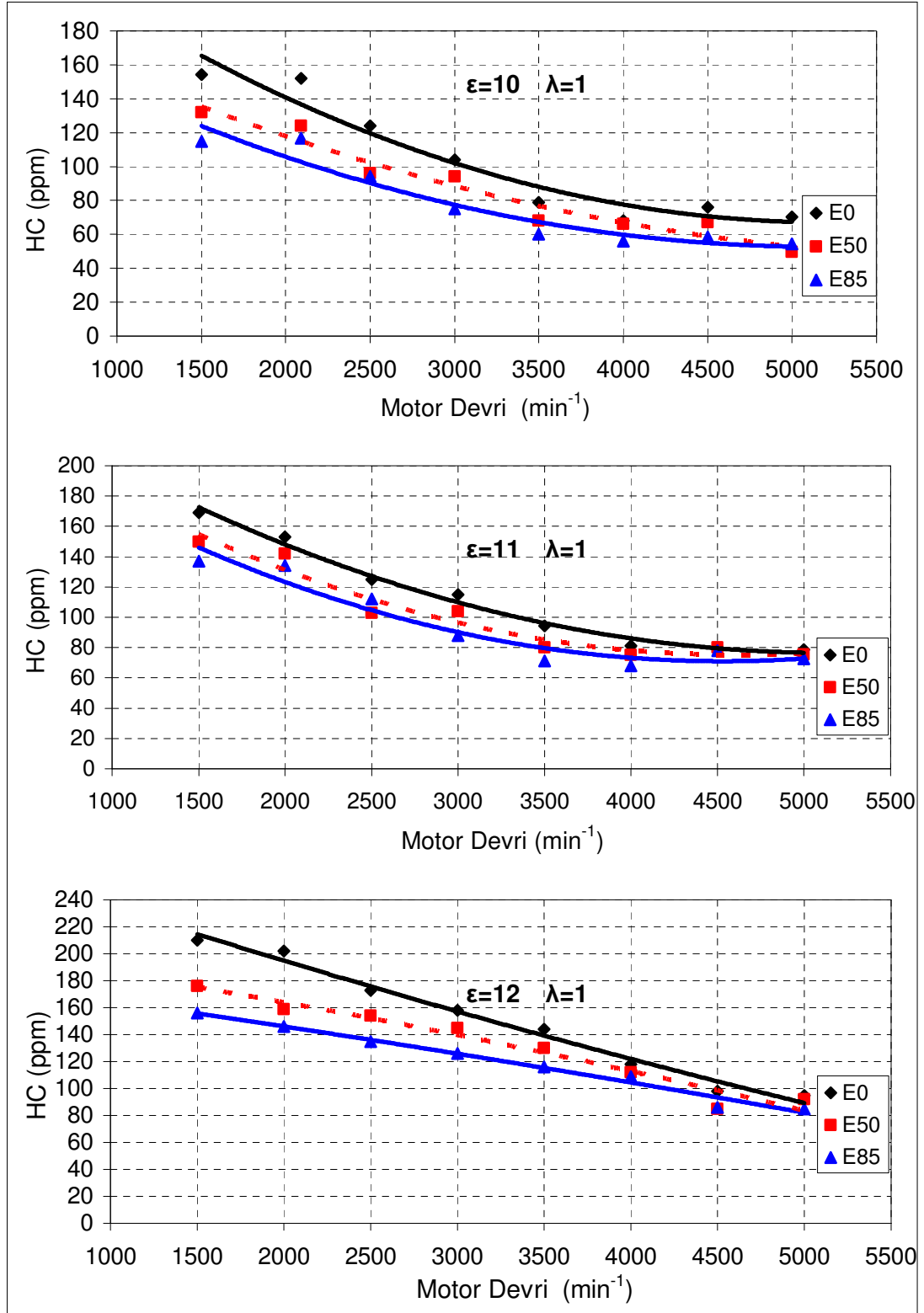
Hidrokarbon (HC) emisyonu

HC emisyonu silindir içerisindeki yakıtın eksik yanmasından kaynaklanmaktadır. Devir artışına bağlı olarak silindir içerisindeki türbülans artmaktadır. Egzoz kanalı yakınındaki türbülans egzoz sonrası oksidasyonu mümkün kıldığından yüksek devirlerde HC emisyonu azalmaktadır [41].

3500 min⁻¹'da E0, E50, E85 yakıtları ile yapılan çalışmalarda; 10 sıkıştırma oranında HC emisyonları sırasıyla; 79, 68, 60 ppm olarak ölçülmüştür. Motor 11 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde, HC emisyonları, E0 yakıtı %18,98 oranında artarak 94 ppm olarak ölçülürken, E50 yakıtı %17,64 oranında artarak 80 ppm ölçülmüştür. E85 yakıtında ise %18,33 oranında artarak 71 ppm ölçülmüştür.

12 oranında 3500 min⁻¹'da, sıkıştırma oranının artışına paralel olarak, her üç yakıtın HC emisyonlarında artış görülmüştür. Buna göre, E0 yakıtında HC emisyonu %52,12 oranında artarak 143 ppm olarak ölçülmüştür. E50 yakıtında %62,5 oranında artarak 130 ppm olarak ölçülmüştür. E85 yakıtında ise %63,38 oranında artarak 116 ppm olarak ölçülmüştür.

Deneylerde kullanılan yakıtların tümünde motor devrinin artmasına bağlı olarak HC emisyon değerlerinde azalma görülürken, sıkıştırma oranının artışına paralel olarak HC emisyonlarında artış meydana gelmiştir. Karışımdaki etanol miktarının artırılması ile HC emisyonlarında düşüş gözlenmiştir. En yüksek HC emisyonu E0 yakıtı ile elde edilirken, En düşük HC emisyonu E85 yakıtında elde edilmiştir.



Şekil 5.6. Tam gaz kelebeği açıklığında motor devrine bağlı HC emisyonları değişimleri

Azot oksit (NO_x) emisyonu

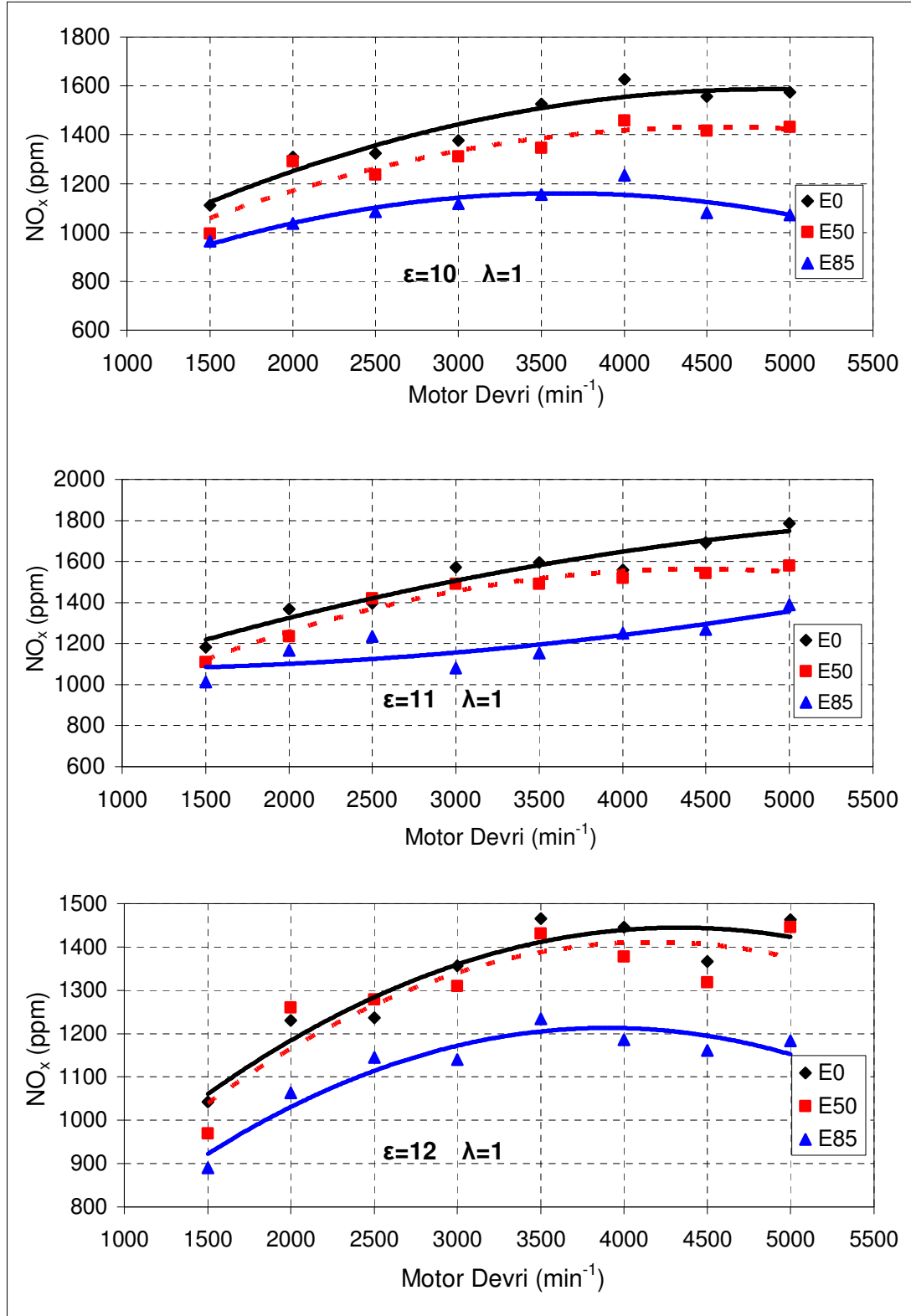
NO_x emisyonları genellikle 1800 K üzerindeki yüksek sıcaklıklarda teşekkül etmektedir. NO_x oluşumu 1800 K'in üzerinde kalış süresine, yeterli O₂ bulunan bölgelerdeki maksimum sıcaklığa ve mevcut O₂ veya N₂ miktarına bağlı olarak değişmektedir.

10 sıkıştırma oranında 1500 min⁻¹'da E0, E50 ve E85 ile elde edilen NO_x emisyonları sırasıyla 1111, 995, 964 ppm olarak tespit edilirken, 5000 min⁻¹'ya kadar NO_x emisyonu artarak 5000 min⁻¹'da sırasıyla 1575, 1432, 1071 ppm olarak tespit edilmiştir.

Motor, 10 sıkıştırma oranından 11 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde her üç yakıtla yapılan çalışmada NO_x emisyon değerinde artış tespit edilmiştir. 5000 min⁻¹'da %13,46 oranlık artışla en fazla NO_x emisyonu değer artışı 1787 ppm olarak E0 ile elde edilmiştir. Bunu %10,33 oranlık artışla 1580 ppm olarak E50 yakıtı ve %22,97 oranlık artışla 1390 ppm olarak E85 yakıtı izlemiştir.

Motor 11 sıkıştırma oranından 12 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde her üç yakıtla yapılan çalışma sonucu NO_x emisyon değerinde düşme tespit edilmiştir. 5000 min⁻¹'da NO_x emisyonu değeri, E0 yakıtında, %18,13 oranında düşerek 1463 ppm ölçülürken, E50 yakıtında, %8,54 düşerek 1445 ppm ölçülmüştür. E85 yakıtında ise %14,82 düşerek 1184 ppm olarak tespit edilmiştir.

10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında ve maksimum motor devrinde, en yüksek NO_x emisyon değeri E0 yakıtı ile elde edilirken, Bunu E50 ve E85 yakıtı izlemiştir.



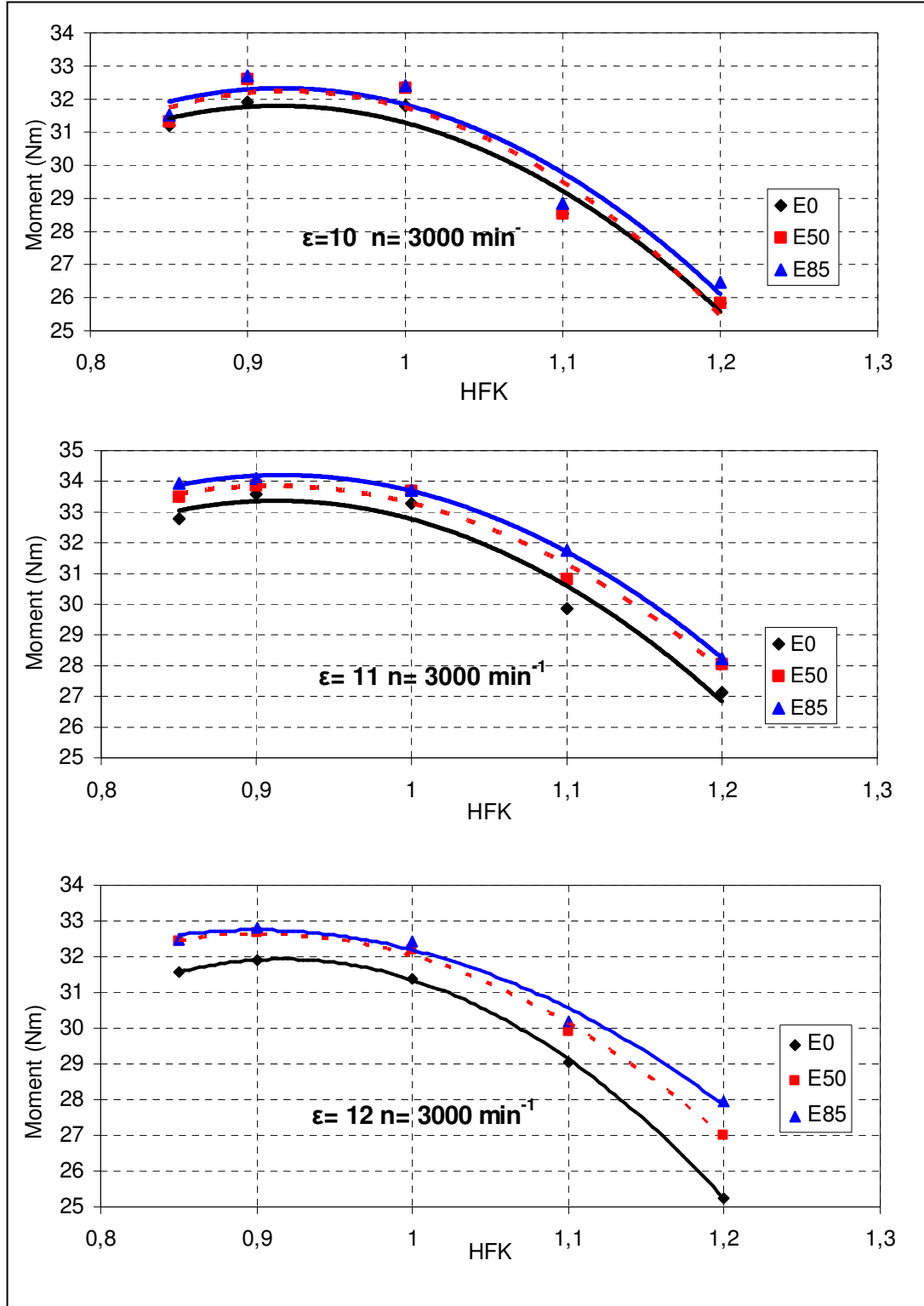
Şekil 5.7. Tam gaz kelebeği açıklığında motor devrine bağlı NO_x emisyonları değişimleri

5.2. Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarının Hava Fazlalık Katsayısı ile Değişimi

Deneyler, motor devri 3000 min^{-1} 'da sabit tutularak tam gaz kelebeği açıklığında ve 0,85, 0,9, 1, 1,1, 1,2 hava fazlalık katsayılarında yapılmıştır. 10–11 ve 12 sıkıştırma oranlarında E0, E50 ve E85 yakıtları kullanılarak hava fazlalık katsayısına bağlı, performans ve emisyon değerlendirmeleri yapılmıştır. Motor performansı ve egzoz emisyonlarının, sıkıştırma oranı ve hava fazlalık katsayısı artışına bağlı olarak değişimleri EK-2'deki, Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de grafik halinde verilmiştir.

5.2.1 Motor momentinin hava fazlalık katsayısı ile değişimi

Karışımın az miktarda zengin olması durumunda yanma hızı artmakta ve motor momenti yükselmektedir. Bütün yakıtların maksimum momenti 11 sıkıştırma oranında $\lambda = 0,9$ 'da elde edilmiştir. Yakıtlar içerisinde en yüksek moment E85 yakıtında $\lambda = 0,9$ 'da 11 sıkıştırma oranında 34,09 Nm olarak elde edilmiştir. Şekil 5.8'de görüleceği gibi $\lambda = 0,85$, $\lambda = 0,9$ kadar olan noktada her üç yakıtta ve üç değişik sıkıştırma oranında moment artışı gözlenmiş olup, $\lambda = 1$, $\lambda = 1,1$ ve $\lambda = 1,2$ 'ye kadar olan noktada moment değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Hava fazlalık katsayısının artması ve silindir içerisine gönderilen yakıt miktarının azalmasına bağlı olarak motor momenti sürekli bir düşüş göstermiştir. En fazla moment değerinde azalma, 12 sıkıştırma oranında ve $\lambda = 1,2$ 'de E0 yakıtında 25,26 Nm olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.8). Etanollu çalışmalardaki moment değerleri, benzinli çalışmalarda elde edilen moment değerinin üstünde çıkmıştır. 10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında ve $\lambda = 0,85 - 1,2$ değerlerinde, E0, E50 ve E85 yakıtları ile yapılan çalışmada en yüksek moment E85 ile elde edilmiştir.



Şekil 5.8. Tam gaz kelebeği açıklığında HFK'ya bağlı moment değişimleri

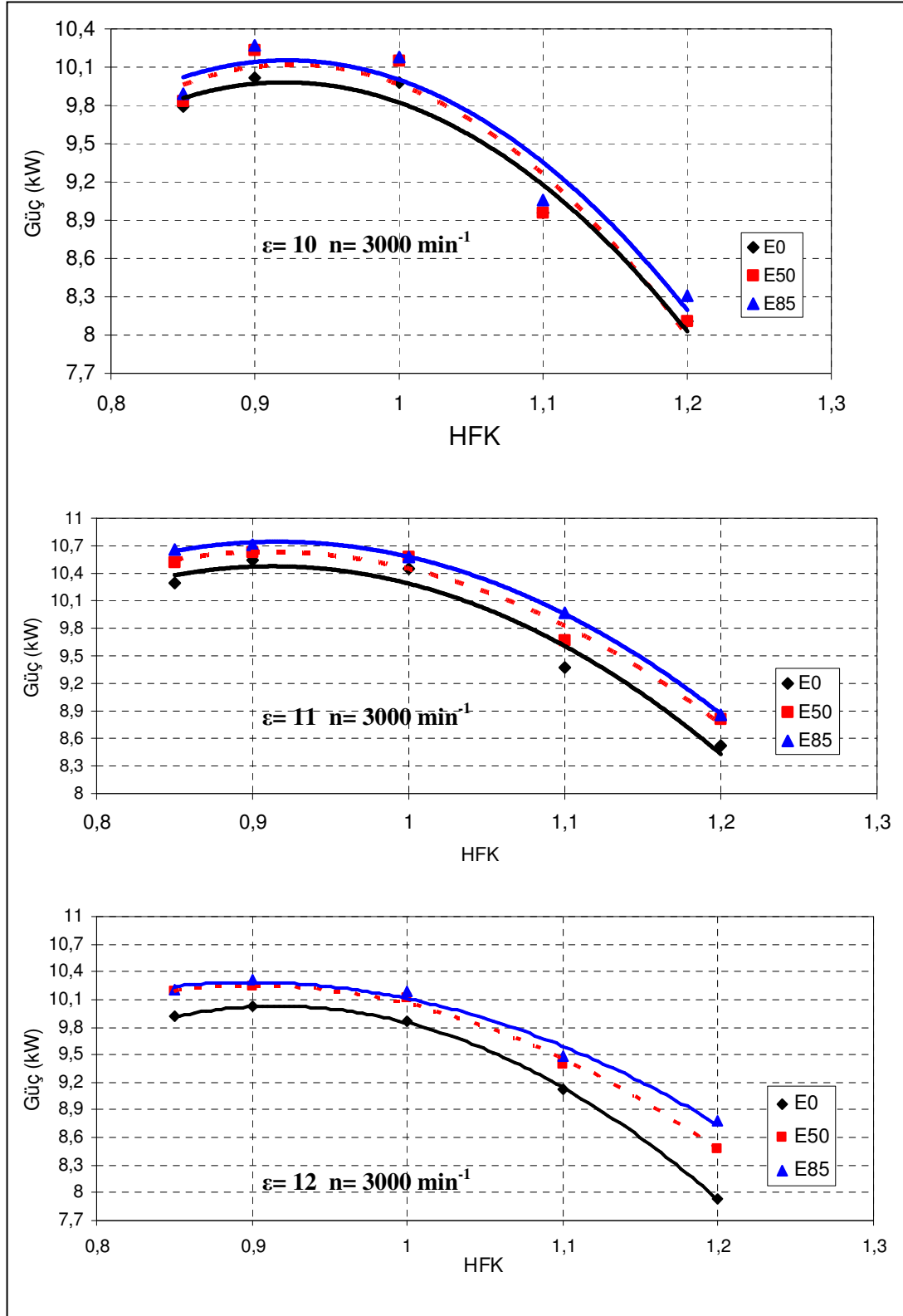
5.2.2. Motor gücünün hava fazlalık katsayısı ile değişimi

Motor gücünün HFK ile değişimi Şekil 5.9'da görülmektedir. 10 sıkıştırma oranında ve $\lambda=0,85$ 'de, E0, E50 ve E85 yakıtlarıyla elde edilen motor güçleri sırasıyla: 9,79, 9,83 ve 9,89 kW olarak hesaplanmıştır. $\lambda=0,90$ 'da, motor gücü E0'da %2,24 oranında artarak 10,01 kW elde edilirken, E50'de %4,06 oranında artarak 10,23 kW elde edilmiştir. E85'de ise %3,84 artarak 10,27 kW ile en fazla güç artışı elde edilmiştir. $\lambda=1$ 'de E0 moment %0,29 azalarak 9,98 kW olarak elde edilirken, E50'de %0,78 oranında azalarak 10,15 kW elde edilmiştir. E85'de ise %0,87 oranında azalarak 10,18 kW değeri edilmiştir. Deney yapılan motorun maksimum gücü $\lambda=0,9$ 'da elde ettiği görülmektedir. Fakir karışım bölgelerinde, $\lambda=1,1$ ve $\lambda=1,2$ 'de her üç yakıtla yapılan çalışmada motor gücü Şekil 5.9'da görüldüğü gibi düşme göstermiştir.

Motor 10 sıkıştırma oranından 11 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde, sıkıştırma oranının artışına bağlı olarak motor gücünde artış meydana gelmiştir. En fazla güç artışı $\lambda=0,9$ 'da elde edilmiştir. Buna göre motor gücü; E85 yakıtında 10,71 kW olarak hesaplanırken, E50 yakıtında, 10,63 kW olarak hesaplanmıştır. E0 yakıtında ise 10,54 kW olarak elde edilmiştir. Karışım fakirleştikçe motor gücü düşmeye devam etmiştir.

12 sıkıştırma oranında yapılan çalışmalarda, 11 sıkıştırma oranına göre, motor gücü değerlerinde düşme meydana gelmiştir. Motor gücü; E85 yakıtında $\lambda=0,9$ 'da %3,73 oranında düşerek 10,31 kW olarak hesaplanırken, E50 yakıtında $\lambda=0,9$ 'da %3,57 oranında düşerek 10,25 kW hesaplanmıştır. E0 yakıtında $\lambda=0,9$ 'da ise %4,93 oranında düşerek 10,02 kW olarak hesaplanmıştır. Karışım fakirleştikçe Şekil 5.9'da görüldüğü gibi motor gücünde düşmüştür. En düşük motor gücü 12 sıkıştırma oranında ve $\lambda=1,2$ 'de 7,93 kW ile E0 yakıtında elde edilmiştir.

Yakıt/hava oranı azaldıkça faydalı işe dönüşebilecek kimyasal enerji azalacağından alev sıcaklığı ve dolayısıyla alev hızı düşer. Çok fakir karışımlarda ateşleme veya alev nüvesinin hiç ilerlememesi gibi bir sonuçla karşılaşılabilir. Karışım zenginleşmesi halinde ise muhtemelen ekstra yakıtın ortamdan çektiği ısı veya yanma veriminin azalması sebebiyle alev hızı düşmektedir. Bunun sonucu olarak motor gücünde düşme meydana gelir [38].



Şekil 5.9. Tam gaz kelebeği açıklığında HFK'ya bağlı güç değişimleri

5.2.3. Özgöl yakıt tüketiminin hava fazlalık katsayısı ile değişimi

Etanolun ısı değeri benzine göre daha düşük olması, karışım miktarındaki etanol artışına bağlı olarak benzine göre özgül yakıt tüketiminde artış meydana getirmiştir. E0, E50 ve E85 yakıtlarıyla yapılan deneylerde 10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında, hava fazlalık katsayısına (λ) bağlı özgül yakıt tüketimi değişimleri Şekil 5.10'da görülmektedir.

Özgül yakıt tüketimi her üç yakıtta ve her üç sıkıştırma oranında HFK 0,85'den 1,1'e giderken düşüş göstermiş olup, 1,2 aralığında bir miktar yükselmiştir (Şekil 5.10).

Özgül yakıt tüketimi 10 sıkıştırma oranında ve $\lambda=0,85$ 'de E85, E50 ve E0'da sırasıyla; 332, 395, 467 g/kWh olarak hesaplanmıştır. $\lambda=1$ 'de E85'de %22,48 düşerek 362 g/kWh olarak hesaplanırken, E50'de %19,24 düşerek 319 g/kWh olarak hesaplanmıştır. E0'da ise %20,18 düşerek 265 g/kWh olarak hesaplanmıştır. En düşük özgül yakıt tüketimi E0 yakıtında 10 sıkıştırma oranında $\lambda=1,1$ 'de 261 g/kWh elde edilmiştir. $\lambda=1,2$ 'de yanma düzensizleşmiş olduğundan her üç yakıtın özgül yakıt tüketiminde artış görülmüştür.

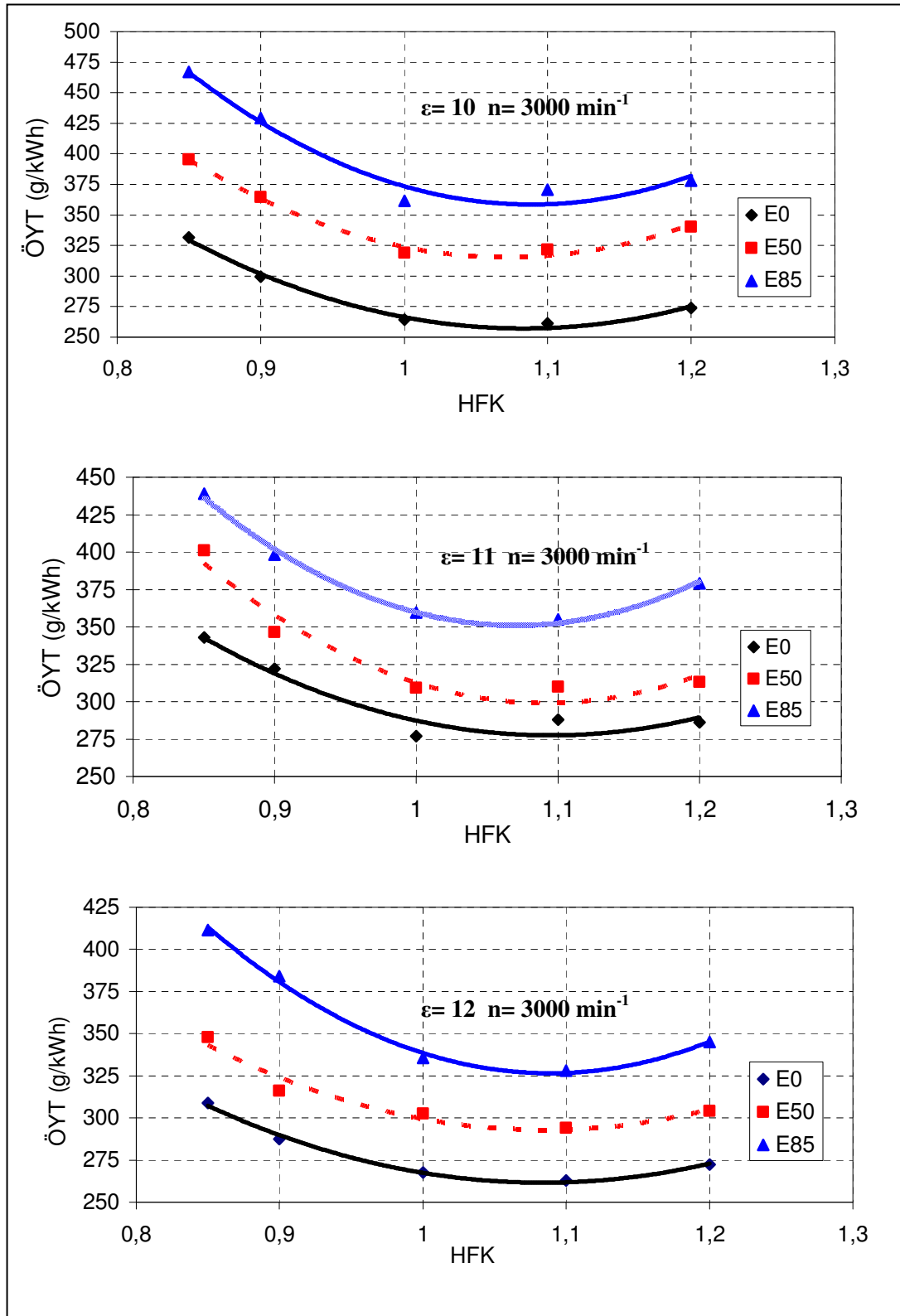
Motor 11 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde $\lambda=1$ 'de, E85'de %0,55 oranında düşerek, 360 g/kWh elde edilirken, E50'de %3,13 düşerek 309 g/kWh değeri elde edilmiştir. E0'da ise %4,52 artarak 277 g/kWh değeri elde edilmiştir.

12 sıkıştırma oranında her üç yakıtla yapılan çalışmalarda, 11 sıkıştırma oranına göre özgül yakıt tüketimlerinde düşme gözlenmiştir. $\lambda=1$ 'de; E85'de %6,66 düşerek 336 g/kWh elde edilirken, E50'de %2,25 düşerek 303 g/kWh elde edilmiştir. E0'da ise %3,24 düşerek 268 g/kWh elde edilmiştir.

Minimum özgül yakıt tüketimi E0 yakıtında 10 sıkıştırma oranında $\lambda=1,1$ 'de 261 g/kWh, E50 yakıtında 12 sıkıştırma oranında $\lambda=1,1$ 'de 293 g/kWh, E85

yakıtında ise 12 sıkıştırma oranında $\lambda=1,1$ 'de 328 g/kWh olarak tespit edilmiştir.

Deneyler sonucunda E0 yakıtında 10 sıkıştırma oranından 11 sıkıştırma oranına geçildiğinde özgül yakıt tüketiminde artış gözlenirken, 12 sıkıştırma oranına çıkıldığında düşme gözlenmiştir. E85 ve E50 ile yapılan çalışmalarda ise sıkıştırma oranının artışına paralel olarak özgül yakıt tüketimlerinde azalma tespit edilmiştir. En düşük özgül yakıt tüketimleri sırası ile E0, E50 ve E85 yakıtı ile elde edilmiştir.



Şekil 5.10. Tam gaz kelebeği açıklığında HFK'ya bağlı özgül yakıt tüketimi değişimleri

5.2.4. Egzoz emisyonlarının hava fazlalık katsayısı ile değişimi

Karbon monoksit (CO) emisyonu

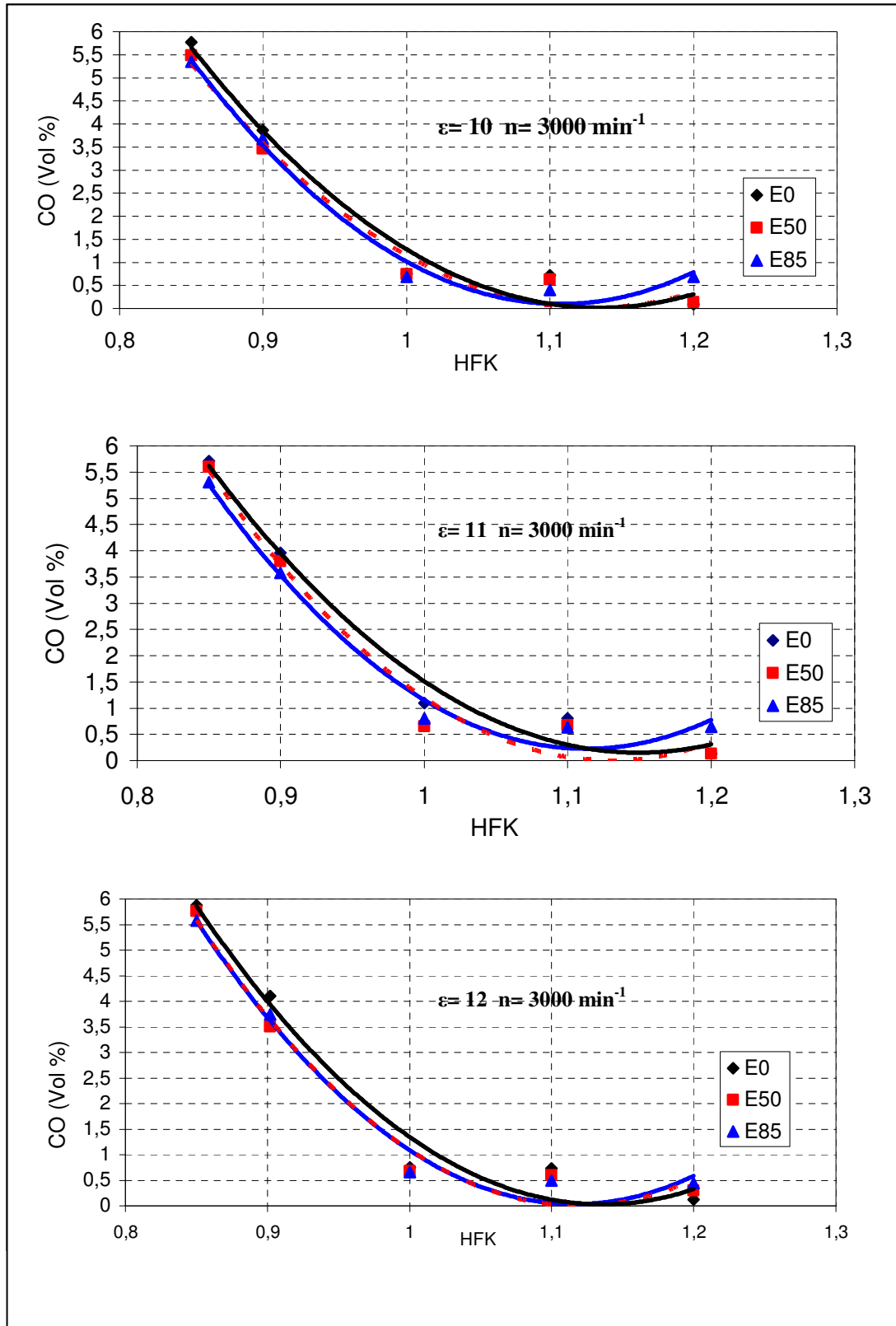
Yapılan deneylerde, CO emisyonunun hava fazlalık katsayısıyla önemli ölçüde değiştiği görülmüştür. Zengin karışım bölgesinde CO emisyonları hacimsel olarak yüksek değerlerde çıkmıştır. Hava fazlalık katsayısı arttıkça CO emisyonları azalmıştır.

10 sıkıştırma oranında $\lambda=0,85$ 'de her üç yakıtta da maksimum CO emisyon değerleri elde edilmiştir. E0, E50 ve E85 ile yapılan çalışmalarda CO emisyon değerleri sırası ile hacimsel olarak, E0 yakıtında %5,77 olurken, E50 yakıtında %5,75 olmuştur, E85'te ise %5,48 değeri elde edilmiştir. $\lambda=1$ değerinde her üç yakıtın CO emisyon değeri büyük ölçüde düşerek, E0'da %0,76, E50'de %0,74, E85'de %0,69 değerlerini almıştır. $\lambda=1,1$ ve $\lambda=1,2$ 'de CO emisyonları E0 ve E50 bir miktar düşüş gösterirken, E85 yakıtında bir miktar yükselme gözlenmiştir.

10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında E0, E50 ve E85 ile yapılan çalışmalarda, sıkıştırma oranı artışına bağlı olarak CO emisyon değerlerinde önemli bir artış gözlenmemiş olup her üç yakıtta da benzer değerler elde edilmiştir.

Sıvı yakıtların yanması için buharlaşması ve hava ile bir karışım oluşturması gerekir. Yakıtı buharlaştırma işlemi yakıt sistemleri tarafından sağlanmaktadır. Buharlaşabilen yakıtlar kaynama noktasının üzerinde ısıtılmakla buharlaşır. Benzin ve motorin çok farklı hidrokarbonlardan oluştukları için kaynama sıcaklıkları sabit değildir. Buna karşılık alkollerin tek bir kaynama noktaları vardır. Bu nedenle alkoller benzin ve motorine göre belirli bir sıcaklıkta daha iyi buharlaşırlar, hava ile homojen bir karışım oluştururlar ve temiz yanarlar. Dolayısıyla hava kirliliğine olumlu etki yaparlar [26]. Etanolun alev sıcaklığının düşük olması, yanmayı iyileştirmekte, vuruntuyu azaltmaktadır. Alkol karışımları kullanıldığında egzoz gazları

içerisindeki CO oranının düştüğü görülmektedir. Etanol-benzin karışımı kullanımı ile elde edilen CO emisyon değerleri benzinle yapılan çalışmaya göre düşük çıkmıştır. Şekil 5.11’de görüleceği gibi hava fazlalık katsayısına bağlı CO miktarındaki değişimlerde, benzinle yapılan çalışmalar etanolü yakıtlarla yapılan çalışmaların, üstünde kalmıştır.



Şekil 5.11. Tam gaz keleşliği açılığında sabit HFK'ya bağlı CO emisyonu değişimleri

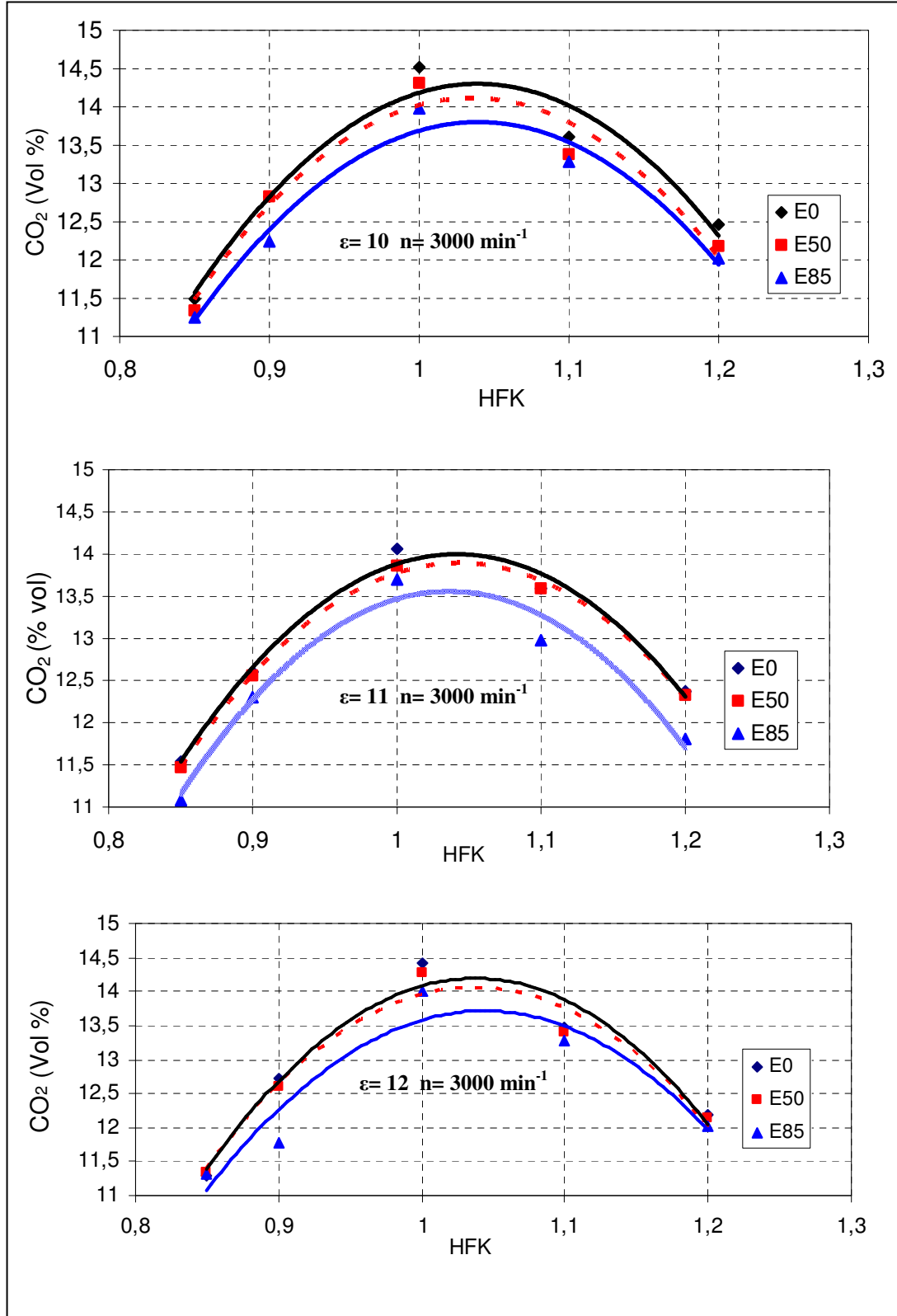
Karbondiyoksit (CO₂) emisyonu

E0, E50 ve E85 yakıtlarıyla yapılan deneylerde 10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında, hava fazlalık katsayısının CO₂ emisyonlarına etkisi Şekil 5,12'de görülmektedir.

10, 11 ve 12 sıkıştırma oranında zengin karışım bölgesinde CO₂ emisyonu düşük çıkmıştır. 10 sıkıştırma oranında $\lambda=0,85$ 'de E0, E50 ve E85 ile yapılan çalışmalarda CO₂ emisyonu hacimsel olarak sırasıyla; %11,49, %11,34, %11,25 değerleri elde edilirken, yanmanın iyi olduğu stokiometrik karışımda CO₂ emisyon değerleri üç yakıtta da en yüksek değerlerine çıkmıştır. $\lambda=1$ 'de, %14,52 (E0), %14,31 (E50), %13,98 (E85) değerleri elde edilmiştir. Karışım fakirleştikçe yanma kötüleşmiş ve CO₂ emisyon değerleri düşmüştür. $\lambda=1,2$ 'de, %12,46 (E0), %12,18 (E50), %12,02 (E85) değerleri elde edilmiştir.

CO emisyonunda olduğu gibi, CO₂ emisyon değerlerinde de 10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında E0, E50 ve E85 ile yapılan çalışmalarda, sıkıştırma oranı artışına bağlı önemli bir artış gözlenmemiş olup her üç yakıtta da benzer değerler elde edilmiştir.

CO₂ emisyon değerleri karışımdaki etanol miktarının artışına bağlı olarak düşüş göstermiştir. En düşük CO₂ emisyon değeri E85 yakıtı ile elde edilmiştir. Bunu E50 ve E0 izlemiştir.



Şekil 5.12. Tam gaz keleşliği açıklığında HFK'ya bağılı CO₂ emisyonu değışimleri

Hidrokarbon (HC) emisyonu

E0, E50 ve E85 yakıtlarıyla yapılan deneylerde 10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında, hava fazlalık katsayısının HC emisyonlarına etkisi şekil 5,13'de görülmektedir.

En yüksek HC emisyonu zengin karışım bölgesinde meydana gelmiştir. 10 sıkıştırma oranında, E0, E50 ve E85 yakıtlarıyla yapılan çalışmada, $\lambda=0,85$ 'de ölçülen HC emisyonları sırasıyla; 116, 102, 98 ppm olarak elde edilmiştir. $\lambda=1$ 'de yanmanın iyileşmesiyle HC emisyonlarında azalma meydana gelerek, E0 ile yapılan çalışmada %10,34 oranında azalarak 104 ppm elde edilirken, E50 yakıtında %7,84 oranında düşerek 94 ppm elde edilmiştir. E85 yakıtında ise %23,46 düşerek 75 ppm değeri elde edilmiştir.

Motor 11 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde, 10 sıkıştırma oranına göre, HC emisyon değerinde artış tespit edilmiştir. HC emisyon değerler $\lambda=1$ 'de E0 yakıtında %8,9 artarak 110 ppm olarak ölçülürken, E50 yakıtında ise %6,3 artarak 100 ppm olarak ölçülmüştür. E85 yakıtında ise %20 artarak 90 ppm olarak ölçülmüştür.

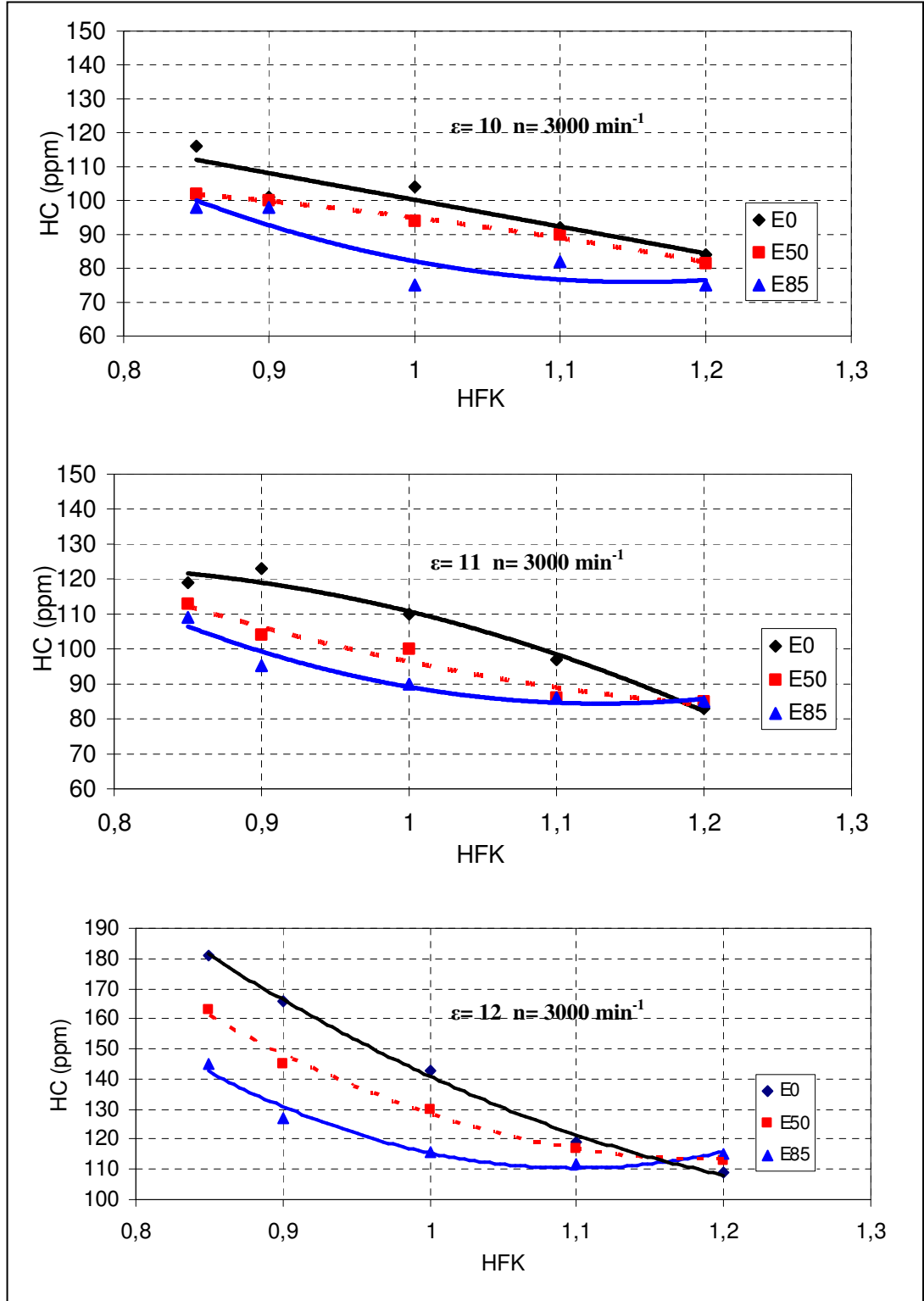
12 sıkıştırma oranında ölçülen HC emisyon değerlerinde, 11 sıkıştırma oranına göre artış gözlenmiştir. HC emisyon değerler $\lambda=1$ 'de E0 yakıtında %30 artarak 143 ppm olarak ölçülürken, E50 yakıtında ise %30 artarak 130 ppm olarak ölçülmüştür. E85 yakıtında ise %28,8 artarak 116 ppm olarak ölçülmüştür.

En yüksek HC emisyonu zengin karışım bölgelerinde meydana gelmiştir. Karışım fakirleştikçe HC emisyonlarında azalma meydana gelmektedir. çok fakir karışımlarda ise HC emisyonlarında tekrar alevin yayılışı düzgün olmadığından artış gözlenmiştir. En yüksek HC emisyonu 12 sıkıştırma oranında, $\lambda=0,85$ 'de 181 ppm ile E0 yakıtında elde edilmiştir. En düşük HC

emisyonu 10 sıkıştırma oranında, $\lambda=1,2$ 'de 75 ppm ile E85 yakıtında elde edilmiştir.

Etanolun stokiyometrik hava/yakıt karışım oranı 8,96, benzinin ise 14,7'dir (Bkz.Çizelge 3.1). Etanol-benzin karışımları için hava/yakıt karışım oranı fakir karışım sınırlarında kalmaktadır. Bunun yanı sıra etanolun yanma hızının benzinin yanma hızına göre daha yüksek olması nedeniyle ateşleme avansı benzine göre gecikmeli ayarlanmış olup, karışımdaki etanol miktarının artırılması ile HC emisyonlarında düşüş gözlenmiştir.

Sıkıştırma oranının artırılmasıyla, HC emisyonları artmıştır. Bunun başlıca sebepleri yüksek sıkıştırma oranlarında genişleme zamanının sonunda gaz sıcaklıklarının çok düşmesi sonucu silindirdeki HC oksitlenmesinin daha az gerçekleşmesi, daha düşük egzoz sıcaklıkları nedeniyle egzoz sisteminde daha az oksidasyon olmasıdır [39].



Şekil 5.13. Tam gaz keleşği açıklığında HFK'ya bağılı HC emisyonu değışimleri

Azot oksit (NO_x) emisyonu

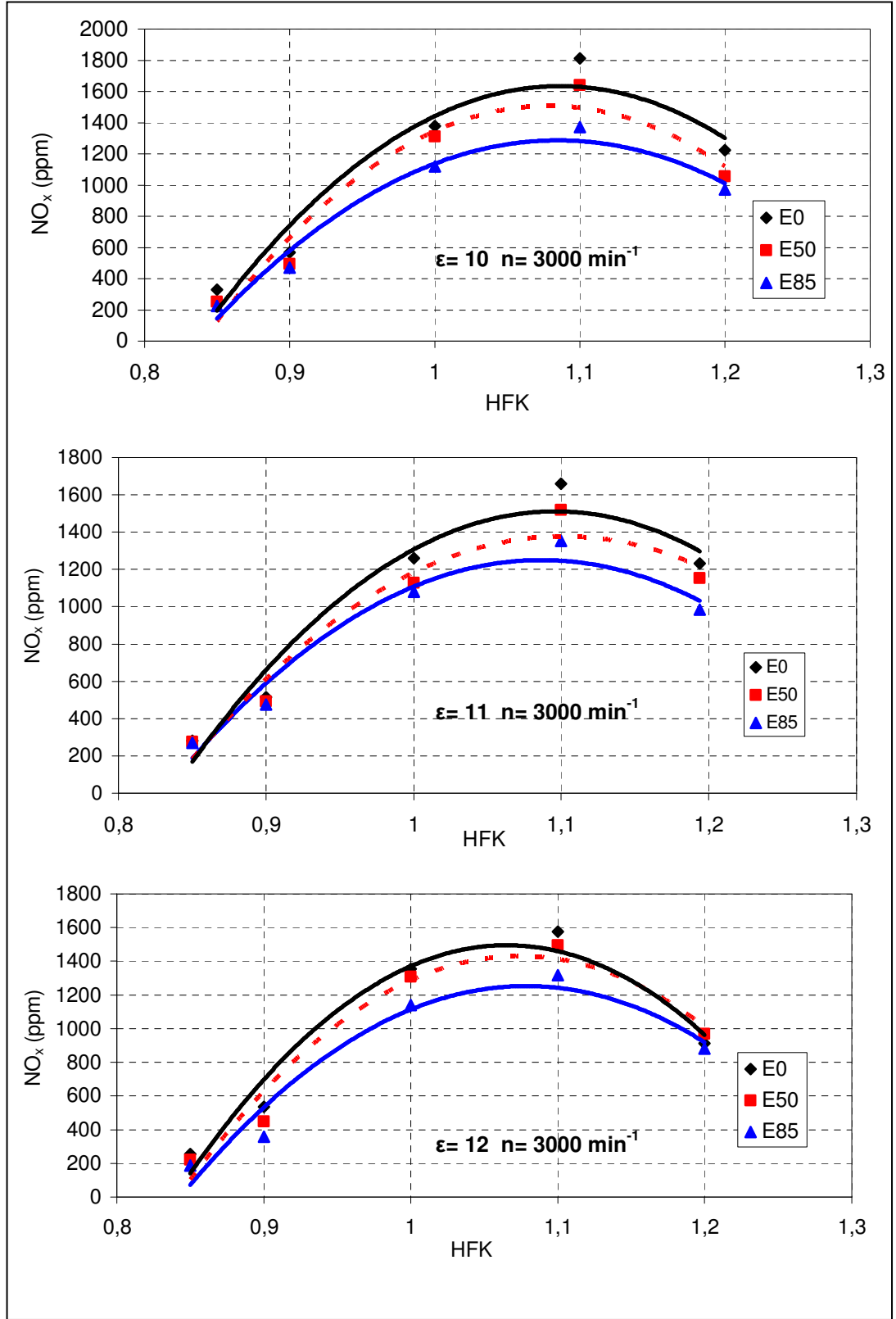
Şekil 5.14'de görüleceği gibi NO_x emisyonun hava fazlalık katsayısıyla önemli ölçüde değişmektedir. $\lambda=1,1$ 'de yani azot ile birleşecek oksijenin bulunmasıyla NO_x emisyonu maksimum değerini almıştır. NO_x emisyonu oluşumunu etkileyen parametrelerden biriside silindir içi sıcaklığın etkisidir. Sıcaklığın artması ile NO_x emisyonu da hızlı bir şekilde artmaktadır. Fakir karışımda ($\lambda=1,2$) reaksiyona giren yakıt miktarının azalması ile silindir içi sıcaklığın düşmesi NO_x emisyonunda azalma sağlanmıştır.

10 sıkıştırma oranında zengin karışım bölgesinde, E0, E50 ve E85 yakıtlarında $\lambda=0,85$ 'de NO_x emisyonları sırasıyla; 329, 251, 225 ppm olarak ölçülürken, $\lambda=1$ 'de hızla artarak, (E0)1377, (E50)1310, (E85)1118 ppm olarak ölçülmüştür. $\lambda=1,1$ 'de maksimum değerine ulaşarak, (E0)1811, (E50)1640, (E85)1371 ppm olarak ölçülmüştür. Maksimum olarak ölçülen NO_x emisyonlarında, E0 nazaran E85'de %24,29 oranında bir düşme olurken, E50'de %9,44 oranında bir düşme görülmüştür. $\lambda=1,2$ 'de ise $\lambda=1,1$ göre NO_x emisyonunda düşme meydana gelerek, (E0)1224, (E50)1055, (E85) 972ppm olarak ölçülmüştür. Karışımdaki etanol miktarının artırılmasıyla NO_x emisyonları benzine nazaran düşük çıkmıştır. En düşük NO_x emisyonu E85 yakıtı ile elde edilmiştir.

Motor 11 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde her üç yakıtın $\lambda=1,1$ 'de ölçülen NO_x emisyonlarında 10 sıkıştırma oranına göre azalma meydana gelmiştir. Buna göre; E0 yakıtında NO_x emisyonu %8,39 oranında azalarak 1659 ppm olurken, E50 yakıtı %7,31 oranında azalarak 1520 ppm olmuştur. E85 yakıtı ise %1,38 oranında azalarak 1352 ppm olmuştur.

12 sıkıştırma oranında yapılan çalışmada ise her üç yakıtın $\lambda=1,1$ 'de ölçülen NO_x emisyonlarında düşme devam etmiştir. E0 yakıtı %5,06 oranında azalarak 1575 ppm olurken, E50 yakıtı %1,71 oranında azalarak 1494 ppm olmuştur. E85 yakıtı ise %2,66 oranında azalarak 1316 ppm olmuştur.

Şekil 5.14’de görüleceği gibi her üç yakıtla yapılan çalışma sonucunda NO_x emisyonlarının sıkıştırma oranının artırılmasına bağlı olarak, azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.14. Tam gaz keleşği açıklığında HFK'ya bağlı NO_x emisyonu değişimleri

5.3. Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarının Ateşleme Avansı ile Değişimi

Ateşleme avansına bağlı deneyler tam gaz keleşbeği açıklığında ve motor devri 3000 min^{-1} 'da sabit tutularak yapılmıştır. Ateşleme avansı 5° KMA'dan başlatılmış olup, motorun vurunlu yaptığı noktaya kadar kademeli olarak artırılmıştır. Ateşleme avansının kademeli artırılmasına bağlı olarak deney yakıtlarıyla yapılan çalışmalarda motorun vurunlu yaptığı ateşleme avans noktaları tespit edilmiştir. E0 yakıtında, motorun vurunlu yaptığı ateşleme avansı 10, 11 ve 12 sıkıştırma oranında sırasıyla 32° , 25° , 22° KMA olarak tespit edilmiştir. Bu değerler E50 yakıtında sırası ile 40° , 34° , 25° KMA olarak tespit edilirken, E85 yakıtında ise 10 sıkıştırma oranında 40° KMA'na kadar motorda vurunlu gözlenmemiş olup, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında sırasıyla 36° ve 27° KMA'da vurunlu tespit edilmiştir (Şekil 5.15). Motor performansı ve egzoz emisyonlarının, sıkıştırma oranı ve ateşleme avansı artışına bağlı olarak değişimleri EK-3'deki, Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de grafik halinde verilmiştir.

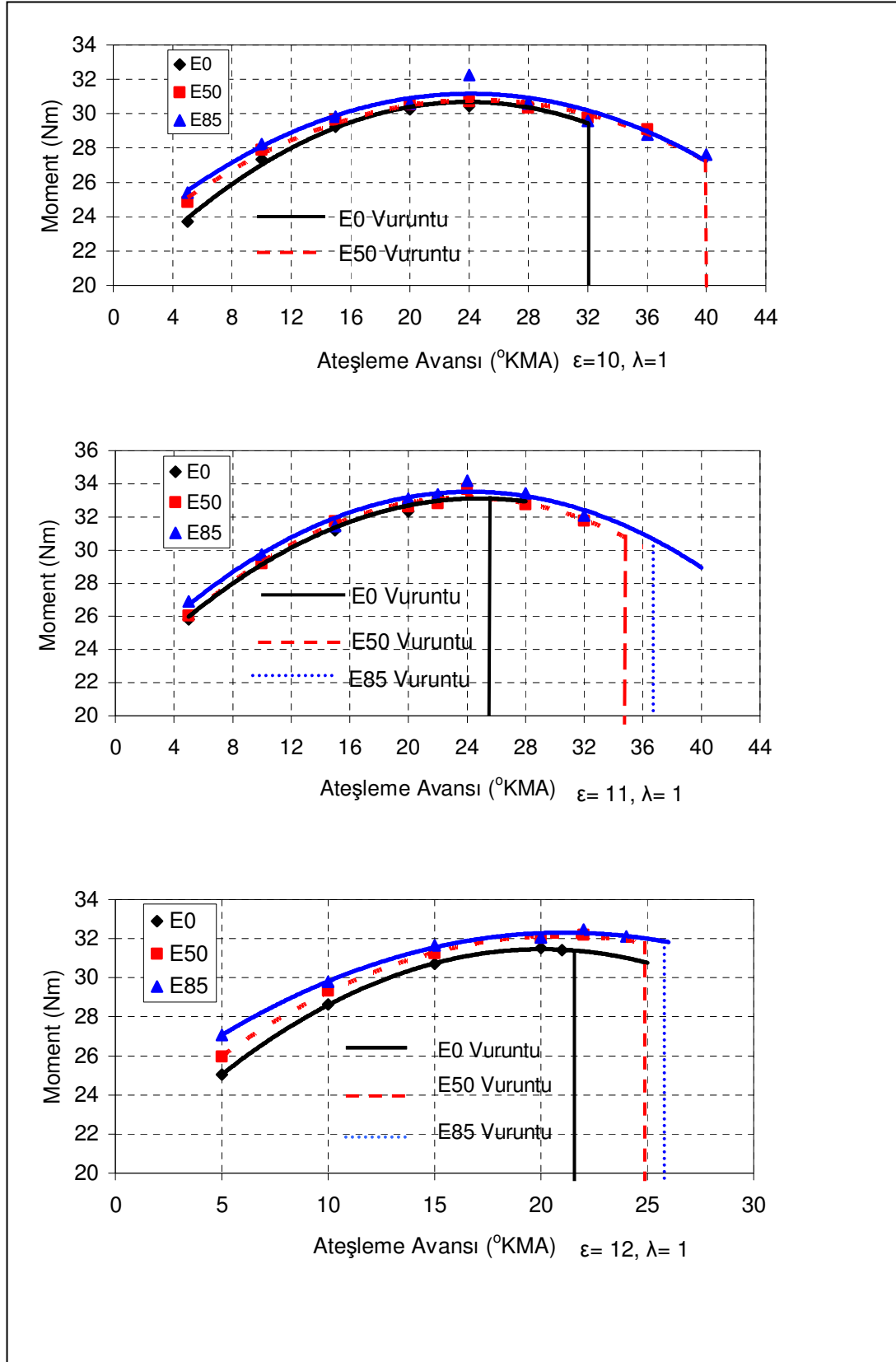
5.3.1. Motor momentinin ateşleme avansı ile değişimi

Motor momentinin ateşleme avansı ile değişimi Şekil 5.15'de görölmektedir. 10 sıkıştırma oranında ve ateşleme avansı 5° KMA'da, E0, E50 ve E85 yakıtlarıyla elde edilen motor momentleri sırasıyla: 23,73, 24,84, 25,39 Nm olarak ölçölmüştür. E0, E50 ve E85 yakıtları maksimum moment değerlerine, E0 yakıtı %28,31 oranında artarak 30,56 Nm ile 28° KMA avans değerinde ulaşırken, E50 ve E85'de ise 24° KMA değerinde maksimum momente ulaşmıştır. Maksimum moment E50'de %23,67 oranlık artışla 30,72 Nm olarak ölçölürken, E85'de ise, %26,7 oranında artarak 32,24 Nm olarak ölçölmüştür. Ateşleme avansının artırılmaya devam etmesiyle her üç yakıtın momentinde düşme gözlenmiştir. E0 yakıtında 28° KMA'dan sonraki avanslarda vurunlu gözlendiğinden çalışma yapılamamıştır. E50 yakıtında ise 36° KMA'da vurunlu gözlenirken, E85 yakıtında vurunlu gözlenmemiştir.

Motor 11 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde motor momentinde bir miktar artış gözlenmiştir. Maksimum moment, E0'da 22° KMA'da 33,28 Nm olarak ölçülürken, E50'de 24° KMA'da 33,69 Nm olarak ölçülmüştür. E85'de ise 24° KMA'da 34,2 Nm olarak ölçülmüştür.

12 sıkıştırma oranında, ateşleme avansı motorun vuruntulu çalışmasından dolayı yeterince artırılmadığından dolayı. 11 sıkıştırma oranına göre motor momentinde bir miktar düşme görülmüştür. Maksimum motor momenti, E0'da 20° KMA'da 31,51 Nm olarak ölçülürken, E50'de 20° KMA'da 32,2 Nm olarak ölçülmüştür. E85'de 22° KMA'da ise 32,45 olarak ölçülmüştür.

10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında E85 yakıtının moment değeri, E50 ve E0 yakıtının moment değerlerinin üstünde çıkmıştır.



Şekil 5.15. Tam gaz keleşliği açıklığında ateşleme avansına bağlı moment değişimleri

5.3.2. Motor gücünün ateşleme avansı ile değişimi

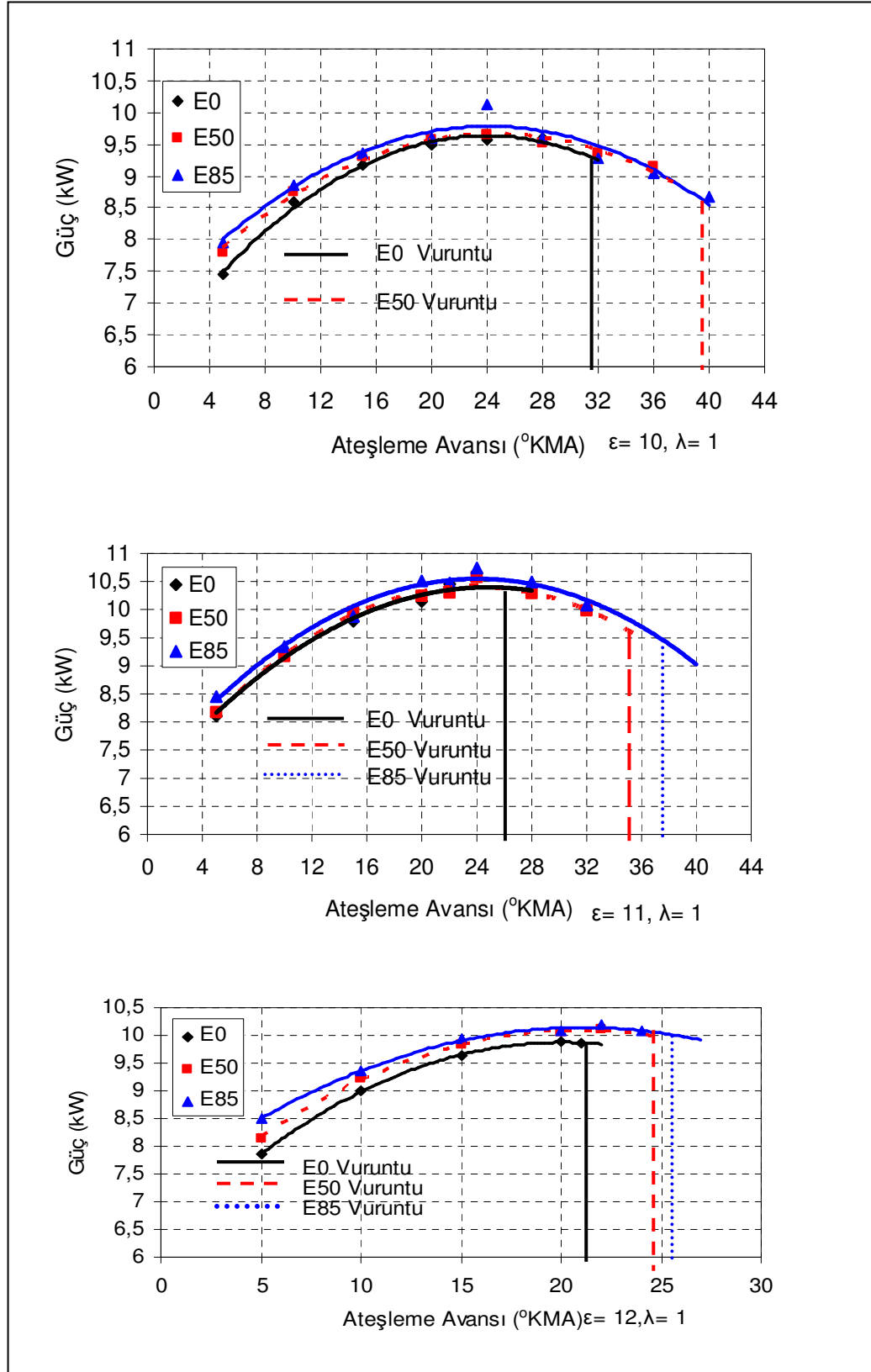
E0, E50 ve E85 ile çalışılan yakıtların, 10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında, ateşleme avansına bağlı motor gücü değişimi şekil 5.16'da görülmektedir.

10 sıkıştırma oranında ateşleme avansı 5° KMA'da E0, E50 ve E85'de sırasıyla; 7,45, 7,8 ve 7,97 kW olarak hesaplanmıştır. Ateşleme avansının artırılmasıyla motor gücünde artmıştır. Maksimum motor gücüne E0 yakıtında 28° KMA'da %28,8 artışla 9,6 kW değerine ulaşılmıştır. E50 yakıtında 24° KMA'da %23,71 artışla 9,65 değerine ulaşılmıştır. E85 yakıtında ise 24° KMA'da %27,7 artışla 10,12 kW değerine ulaşmıştır. En yüksek motor gücü artışı E85 yakıtıyla elde edilmiştir. E0 yakıtına nazaran, E85 yakıtında %5,41 oranında güç artışı meydana gelirken, E50 yakıtında ise %0,5 oranında güç artışı meydana gelmiştir. Ateşleme avansının artırılmaya devam edilmesine paralel olarak Şekil 5.16'da görüleceği gibi motor gücünde düşme gözlenirken, motorda da vuruntu meydana gelmiştir.

Motor 11 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde ateşleme avansına bağlı olarak her üç yakıtla yapılan çalışmada motor gücünde artma tespit edilmiştir. 10 sıkıştırma oranına göre yakıtların maksimum güç değerleri; E0 yakıtında 22° KMA'da %8,85 oranında artarak 10,45 kW olarak tespit edilmiştir. E50 yakıtında 24° KMA'da %9,63 oranında artarak 10,58 kW değerine ulaşmıştır. E85 yakıtında ise 24° KMA'da %6,12 oranında artarak 10,74 kW değeri tespit edilmiştir.

12 sıkıştırma oranında motor momentinde olduğu gibi ateşleme avansı, motorun vuruntu yapmasından dolayı yeterince artırılamadığından her üç yakıtla yapılan çalışmada motor gücünde bir miktar düşme görülmüştür. 11 sıkıştırma oranına göre maksimum motor gücünde, E0 yakıtında 21° KMA'da %5,64 oranında düşerek 9,86 kW olarak tespit edilmiştir. E50 yakıtında 22° KMA'da %4,44 oranında düşerek 10,11 kW olarak tespit edilmiştir. E85'de ise 22° KMA'da %5,12 oranında düşerek 10,19 kW olarak tespit edilmiştir.

Düşük ateşleme avans değerlerinde yanma geç başladığından pistonun üst ölü noktadan oldukça uzaklaşması sonucu maksimum basıncın meydana gelmesi sebebiyle motor momenti ve gücünde de düşme olmuştur. Avansın artırılmasıyla Şekil 5.15'deki grafikte görüldüğü gibi piston üst ölü noktaya gelmeden yanma başlatıldığından piston üst ölü noktada iken maksimum basınca ulaşılmış ve buna bağlı olarak motor gücü ve momentinde artış meydana gelmiştir. Ateşleme avansının artırılmasına devam edilmesi sonucu sıkıştırma kursu sırasında yanma ve basınç artışıyla piston daha fazla basınca karşı hareket ettiğinden negatif işin büyümesine bağlı olarak motor momenti ve gücü düşmüştür.



Şekil 5.16. Tam gaz keleşği açıklığında ateşleme avansına bağılı güç değışimleri

5.3.3. Özgöl yakıt tüketiminin ateşleme avansı ile değişimi

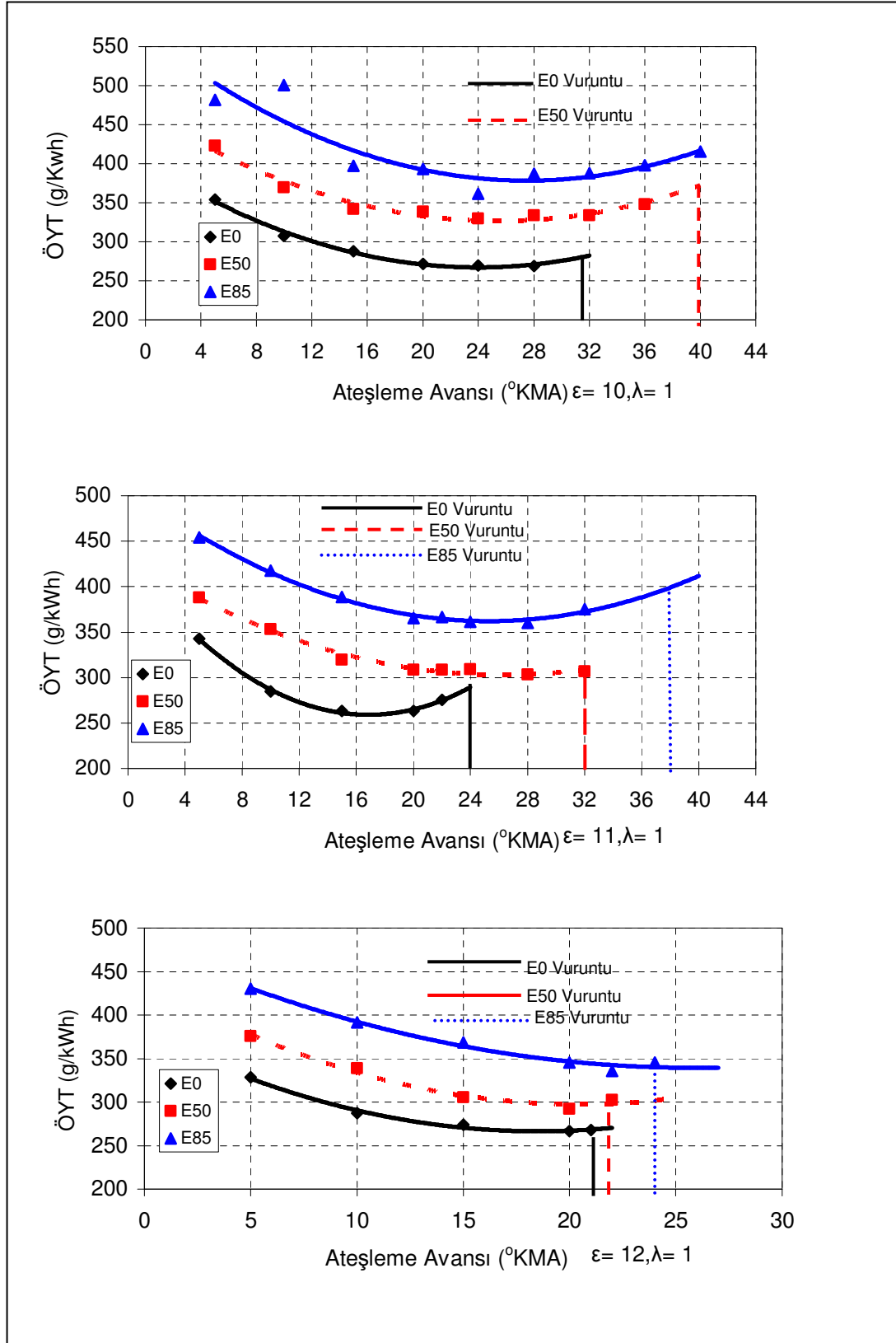
10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında, E0, E50 ve E85 yakıtları ile yapılan deneylerde elde edilen ateşleme avansına bağlı özgöl yakıt tüketimi değişimleri Şekil 5.17'de görülmektedir.

10 sıkıştırma oranında ve ateşleme avansı 5° KMA'da, E0, E50 ve E85 yakıtları ile yapılan çalışma sonucu özgöl yakıt tüketimleri sırasıyla: 354, 423, 482 g/kWh olarak hesaplanmıştır. En düşük özgöl yakıt tüketim değerleri; E0'da 28° KMA'da %24 oranında düşerek 269 g/kWh değeri elde edilmiştir. E50'de 24° KMA'da %21 oranında düşerek 334 g/kWh değeri elde edilmiştir. E85'de ise 24° KMA'da %24,89 oranında düşerek 362 g/kWh değeri elde edilmiştir. Avansın artırılmasına devam edilmesiyle birlikte artan avansa bağlı olarak özgöl yakıt tüketimlerinde artış görülmüştür. Motor vuruntulu çalıştığından dolayı E0'da 28° KMA'dan sonraki avans değerlerinde çalışma yapılamamıştır.

Sabit devir ve tam gaz keleşbeği açıklığında yakıt tüketimi değişmediğinden, özgöl yakıt tüketimindeki değişim motor gücünün avansa bağlı değişimiyle orantılı olmaktadır. Bundan dolayı düşük avans değerlerinde özgöl yakıt değişimi yüksek, motor gücünün maksimum olduğu avans değerlerinde düşük olmaktadır. Yüksek avans değerlerinde motor gücünün düşmesiyle birlikte özgöl yakıt tüketiminde artış gözlenmektedir. Karışım miktarındaki etanolun artışına bağlı olarak da, özgöl yakıt tüketimi artmıştır. En yüksek özgöl yakıt tüketimi E85'le elde edilmiştir. Bunu E50 ve E0 yakıtları izlemiştir.

Motor 11 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde, 10 sıkıştırma oranına göre özgöl yakıt tüketimi, E0'da 20° KMA'da %2,23 oranında düşerek 263 g/kWh değeri elde edilirken, E50'de 24° KMA'da %7,48 oranında düşerek 309 g/kWh değeri elde edilmiştir. E85'de ise 28° KMA'da %0,5 oranında düşerek 360 g/kWh değeri elde edilmiştir.

Motor 12 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde, 11 sıkıştırma oranına göre özgül yakıt tüketiminde bir miktar düşerek, E0 yakıtında ateşleme avansı motorun vurunutulu çalışmasından dolayı yeteri miktarda artırılmadığından özgül yakıt tüketimi E0'da 20° KMA'da, 267 g/kWh olarak bir miktar artış görülmüştür. Özgül yakıt tüketimleri; E50'de 22° KMA'da bir miktar düşüş göstererek 303 g/kWh gözlenmiştir. E85'de 22° KMA'da bir miktar düşüş gözlenerek 336 g/kWh değeri elde edilmiştir.



Şekil 5.17. Tam gaz kelebeği açıklığında ateşleme avansına bağlı özgül yakıt tüketimi değişimleri

5.3.4. Egzoz emisyonlarının ateşleme avansı ile değişimi

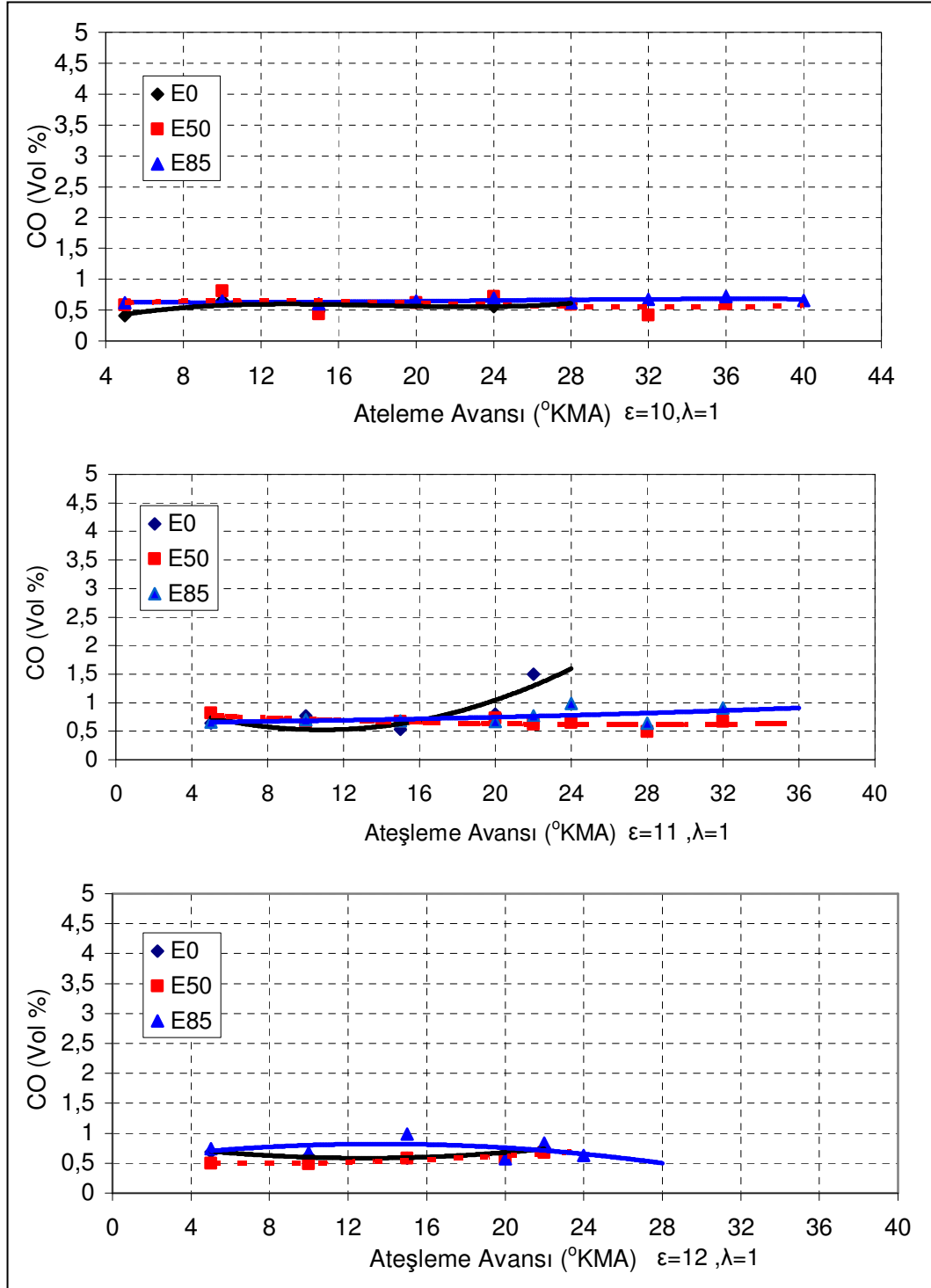
Karbon monoksit (CO) emisyonu

E0, E50 ve E85 yakıtları ile, 10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında, CO emisyonlarında ateşleme avansı ve sıkıştırma oranına bağlı olarak kararsız bir şekilde düşme ve yükselme eğilimleri görülmektedir.

5° KMA'lık ölçüm aralığından motorun vuruntusuz çalışabileceği avans aralığında kadar CO emisyonlarında çok farklı değerler elde edilmiştir. Ancak bunların ortalamalarına bağlı olarak oluşturulan grafikte CO emisyon değişimi çok büyük önem arz etmemektedir. Şekil 5.18'de görüleceği gibi CO emisyonunun ateşleme avansı ve sıkıştırma oranı değişiminden etkilenmediği görülmektedir. CO emisyonu esas olarak hava fazlalık katsayısı ile değişmektedir.

Maksimum CO emisyonu yanmanın kötüleştiği ve motorunda kısmen vuruntulu çalıştığı 22° KMA değerinde 11 sıkıştırma oranında %1,50 olarak E0 yakıtı ile elde edilmiştir. Minimum CO miktarı ise 10 sıkıştırma oranında 5° KMA değerinde %0,41 olarak yine E0 yakıtında elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada genel olarak CO emisyonları ateşleme avansı ve sıkıştırma oranından etkilenmediği gözlemlenmiştir.

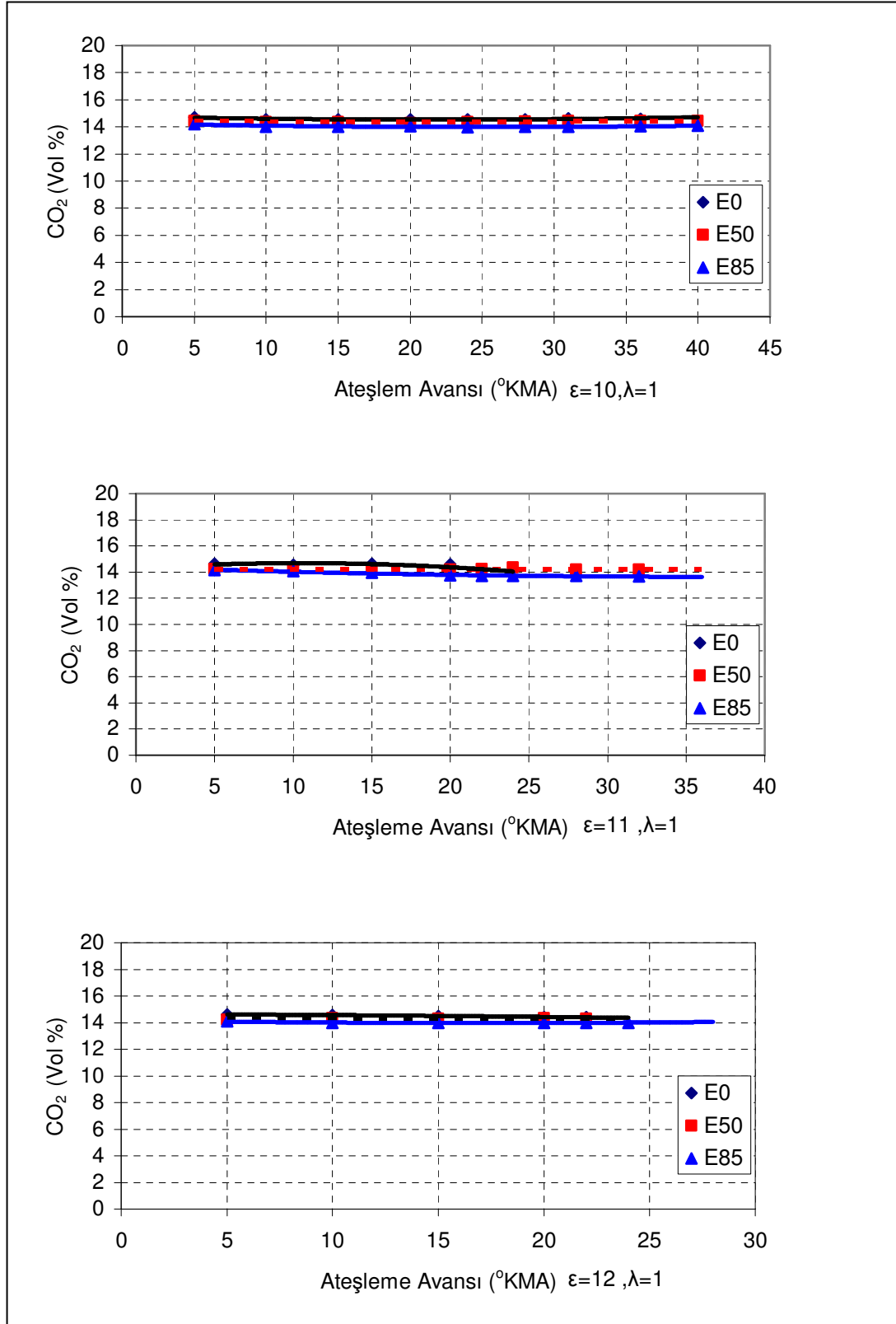


Şekil 5.18. Tam gaz keleşli açılışta ateşleme avansına bağlı CO emisyonu değişimleri

Karbondiyoksit (CO₂) emisyonu

E0, E50 ve E85 ile yapılan deneylerde, 10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında, ateşleme avansına bağlı CO₂ emisyonu değişimi ateşleme avansı ve sıkıştırma oranının artışına bağlı olarak önemli bir değişim göstermemektedir. Ortaya çıkan küçük değişikliklerinde o anki ateşleme avansında silindir içerisindeki yanma kalitesinden ve düzgünlüğünden kaynaklandığı düşünülmektedir.

En yüksek CO₂ emisyon değerleri 5° KMA'da 10 sıkıştırma oranında, E0, E50 ve E85 yakıtlarıyla yapılan çalışmalarda sırasıyla; %14,71, %14,44 ve %14,21 olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.19'de görüldüğü gibi CO₂ emisyonlarının ateşleme avansı ve sıkıştırma oranı artışından çok etkilenmediği görülmektedir.



Şekil 5.19. Tam gaz keleşliği açıklığında ateşleme avansına bağlı CO₂ emisyonu değişimleri

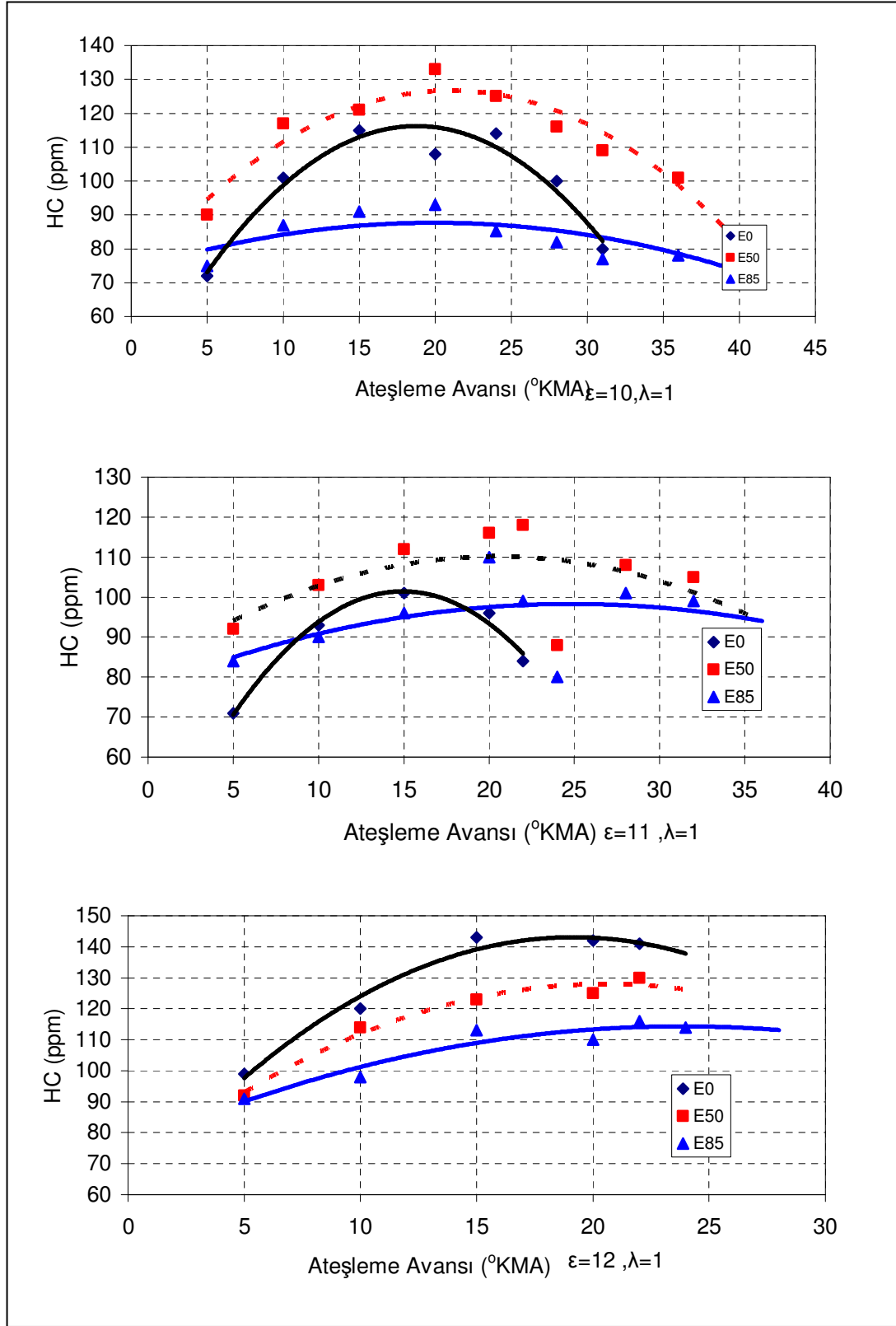
Hidrokarbon (HC) emisyonu

E0, E50 ve E85 ile yapılan deneylerde, 10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında, ateşleme avansına bağlı HC emisyonu değişimi Şekil 5.20'de görülmektedir.

Ateşleme avansının artırılmasıyla HC emisyonu değerlerinde her üç yakıtta artış gözlenmiştir. 10 sıkıştırma oranında E0, E50 ve E85 yakıtlarıyla yapılan çalışmada 5° KMA'da elde edilen HC emisyonları sırasıyla; 72, 90, 75 ppm olarak ölçülürken, maksimum momentin elde edildiği ateşleme avanslarında HC emisyon değerleri, E0 yakıtında 28° KMA'da %38,88 oranında artarak 100 ppm ölçülürken, bu değer E50 yakıtında 24° KMA'da %38,88 oranında artarak 125 ppm ölçülmüştür. E85 yakıtın ise 24° KMA'da %13,3 oranında artarak 85 ppm ölçülmüştür. Ateşleme avansının artırılmasına devam edilmesi halinde HC emisyonlarında bir miktar düşme gözlenmiştir.

11 sıkıştırma oranında 10 sıkıştırma oranına göre her üç yakıtın HC emisyonları da azalma göstermiştir. E0 yakıtında 20° KMA'da %4 oranında azalarak 96 ppm ölçülmüştür. E50 yakıtında 24° KMA'da %29,6 oranında azalarak 88 ppm ölçülmüştür. E85 yakıtın ise 24° KMA'da %13,3 oranında azalarak 80 ppm ölçülmüştür.

Motor 12 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde, 11 sıkıştırma oranına göre maksimum momentin elde edildiği avanslarda HC emisyon değerleri artış göstermiştir. E0 yakıtında 20° KMA'da %47,91 oranında artarak 142 ppm değerine ulaşmıştır, E50 yakıtında 22° KMA'da %47,72 oranında artarak 130 ppm ölçülmüştür. E85 yakıtında ise 24° KMA'da %18,15 oranında artarak 114 ppm ölçülmüştür.



Şekil 5.20. Tam gaz keleşliği açıklığında ateşleme avansına bağılı HC emisyonu değışimleri

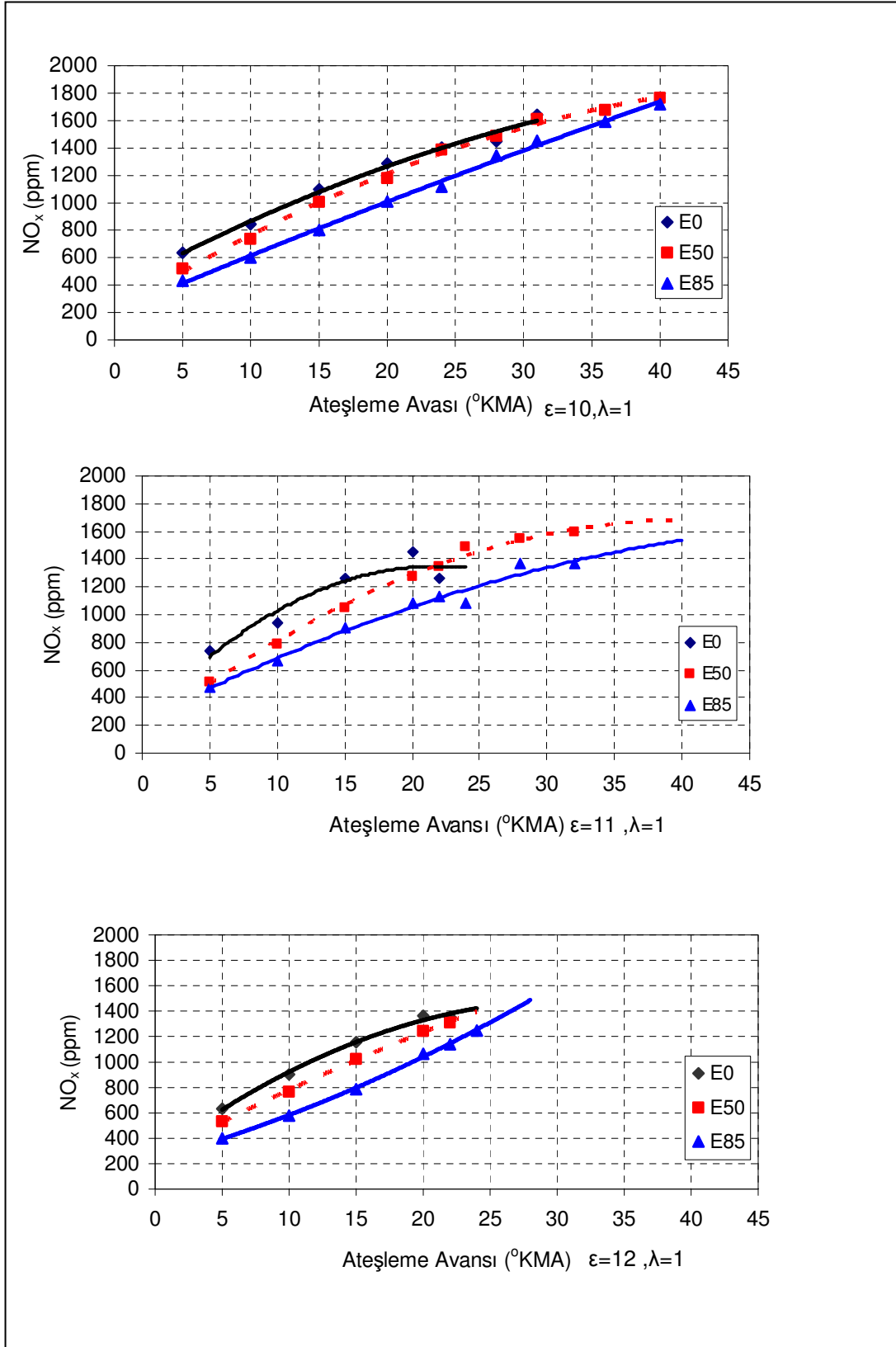
Azotoksit (NO_x) emisyonu

10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında, E0, E50 ve E85 yakıtları ile yapılan deneylerde ateşleme avansına bağlı NO_x emisyonu değişimi Şekil 5.21’de görülmektedir. Ateşleme avansının arttırılmasıyla her üç yakıtta NO_x emisyon değeri artış göstermiştir. Yanma sonu sıcaklık ve basıncın artmasıyla NO_x konsantrasyonlarında artma meydana gelmiştir.

10 sıkıştırma oranında 5° KMA’da NO_x emisyon değerleri E0, E50 ve E85 yakıtlarıyla yapılan çalışmada sırasıyla; 637, 519, 432 ppm elde edilirken, Maksimum momentin elde edildiği ateşleme avanslarında, NO_x emisyon değerleri E0 yakıtında 28° KMA’da artarak 1450 ppm değeri ölçülmüştür. E50 yakıtında 24° KMA’da artarak 1387 ppm değeri ölçülmüştür, E85 yakıtında ise 24° KMA’da artarak 1118 ppm değeri ölçülmüştür. Ateşleme avansının arttırılmaya devam edilmesiyle birlikte her üç yakıtta da NO_x emisyon değeri artmıştır.

Motor 11 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde, 10 sıkıştırma oranına göre maksimum momentin elde edildiği avanslarda NO_x emisyon değerleri, E0 yakıtında 22° KMA’da düşerek 1261 ppm değeri ölçülmüştür. E50 yakıtında, 24° KMA’da artarak 1490 ppm değeri ölçülmüştür. E85 yakıtında ise 24° KMA’da düşerek 1080 ppm değeri ölçülmüştür. Motor 12 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde, 11 sıkıştırma oranına göre maksimum momentin elde edildiği avanslarda NO_x emisyon değerleri, E0 yakıtında 20° KMA’da artarak 1363 ppm değeri ölçülmüştür. E50 yakıtında 22° KMA’da düşerek 1309 ppm ölçülmüştür. E85 yakıtında ise 24° KMA’da artarak 1248 ppm olarak ölçülmüştür.

10–11 ve 12 sıkıştırma oranlarında ateşleme avansına bağlı olarak NO_x emisyon değerleri, E0 yakıtıyla yapılan çalışmada en yüksek değerde çıkmıştır, bunu E50 ve E85 yakıtı izlemiştir.



Şekil 5.21. Tam gaz kelebeği açıklığında ateşleme avansına bağlı NO_x emisyonu değişimleri

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 10, 11 ve 12 sıkıştırma oranlarında tam yükte, E0, E50 ve E85 kullanımının motor devri, hava fazlalık katsayısı ve ateşleme avansı değişimine bağlı olarak, motor performansı ve egzoz emisyonuna etkileri deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır:

Motorun değişik devirlerinde yapılan deneylerde, en yüksek motor momenti E85 yakıtında elde edilmiştir. Etanol miktarı azaldıkça moment azalmış en düşük motor momenti E0 yakıtında elde edilmiştir. Benzin ve etanol-benzin karışımlarıyla yapılan deneylerde 3500 min⁻¹'ya kadar moment artmış, bu devirden sonra etanol-benzin karışımı yakıtlara nazaran benzinle yapılan çalışmada momentte hızlı bir düşme görülmüştür.

Etanolun yüksek oktan sayına sahip olmasından dolayı, etanol-benzin karışımlarının benzin motorunda vuruntuyu önlediği gözlenmiştir. Aynı zamanda etanolun buharlaşma ısısı benzine göre düşük olduğundan dolgu sıcaklığını düşürerek dolgu yoğunluğunu artırdığı ve bu da volümetrik verimin artmasını sağladığı düşünülmektedir. Deney motorunun enjeksiyonlu ve motor devrine bağlı deneylerin $\lambda=1$ 'de yapılmış olması karışım teşkilini daha homojen hale getirmiş olup, aynı zamanda alkollü yakıt kullanımında, silindire kütleli olarak daha fazla yakıt alınmakta bunun da güç çıkışında artış sağladığı görülmüştür. Ateşleme avansının motorun her devri için maksimum momenti verecek şekilde ayarlanabilmesi, etanolun ısı değeri benzinin ısı değerinden düşük olmasına rağmen, etanol- benzin karışımı yakıtların motor momenti ve motor gücünün benzine nazaran daha yüksek çıkmasını sağlamıştır.

Deney motoru 10 sıkıştırma oranından 11 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde, her üç yakıtın maksimum moment ve güç değerlerinde artış meydana gelmiştir. Maksimum tork devri olan 3500 min⁻¹'da ve maksimum güç devri olan 5000 min⁻¹'daki değerler göz önüne alınarak değerlendirmeler

yapılmıştır. Buna göre; E85 yakıtında artan sıkıştırma oranına paralel olarak, motor momentinde %5,1 oranında artış meydana gelirken, motor gücünde %6,7 oranında bir artış meydana gelmiştir. E50 yakıtında, bu artış motor momentinde %4,92 oranında gerçekleşirken, motor gücünde %5,9 oranında gerçekleşmiştir. E0 yakıtında ise motor momenti %6,05 oranında bir artış görülürken, motor gücünde %3'lük bir artış görülmüştür. 12 sıkıştırma oranında yapılan çalışmalarda ise her üç yakıtın maksimum momentlerinde ve motor güçlerinde 11 sıkıştırma oranında elde edilen maksimum momentlere göre bir miktar düşme gözlemlenmiştir. Buna göre yapılan çalışmalarda her üç yakıtın maksimum moment değerlerine ulaştığı 11 sıkıştırma oranı, optimum sıkıştırma oranı olarak belirlenmiştir. Yakıtlar içinde en yüksek moment ve güç artışı E85 yakıtında elde edilmiştir.

Etanolun ısı değeri benzinden oldukça düşük olması nedeniyle, karışımdaki etanol miktarı arttıkça yakıt tüketimi artmış buna bağlı olarak özgül yakıt tüketimi hızlı bir artış göstermiştir. En fazla özgül yakıt tüketimi E85'de meydana gelmiştir. Bunu E50 ve E0 yakıtları izlemiştir. Motorun 10–11 ve 12 sıkıştırma oranlarında maksimum tork devri olan 3500 min⁻¹'da ölçülen özgül yakıt tüketimlerinde; artan sıkıştırma oranına paralel olarak E50 ve E85 yakıtlarıyla yapılan çalışmalarda düşme tespit edilirken, E0 yakıtıyla yapılan çalışmada artış tespit edilmiştir.

Değişken ve sabit devirlerde yapılan testlerde, ateşleme avansı ve sıkıştırma oranının artışına bağlı olarak, her üç yakıtla yapılan çalışmalarda CO ve CO₂ emisyonlarında kararlı bir değişim gözlenmemiştir.

Motorun sabit devrinde hava fazlalık katsayısının artışına bağlı olarak yapılan çalışmalarda, her üç yakıtın HC ve CO emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. Etanol-benzin karışımı kullanımı ile elde edilen CO ve HC emisyon değerleri benzinle yapılan çalışmaya göre düşük çıkmıştır. En düşük CO ve HC emisyon değeri E85 yakıtı ile elde edilmiştir.

Motor devri artışına ve sabit devirde hava fazlalık katsayısı ve ateşleme avansı artışına bağlı olarak, NO_x emisyonunda artış meydana gelmiştir. 10-11 ve 12 sıkıştırma oranlarında tüm yakıtlarla yapılan çalışmalarda ve tüm deney şartlarında, etanol-benzin karışımı yakıtların NO_x emisyonu benzinle yapılan çalışmaya göre daha düşük çıkmıştır. En düşük NO_x emisyonu E85 yakıtında elde edilmiştir.

Sabit devirde hava fazlalık katsayısının (0,85'den 1,2'ye) artışına bağlı olarak yapılan çalışmalarda, 10–11 ve 12 sıkıştırma oranında her üç yakıtta maksimum motor moment değerlerine $\lambda=0,9$ 'da ulaşmışlardır. Motor 10 sıkıştırma oranından 11 sıkıştırma oranına yükseltildiğinde, motor momentleri her üç yakıtta artış göstermiştir. 12 sıkıştırma oranında ise her üç yakıtta da moment bir miktar düşmüştür. 10–11 ve 12 sıkıştırma oranlarında hava fazlalık katsayısının (0,85'den 1,2'ye) artışına bağlı olarak en yüksek moment 11 sıkıştırma oranında E85 yakıtında elde edilmiştir. Bunu E50 ve E0 yakıtı izlemiştir.

Sabit devirde ateşleme avansı artışına bağlı olarak yapılan çalışmalarda, maksimum motor momentleri ve maksimum motor gücü E85 yakıtı ile elde edilmiştir. Etanolün yanma hızı benzinin yanma hızına göre daha yüksek olmasından dolayı etanol-benzin karışımı yakıtlarda ateşleme avansı ihtiyaca göre geciktirilerek yapılmıştır.

Etanol-benzin karışımı yakıtlarla yapılan çalışmalarda, deney boyunca ve tüm deney şartlarında faz ayrışmasına rastlanmamış olup, motorun çalışmasında her hangi bir problemle karşılaşılmamıştır.

Etanol üretiminin maliyetinin düşürülmesi ve ateşleme avansının, motorun her çalışma ortamında uygun avansı verecek şekilde ayarlamasını yapan bir düzenek oluşturulduğunda, etanol-benzin karışımı yakıtlar yüksek sıkıştırma oranlı benzin motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılabilecektir.

Yüksek sıkıştırma oranlarında, uzun süreli ve yüksek oranlı etanol-benzin karışımı kullanımının, motor parçalarına etkisi ile aldehit emisyonları oluşumuna etkisi incelenmelidir. Ayrıca sıkıştırma oranı artışına bağlı olarak artan motor gürültüsünü azaltacak çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Yücel, F.B., “Enerji Ekonomisi”, **Febel ltd.ştd.**, İstanbul, 4-6 (1994).
2. Karaosmanoğlu, F., “Türkiye için çevre dostu- yenilenebilir bir yakıt adayı: Biyomotorin” **Ekojenerasyon dünyası-kojenerasyon dergisi**, İstanbul, Özel sayı 10, 50-56 (2002).
3. 2002 Enerji raporu, **Dünya enerji konseyi Türk milli komitesi yayını**, Ankara, 6-7, 33-36 (2003).
4. Bayraç, H.N, Uluslar arası petrol piyasasının ekonomik analizi”, **Finans-Politik& Ekonomik yorumlar**, 42(499): 6-12 (2005).
5. Bayraktar, H.,Durgun, O., “Buji-ateşlemeli motorlar için alternatif yakıtların teorik değerlendirilmesi ve pratik kullanabilirliği”, **Mühendis ve Makine**, 48 (533): 48-56 (2004).
6. 1999 Enerji raporu, **Dünya enerji konseyi Türk milli komitesi yayını**, Ankara, 40-45 (2000).
7. Yıldırım, S., “Dünyada ve Türkiye’de Petrol”, **T.C. Başbakanlık dış ticaret müsteşarlığı araştırmalar ve değerlendirme genel müdürlüğü**, Ankara, 24-26 (2003).
8. Çakmaknus, İ., “Türkiye’nin enerji problemleri ve çözüm önerileri”, **Mühendis ve Makine**, 42 (492): 29-34 (2001).
9. Karaosmanoğlu, F., “Alkollü Benzinlerin alternatif yakıt olarak değerlendirilmesi”, Doktora tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-15 (1990).
10. Sabancı, A., Akıncı, A., “Motor egzoz emisyonları ve çevre kirliliği”, **Tarım ve çevre ilişkileri sempozyumu bildiri kitabı**, Mersin, 808-817 (1996).
11. Türkiye 9. Enerji kongresi sonuç ve önerileri **Dünya enerji konseyi Türk milli komitesi yayını**, Ankara, 1-2 (2003).
12. Acaroğlu, M., Oğuz, H., Ünalı M., “Türkiye için alternatif bir yakıt: biyoetanol, yakıt olarak kullanımı ve emisyon değerleri” **Biyoenerji 2004 sempozyumu**, İzmir, 144-154 (2004).
13. Konya şeker fabrikası haber bülteni, **Konya şeker toprağın tadı**, 3 (7): 14-18 (2006).

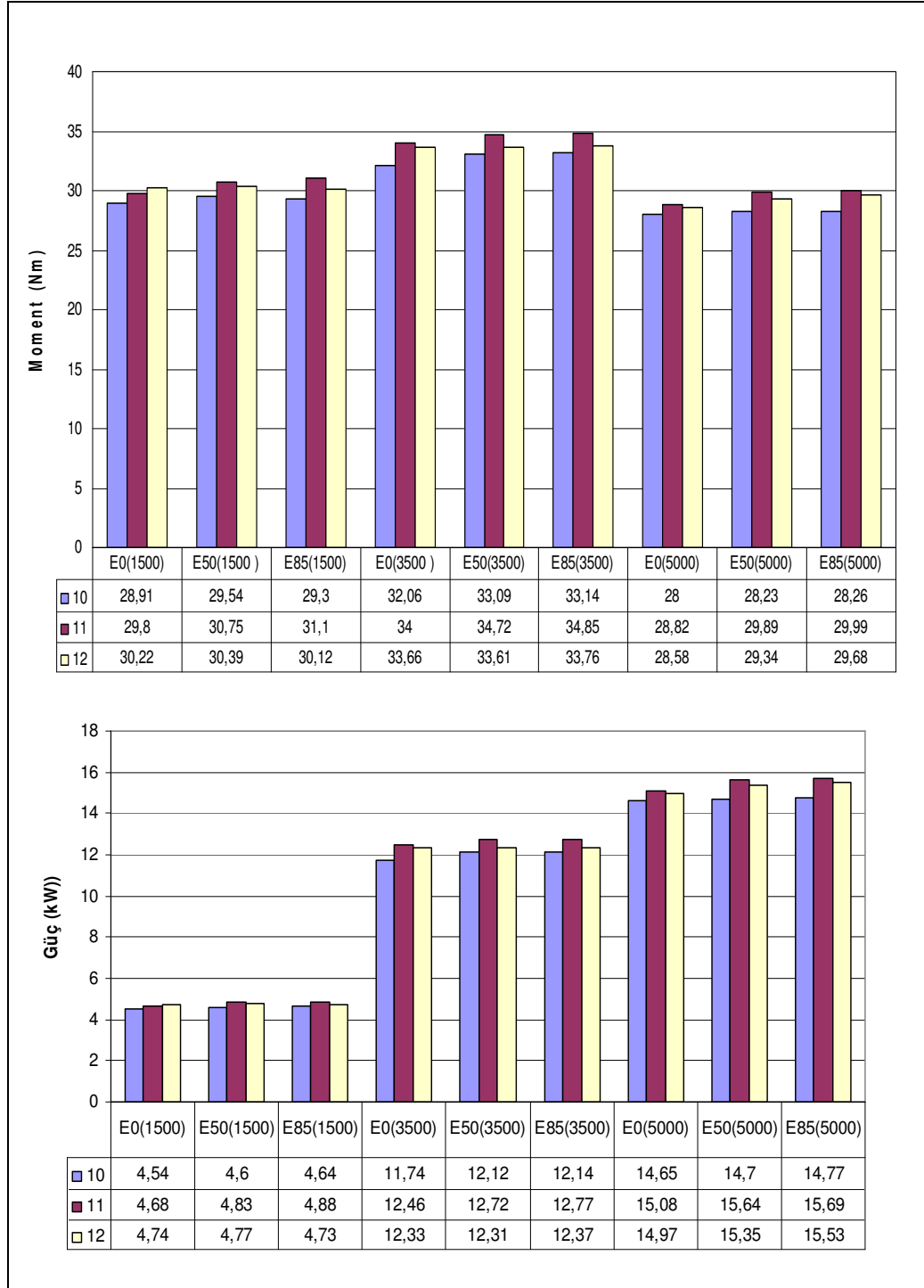
14. Demirliçakmak, A., Çakmak, M., “Petrol tüketimini azaltıcı bir önlem olarak alkol üretimini artırma olanakları”, **Milli Prodüktive Merkezi Yayınları**: 283, Tarım Şubesi Ankara, 7, 30-33 (1983)
15. Al-Hasan, M., “Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission”, **Energy conversion and management**, 44: 1547-1561 (2003).
16. He, B.Q., Wang, J.X., Hao, J.M., Yan, X.G. and Xiao, J.H., “ A study on emmission characteristics of an efi engine with ethanol blended gasoline fuels”, **Atmospheric environment** 37: 949-957 (2003)
17. Asfar, R.K. and Hamed, H., “Combustion of fuel blends”, **Energy conversion and management**, 10 (39): 1081-1093 (1998).
18. Bayraktar, H., “Experimental and theoretical investigation of using gasoline-ethanol blends in spark-ignition engines”, **Renewable energy**, 30: 1733-1747 (2005).
19. Hu, Z., Pu, G., Fang, F. and Wang, C., “Economics, enviroment, and energy life cycle assessment of automobiles fueled by bio-ethanol blends in Chine”, **Renewable energy**, 29: 2183-2192 (2004).
20. Ceviz, M.A., Yüksel, F., “Effects of ethanol- unleaded gasoline blends on cyclic variability and emissions in an SI engine”, **Applied thermal engineering**, 25: 917-925 (2005).
21. Abdel-Rahman, A.A. and Osman, M. M., “Experimental investigation on varying the compression ratio of SI engine working under different ethanol-gassoline fuel blends”, **International journal of energy research**, 21: 31-40 (1997)
22. Yüksel, F., Yüksel, B., “The use of ethanol-gasoline blend as a fuel in an IS engine”, **Renewable energy**, 29: 1181-1191 (2004).
23. Yücesu, S., Bayındır, H., “Buji ile ateşlemeli motorlarda etanol-benzin karışımlarının çevre kirliliğine etkileri”, **Teknoloji dergisi**, 3 (2-3): 249-255 (2000).
24. Salman, M. S., Sümer, M., “Buji ile ateşlemeli motorlarda etanol ve etanol- benzin karışımlarının motor performansına etkileri”, **Politenik dergisi**, 2 (2): 27-34 (1999).
25. Bayındır, H., Etanol-benzin karışımlarının benzinli motorlarda motor karakteristikleri ve hava kirliliğine etkileri” Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 128-131 (1998).

- 26.Şahin, N., “Alternatif yakıtların benzinli motorlarda kullanılmasının motor performans karakteristikleri ve egzoz emisyonları açısından değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri,24-25, 30-31, 114-122, (1995).
- 27.Sümer, M., “Buji ateşlemeli motorlarda etanol kullanımı-performans ve maliyet analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 71-73 (1999).
- 28.Can, Ö., Çelikten, İ., Usta, N., “Etanol karışımlı motorin akıtın diesel motoru egzoz emisyonuna etkisi” **Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 11 (2): 219-223 (2005).
- 29.Çelikten, İ., “Tam yükte çalışan indirekt püskürtmeli bir dizel motorunda, dizel ve dizel-etanol yakıt karışımlarının performans ve emisyon değişimlerine etkisi”, **Teknoloji Dergisi**, 7 (1): 11-18 (2004).
- 30.Makoi, R.H., “İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara,120-122 (1992).
- 31.Acaroğlu, M., “Alternatif enerji kaynakları”, **Atlas Yayın Dağıtım**, İstanbul, 207-211 (2003).
- 32.Yüksel,B., Yüksel F., “Alkol oranı yüksek benzin-alkol karışımı ile benzin motorunun çalıştırılması”, **10. Ulusal Isı Bilim Tekniği Kongresi**, Ankara, 229-234 (1995).
- 33.VIII. Beş yıllık kalkınma planı “Kimya sanayi özel ihtisas komisyon raporu (etil alkol)”, **Devlet Planlama Teşkilatı**, Ankara, 414-419 (2001).
- 34.Bayraktar, H., “Motorlarda benzin-etil alkol-izopropanal karışımlarının kullanılması”, Makine Yüksek Mühendisi Unvan Tezi, **Karadeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon,25-26 (1991).
- 35.Gülde, Ö.L., “Etanol ve etanol-benzin karışımlarının otomobil yakıtı olarak teknik yönleri”, **Tübitak-MAG**, Proje no:526, Ankara, 2-4 (1981).
- 36.Yücel, N., Dinler, N., “Alternatif olarak Lpg kullanan iki motorun performansının deneysel incelenmesi”, **TMMOB Tesisat Mühendisliği**, 73: 23-27 (2003).
- 37.Ergeneman, M., Kutlar, O.A., Mutlu, M., Arslan, H., “Taşıt egzozundan kaynaklanan kirleticiler”, **Birsan Yayınevi**, 10-30 (1998).

38. Aytav, E., “Benzinli motorlarda çalışma parametrelerinin karbon monoksit ve hidrokarbon oluşumuna etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 38- 42 (2005).
39. Çelik, M.B., “Buji ile ateşlemeli bir motorun sıkıştırma oranının değişken hale dönüştürülmesi ve performansa etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 12-14 (1999).
40. Yücel, H.L., Pıhtılı, K., “Motor devri ve Hava yakıt oranına bağlı olarak egzoz gazı bileşimi, basınç ve sıcaklık değişimlerinin araştırılması”, **Isı Bilim ve Tekniği 8. Ulusal Kongresi**, Eskişehir, 319-321 (1991).
41. Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., “Hava kirlenmesi ve kontrol tekniği”, **Teknik Eğitim Vakfı yayınları-3**, Ankara, 24-25 (1992).
42. Aydın, K., Gizir, Ö., “Alternatif yakıtların otto motorlarda kullanabilirliğinin, Motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerinin araştırılması”, **10. Ulusal Isı Bilim Tekniği Kongresi**, Ankara, 264-268 (1995).

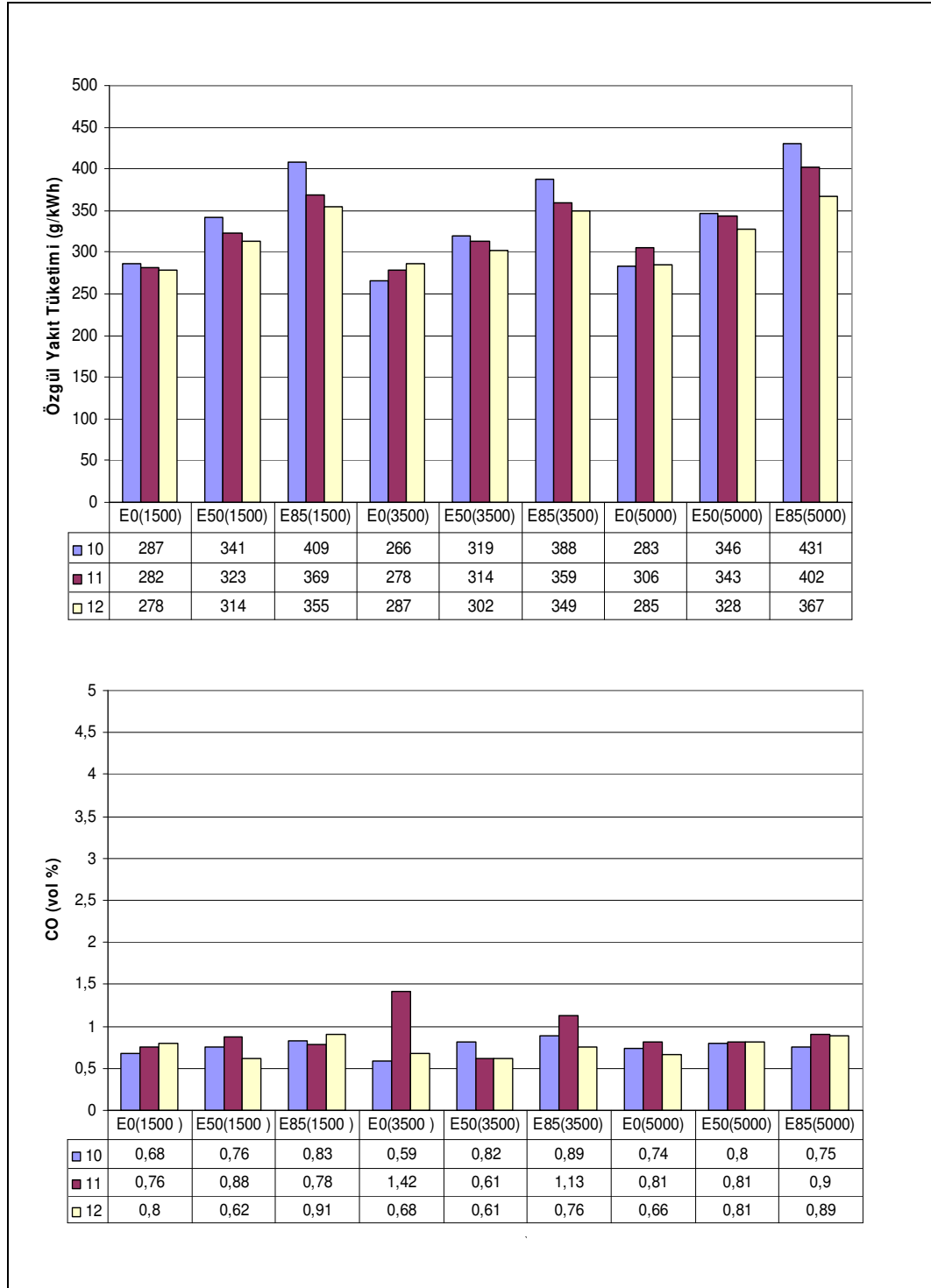
EKLER

EK-1. Motor performansı ve egzoz emisyonunun motor devrine bağlı değişimi



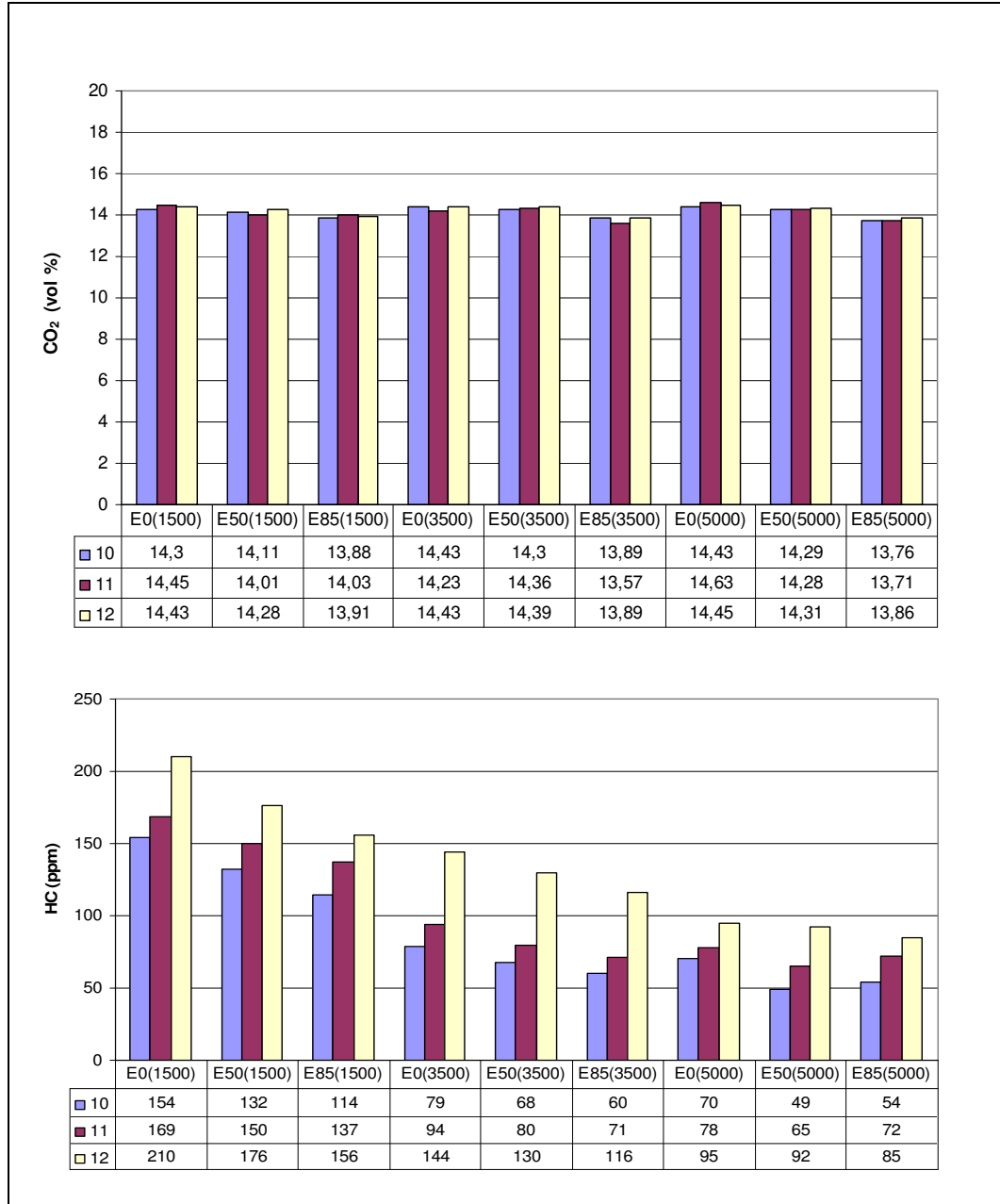
Şekil 1.1. Sıkıştırma oranı ve devir artışına bağlı olarak moment ve güç değişimi

EK-1. (Devam) Motor performansı ve egzoz emisyonunun motor devrine bağlı değişimi



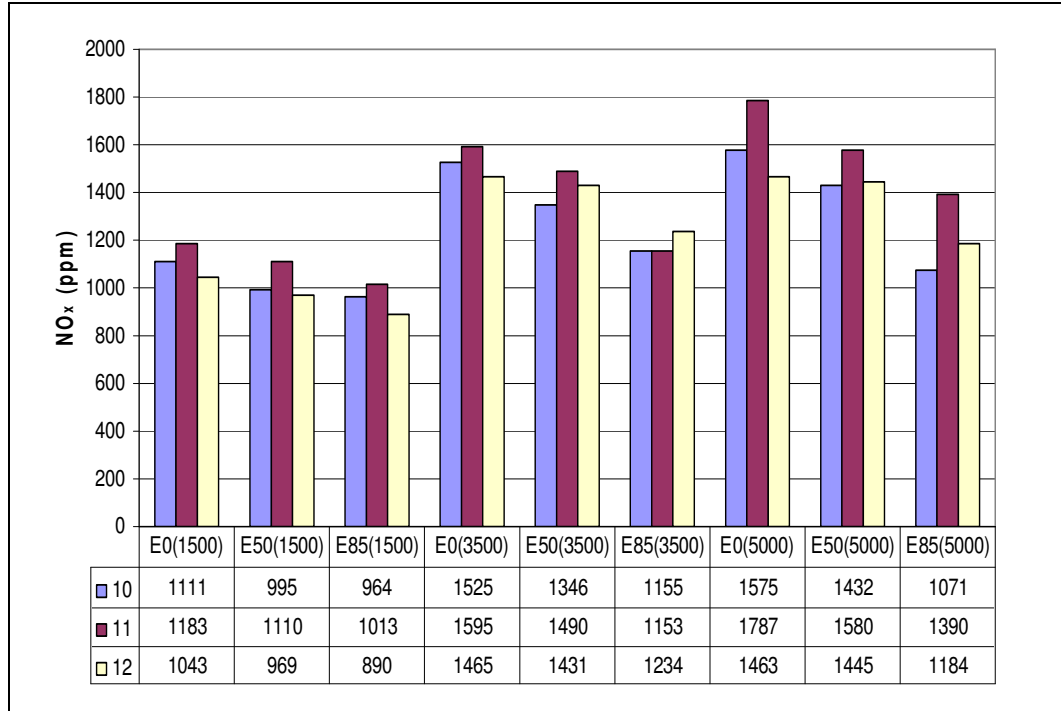
Şekil 1.2. Sıkıştırma oranı ve devir artışına bağlı olarak ÖYT ve CO emisyonu değişimi

EK-1. (Devam) Motor performansı ve egzoz emisyonunun motor devrine bağlı değişimi



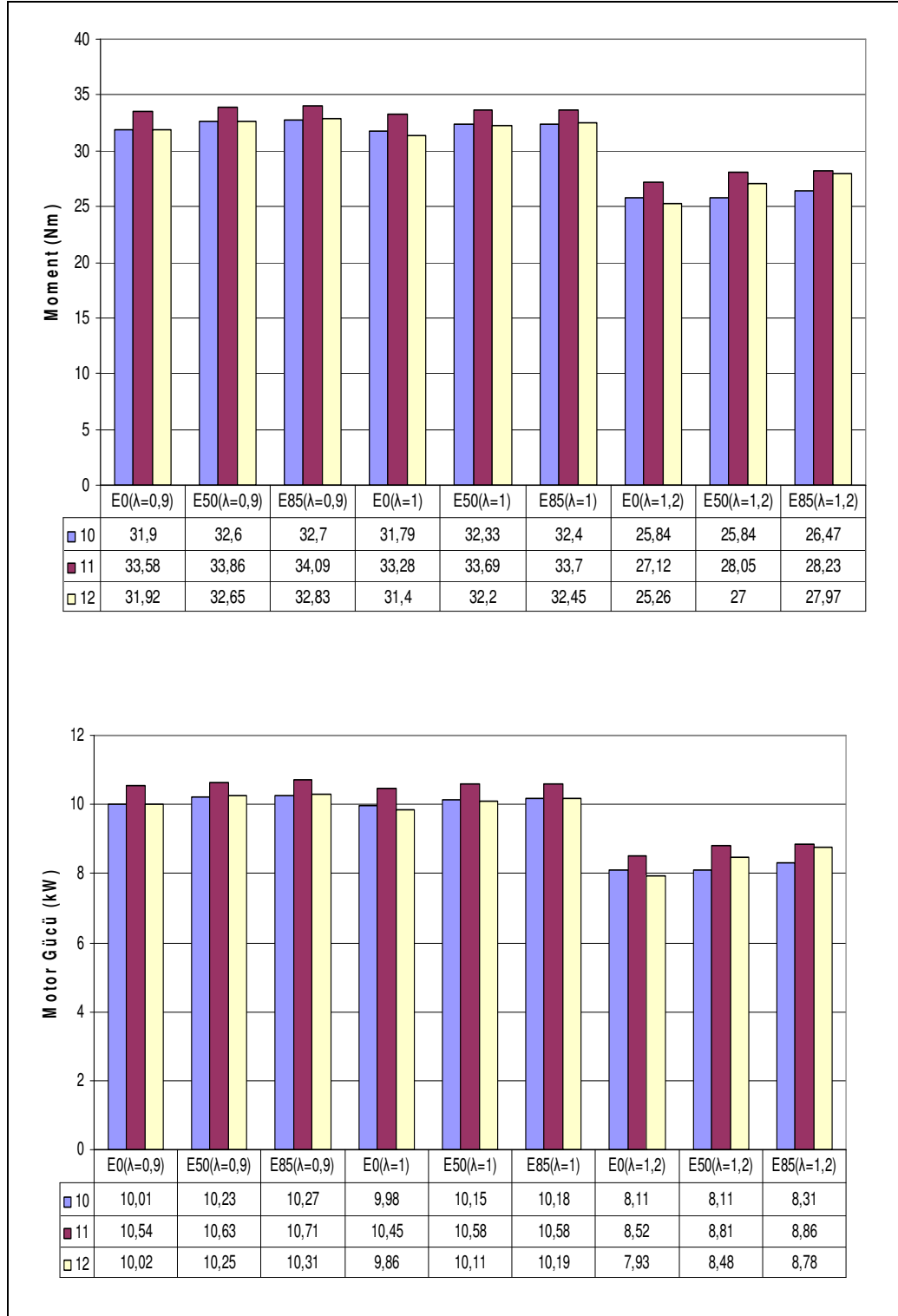
Şekil 1.3. Sıkıştırma oranı ve devir artışına bağlı olarak CO₂ ve HC emisyonu değişimi

EK-1. (Devam) Motor performansı ve egzoz emisyonunun motor devrine bağlı değişimi



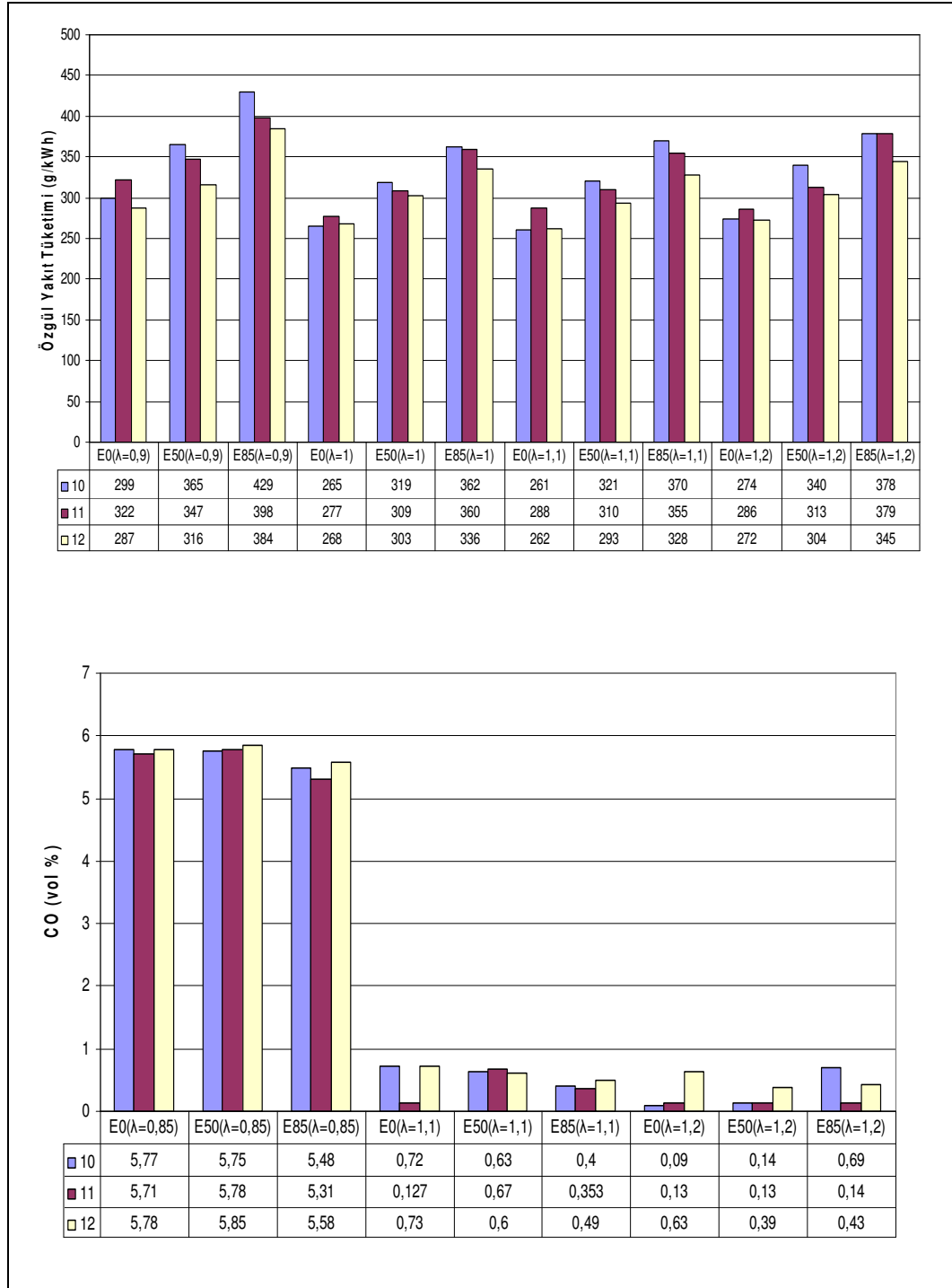
Şekil 1.4. Sıkıştırma oranı ve devir artışına bağlı olarak NO_x emisyonu değişimi

EK-2. Motor performansı ve egzoz emisyonunun HFK'ya bağlı değişimi



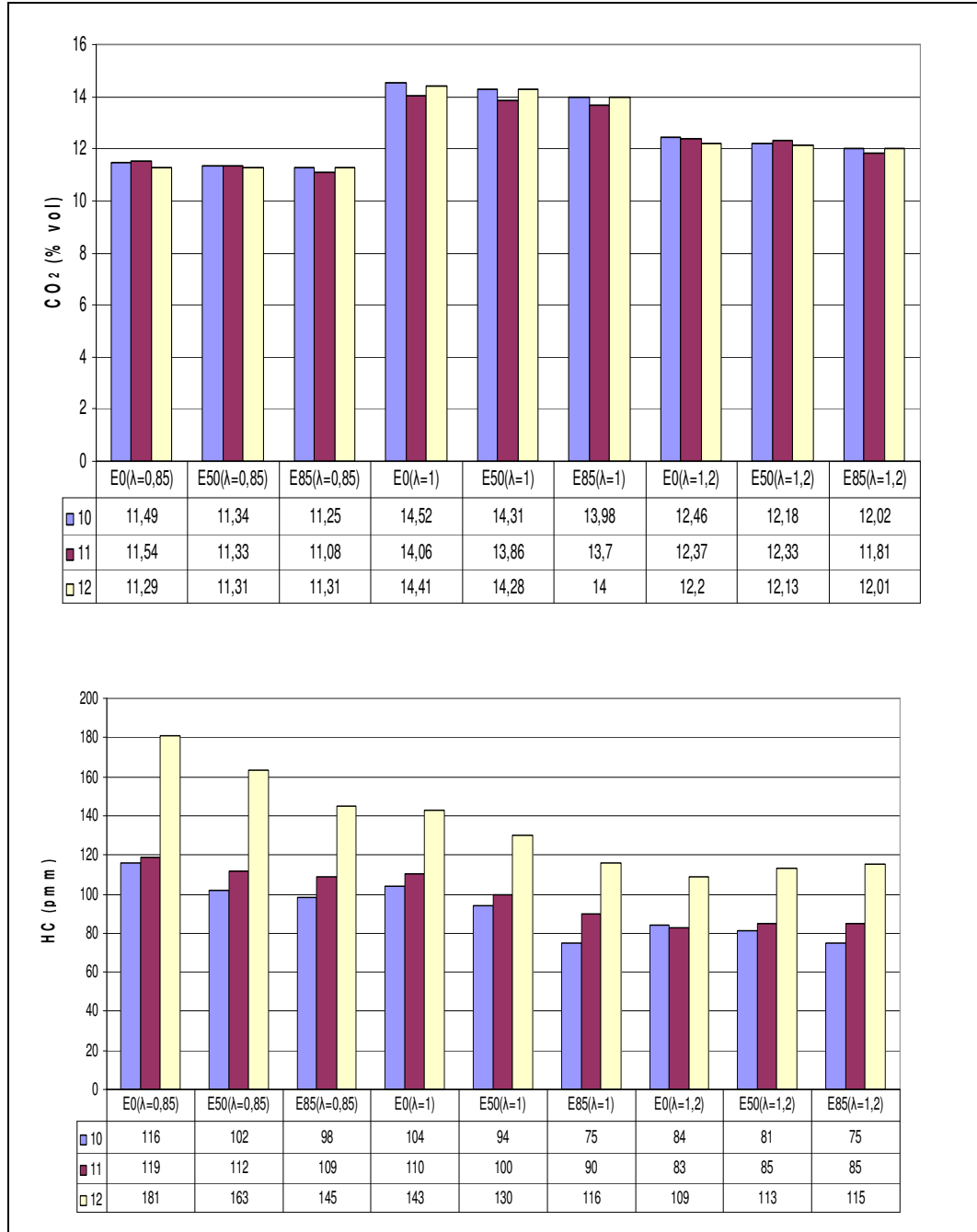
Şekil 2.1. Sabit devirde (3000 min^{-1}) sıkıştırma oranı ve HFK artışına bağlı olarak moment ve güç değişimi

EK-2. (Devam) Motor performansı ve egzoz emisyonunun HFK'ya bağlı değişimi



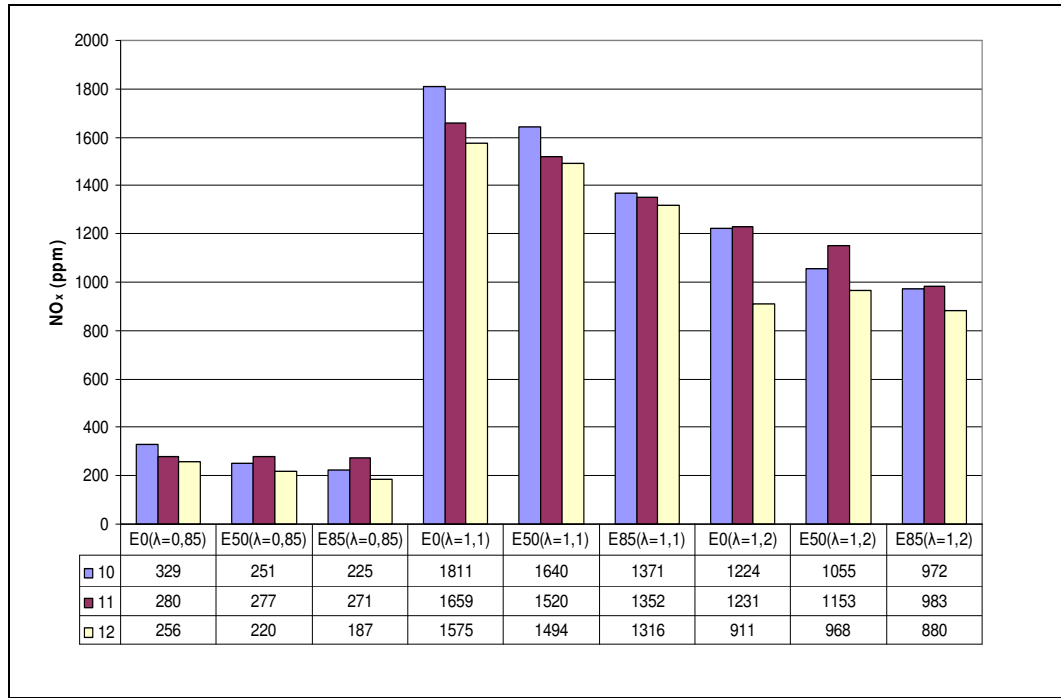
Şekil 2.2. Sabit devirde (3000 min^{-1}) sıkıştırma oranı ve HFK artışına bağlı olarak ÖYT ve CO emisyonu değişimi

EK-2. (Devam) Motor performansı ve egzoz emisyonunun HFK'ya bağlı değişimi



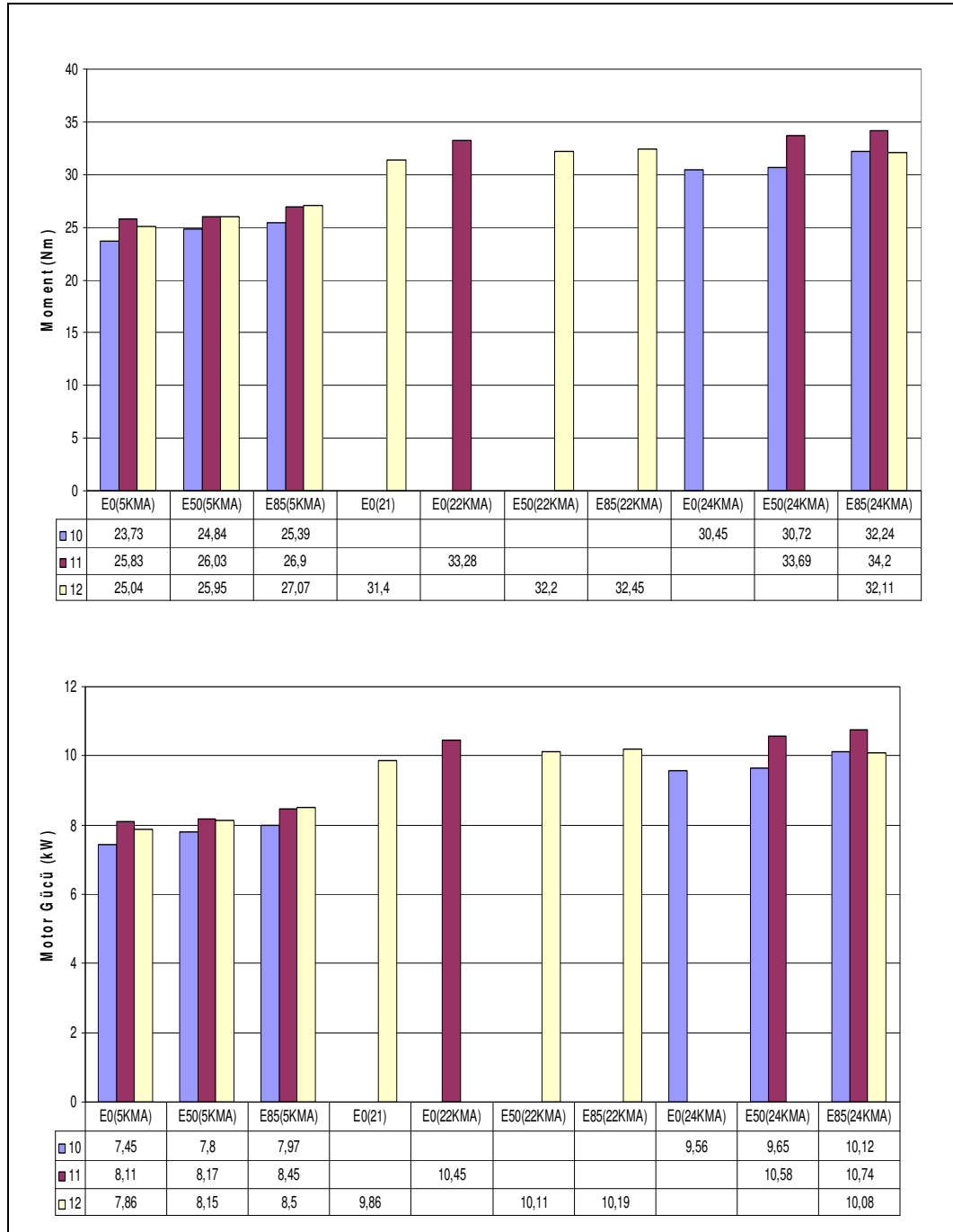
Şekil 2.3. Sabit devirde (3000 min⁻¹) sıkıştırma oranı ve HFK artışına bağlı olarak CO₂ ve HC emisyonu değişimi

EK-2. (Devam) Motor performansı ve egzoz emisyonunun HFK'ya bağlı değişimi



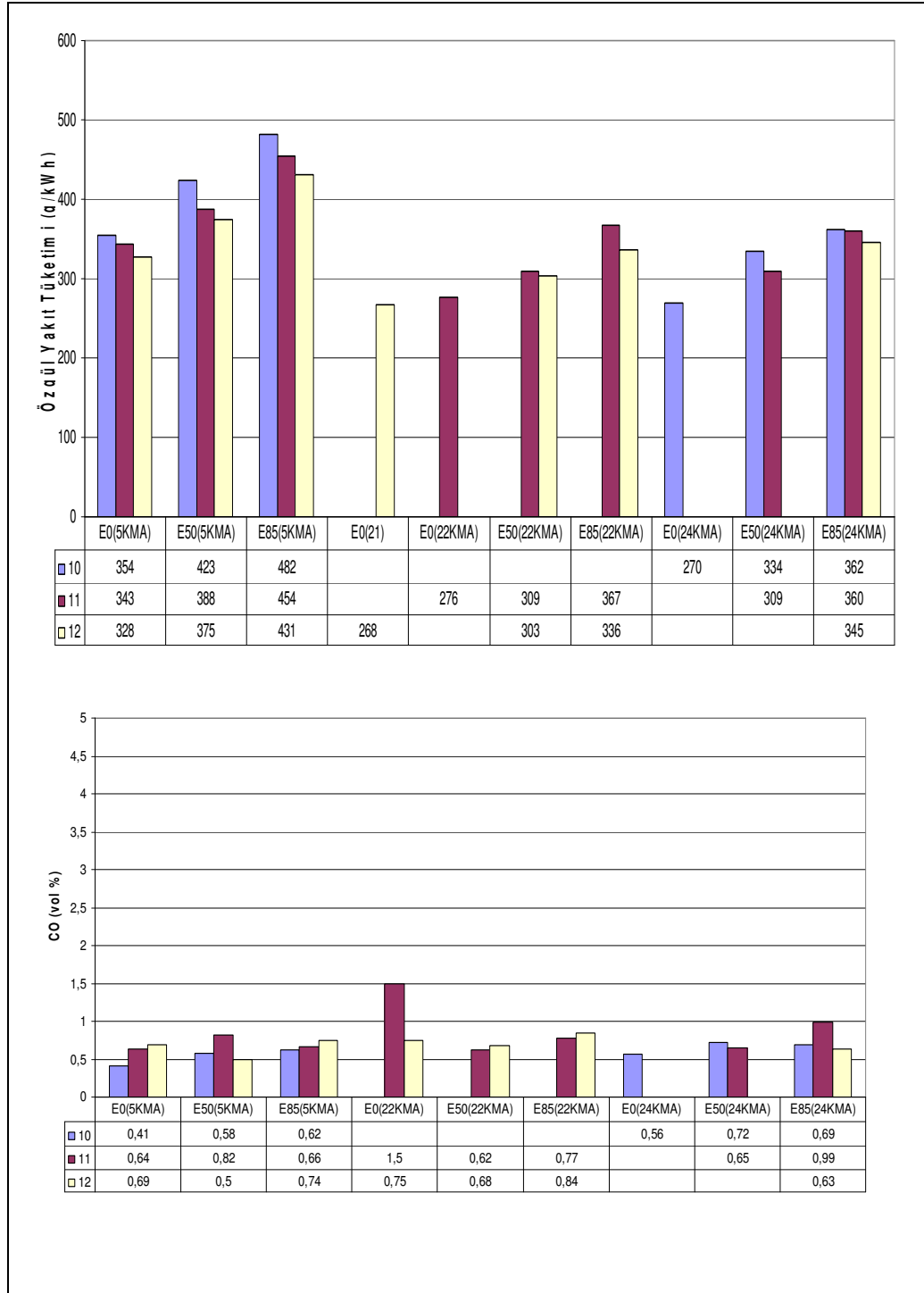
Şekil 2.4. Sabit devirde (3000 min^{-1}) sıkıştırma oranı ve HFK artışına bağlı olarak NO_x emisyonu değişimi

EK-3. Motor performansı ve egzoz emisyonunun ateşleme avansına bağlı değişimi



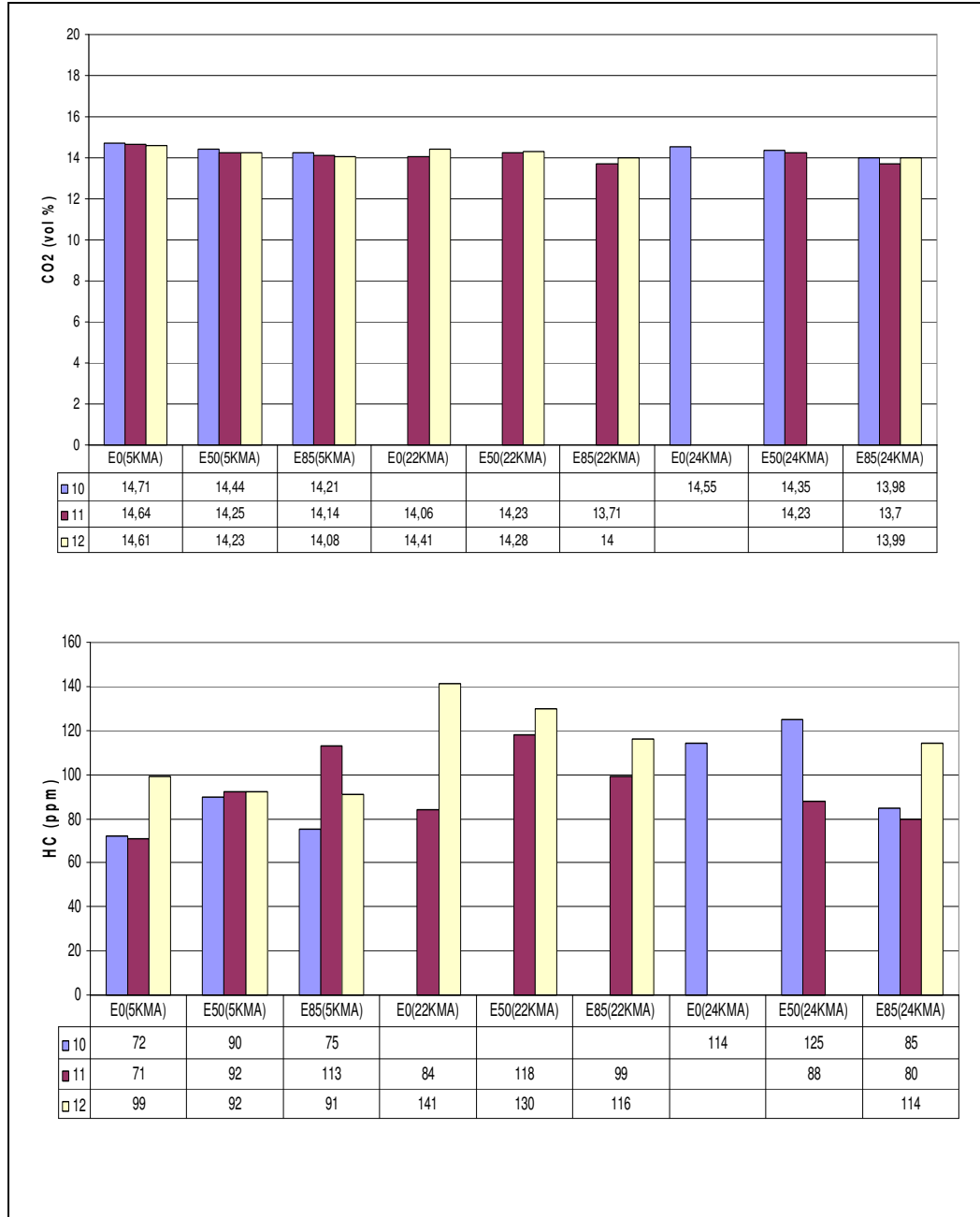
Şekil 3.1. Sabit devirde (3000 min^{-1}) sıkıştırma oranı ve ateşleme avansı artışına bağlı olarak moment ve güç değişimi

EK-3. (Devam) Motor performansı ve egzoz emisyonunun ateşleme avansına bağlı değişimi



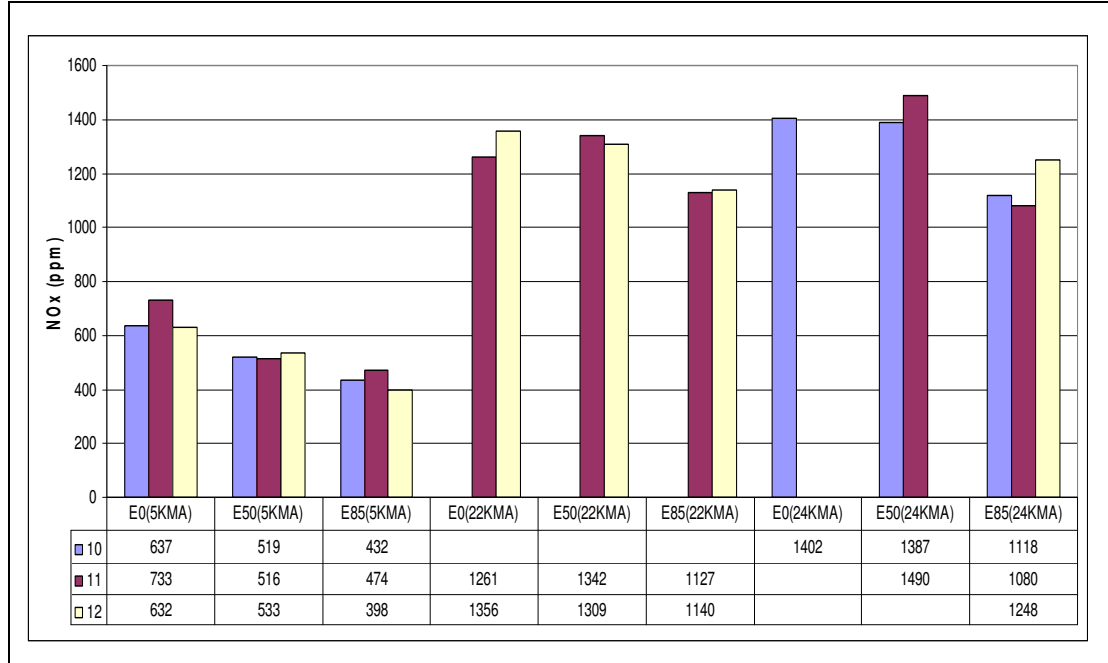
Şekil 3.2. Sabit devirde (3000 min^{-1}) sıkıştırma oranı ve ateşleme avansı artışına bağlı olarak ÖYT ve CO değişimi

EK-3. (Devam) Motor performansı ve egzoz emisyonunun ateşleme avansına bağlı değişimi



Şekil 3.3. Sabit devirde (3000 min^{-1}) sıkıştırma oranı ve ateşleme avansı artışına bağlı olarak CO₂ ve HC emisyonu değişimi

EK-3. (Devam) Motor performansı ve egzoz emisyonunun ateşleme avansına bağlı değişimi



Şekil 3.4. Sabit devirde (3000 min^{-1}) sıkıştırma oranı ve ateşleme avansı artışına bağlı olarak NO_x emisyonu değişimi

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KOÇ, Mustafa
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 06.05.1972 Çankırı
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 535 283 86 62 (Gsm) – 312. 2702914/122 (İş)
 Faks : —
 e-mail : must006@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/Makine Eğt.	2006
Lisans	Gazi Üniversitesi/Otomotiv Öğrt.	1994
Lise	End.Mes.Lisesi	1988

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1994-	Sincan And. Mes. Tek ve End. Mes. Lis.	Motor Öğretmeni

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

—

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Fotoğraf çekmek, Satranç oynamak