

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BENZİNLİ MOTORLARDA BİYOETANOL KULLANIMININ  
MOTOR KARAKTERİSTİK DEĞERLERİNE VE EGZOZ  
EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hasan İMRAĞ**

**Balıkesir, Temmuz-2006**

T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BENZİNLİ MOTORLARDA BİYOETANOL KULLANIMININ  
MOTOR KARAKTERİSTİK DEĞERLERİNE VE EGZOZ  
EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan İMRAĞ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bedri YÜKSEL

Sınav Tarihi : 06. 07. 2006

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Bedri YÜKSEL (Danışman-BAÜ) 

Doç. Dr. Cengiz ÖZMETİN (BAÜ) 

Yrd. Doç. Dr. Nadir İLTEN (BAÜ) 

Balıkesir, Temmuz - 2006

## ÖZET

# BENZİNLİ MOTORLARDA BİYOETANOL KULLANIMININ MOTOR KARAKTERİSTİK DEĞERLERİNE VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hasan İMRAĞ

Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bedri YÜKSEL)

Balıkesir, 2006

Biyokütleden elde edilen ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan etanol (etil alkol), buji ile ateşlemeli motorlarda genellikle benzinle oluşturdukları karışımlar ile kullanılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, yakıt olarak sadece benzin (E0), %5 etanol karışımı (E05), %10 etanol karışımı (E10), %20 etanol karışımı (E20) kullanılmıştır. Bu karışımların; motor gücü, motor torku, özgül yakıt tüketimi, egzoz emisyonu, motor verimi, ortalama efektif basınç ve egzoz sıcaklığına etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

Benzin içerisine karıştırılan alkol, motor gücünde ve torkunda kısmi bir artış sağlamıştır. (Örneğin; motor gücündeki ve torkundaki maksimum artış E10 yakıtı ile 3,8 HP ve 3,93 Nm olarak elde edilmiştir.) Özgül yakıt tüketimi alkol karışımlarında E0'a göre daha yüksek çıkmıştır. (Örneğin; maksimum fark 125,49 g/kWh olarak elde edilmiştir.) Egzoz emisyonu ölçümlerinde, karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) değerlerinde alkolün önemli bir düşüş sağladığı gözlenmiştir. (Örneğin; E20 yakıtı ile CO değeri %0,08 ve HC değeri 57ppm olarak elde edilmiştir.)

**ANAHTAR SÖZCÜKLER :** biyokütle, biyoetanol, enerji, yakıt, çevre

## **ABSTRACT**

# **THE RESEARCH OF THE EFFECT OF BIOETHANOL USAGE ON ENGINE CHARACTERISTIC VALUES AND EXHAUST EMISSIONS WITH GASOLINE ENGINES**

**Hasan İMRAĞ**

**Balıkesir University, Institute of Science,  
Department of Mechanical Engineering**

**(M. Sc. Thesis / Supervisor : Prof. Dr. Bedri YÜKSEL)**

**Balıkesir-Turkey, 2006**

Ethanol (ethyl alcohol), which is obtained from biomass and which is renewable energy source, is generally used with gasoline mixture in spark ignition engines.

In this study, only gasoline (E0), 5% ethanol mixture (E05), 10% ethanol mixture (E10), 20% ethanol mixture (E20) are used as a fuel. The effects of this mixtures to engine power, engine torque, specific fuel consumption, exhaust emissions, engine efficiency, mean effective pressure and exhaust temperature have been experimentally examined.

The alcohol which is mix with gasoline made slightly increase on engine power and engine torque. (For example; the maximum increase in engine power and torque are obtained 3,8 HP and 3,93 Nm with E10 fuel.) Specific fuel consumption of alcohol mixture is obtained larger compare to E0. (For example; maximum difference is obtained 125,49 g/kWh.) In exhaust emission measurements, the important decrease of carbonmonoxide (CO) and hydrocarbon (HC) values thanks to alcohol is examined. (For example; with E20 fuel, the values of CO is obtained 0,08% and the value of HC is obtained 57ppm.)

**KEY WORDS** : biomass, bioethanol, energy, fuel, environment

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORD	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
2. KONUNUN TEORİK İNCELENMESİ	6
2.1 Alternatif Yakıtlar	6
2.1.1 Kömürün Sıvılaştırılması	6
2.1.2 Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)	6
2.1.3 Alkoller	7
2.1.4 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Yönelme	7
2.1.4.1 Hidro (Su)	8
2.1.4.2 Odun	9
2.1.4.3 Biyokütle	9
2.1.4.4 Güneş	10
2.1.4.5 Jeotermal	10
2.1.4.6 Rüzgar	10
2.2 Enerji Bitkileri	11
2.3 Biyokütle Bilgisi	14
2.4 Biyokütle Üretimi	17
2.4.1 Doğrudan Yakma	18
2.4.2 Havasız Çürütme	18
2.4.3 Fermantasyon	18
2.4.4 Piroliz	19
2.4.5 Gazlaştırma	19
2.4.6 Biyofotoliz	19
2.5 Biyokütle Kaynakları	20
2.5.1 Bitkisel Kaynaklar	20

2.5.2 Hayvansal Atıklar	20
2.5.3 Şehir ve Endüstri Atıkları	21
2.6 Dünyada ve Türkiye’ de Biyokütle Kullanımı	21
2.6.1 Dünyada Biyokütle Kullanımı	21
2.6.2 Türkiye’ de Biyokütle Kullanımı	23
2.7 Biyoyakıtın Ekonomideki Yeri	24
2.8 Alkoller ve Özellikleri	26
2.8.1 Alkollerin Yapısı	26
2.8.2 Alkollerin Genel Özellikleri	27
2.9 Biyoetanol Üretim Yöntemleri	28
2.9.1 Dört Teknoloji Platformu	29
2.9.1.1 Konsantre Asit Hidroliz	29
2.9.1.2 Seyreltik Asit Hidrolizi	30
2.9.1.3 Enzimatik Hidroliz	31
2.9.2 Kuru Öğütme İle Etanol Üretimi	32
2.9.3 Yaş Öğütme İle Etanol Üretimi	33
2.9.4 Şeker Mayalama İşlemi	34
2.10 Ülkelere Göre Biyoetanolün Elde Edildiği Bitkiler	35
2.11 Biyoetanol Özellikleri	35
2.12 Biyoetanol Avantaj ve Dezavantajları	39
2.12.1 Biyoetanolün Avantajları	39
2.12.2 Biyoetanolün Dezavantajları	41
2.13 Biyoetanolün Motorlarda Kullanımı	43
2.13.1 Biyoetanol Kullanan Araçlar	43
2.14 Motorun Etanolla Çalışması İçin Modifikasyon İşlemleri	44
3. MATERYAL VE METOD	46
3.1 Deney Standardı	46
3.2 Deneyde Kullanılan Cihazlar	46
3.2.1 Deney Motoru	47
3.2.2 Motor Test Cihazı	49
3.2.3 Deney Yakıtı	53
3.2.4 Egzoz Gaz Analiz Cihazı	54
3.2.5 Hassas Terazi	55
4. SONUÇ VE TARTIŞMA	56
4.1 Güç Değişimleri	56
4.2 Tork Değişimleri	58
4.3 Özgül Yakıt Sarfiyatı Değişimleri	60
4.4 Egzoz Emisyonlarının Değerlendirilmesi	63
4.5 Genel (Ekonomik) Verimlerin Karşılaştırılması	69
4.6 Ortalama Efektif Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması	72
4.7 Egzoz Sıcaklıkları Yönüyle Karşılaştırılması	74
EKLER	
EK A Motor Gücü ve Torku Test Değerleri	79
EK B Motor Özgül Yakıt Tüketimi ve Verim Değerleri	80
EK C Motor Ortalama Efektif Basınç Değerleri	81
KAYNAKÇA	82

## SEMBOL LİSTESİ

<b><u>Simge</u></b>	<b><u>Adı</u></b>	<b><u>Birimi</u></b>
T	Sıcaklık	°C
$b_e$	Özgül Yakıt Tüketimi	g/kWh
n	Motor Devir Sayısı	d/dk
$N_e$	Efektif Güç	HP
$P_{me}$	Ortalama Efektif Basınç	kPa
$V_H$	Kurs Hacmi	$m^3$
$\varepsilon$	Sıkıştırma Oranı	-
$\eta_e$	Efektif Verim	%
ppm	Milyonda Bir Partikül	ppm
Hu	Yanma Isısı	kJ/kg
E0	Kullanılan Yakıt Sadece Benzin	-
E05	%95 Benzin + % 5 Etil Alkol Yakıtı	-
E10	%90 Benzin + % 10 Etil Alkol Yakıtı	-
E20	%80 Benzin + % 20 Etil Alkol Yakıtı	-
O <sub>2</sub>	Oksijen	-
AFR	Hava Yakıt Oranı (Air Fuel Ratio)	-
CO	Karbonmonoksit	-
HC	Hidrokarbon	-
NO <sub>x</sub>	Azotoksit	-
MON	Motor Oktan Sayısı	-
RON	Araştırma Oktan Sayısı	-
TSE	Türk Standartları Enstitüsü	-
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı	-
USDA	United State Department Of Agriculture	-
TVA	Tennessee Valley Authority	-
EN	Europe Norm	-
FFV	Flexible Fuel Vehicle	-
MTBE	Metil Tetra Butil Eter	-
NREL	National Renewable Energy Laboratory	-
DOE	Department of Energy	-

## ŞEKİL LİSTESİ

<b><u>Şekil Numarası</u></b>	<b><u>Adı</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 2.1	Dünyada Temel Enerji Kaynaklarının Dağılımı	8
Şekil 2.2	Alternatif Enerji Kaynaklarının Kullanımında Dönüştürme Prosesleri	14
Şekil 2.3	Biyokütle Oluşumunun Yüzdelerle Dağılımı	15
Şekil 2.4	Etanol Üretim Yöntemlerinin Tarihsel Gelişimi	16
Şekil 2.5	Çeşitli Özellikte Biyokütleden Fermentasyon İşlemleri	19
Şekil 2.6	Etanolün Alternatif Yakıt Olarak Değerlendirilmesi	25
Şekil 2.7	Amerika’da Yıllara Göre Biyodizel ve Biyobenzin Üretimi	25
Şekil 2.8	Metanol, Fenol ve Vinil Alkolün Kimyasal Yapısı	26
Şekil 2.9	Su ve Alkol Kimyasal Yapı Karşılaştırması	26
Şekil 2.10	Etanol, Mentol ve Kolesterol Kimyasal Yapıları	27
Şekil 2.11	Alkol Reaksiyonları	28
Şekil 2.12	Biyokütleyi Biyoetanole Dönüştürmek İçin Genel Bir Yöntem	28
Şekil 2.13	Sulandırılmış Asit Hidroliz Yöntemi Akış Şeması	30
Şekil 2.14	Enzimatik Hidroliz İşleminde Hidroliz ve Fermentasyon İşleminin Şematik Gösterimi	31
Şekil 2.15	Enzimatik Hidroliz İşleminde Eş Zamanlı Sakkarifikasyon ve Fermentasyon İşleminin Şematik Gösterimi	32
Şekil 2.16	Kuru Öğütme Yöntemi İle Etanol Üretimi Akış Şeması	33
Şekil 2.17	Yaş Öğütme Yöntemi İle Etanol Üretimi Akış Şeması	34
Şekil 2.18	Etanolün Oktan Sayısına Etkisi	41
Şekil 2.19	Benzin Etanol Karışımı Yakıtta Su Oluşum Durumu	42
Şekil 2.20	Ana Meme Çapının Güce Etkisi	45
Şekil 3.1	Motor Test Deney Düzeneğinin Şematik Görünümü	46
Şekil 3.2	Deney Motorunun Değişik Açılardan Dinamometre Üzerinde Görüntüsü	48
Şekil 3.3	Deney Motorunun Değişik Açılardan Dinamometre Üzerinde Görüntüsü	48
Şekil 3.4	Deney Motorunun Değişik Açılardan Dinamometre Üzerinde Görüntüsü	49
Şekil 3.5	Motor Test Cihazı Ekran Görüntüsü	51
Şekil 3.6	Motor Test Cihazı (Dinamometre) Kontrol Paneli	52
Şekil 3.7	Motor Test Cihazı (Dinamometre) Yükleme Ünitesi	52
Şekil 3.8	Deneyde Kullanılan Yakıtlar	54
Şekil 3.9	Deneyde Kullanılan Egzoz Gaz Analiz Cihazı	54
Şekil 3.10	Yakıt Tüketimi Ölçümünde Kullanılan Hassas Teraziler	55
Şekil 4.1	Avans 9 Derecede Motordaki Güç Değişimleri	57
Şekil 4.2	Avans 11 Derecede Motordaki Güç Değişimleri	57
Şekil 4.3	Avans 7 Derecede Motordaki Güç Değişimleri	58



Şekil 4.4	Avans 9 Derecede Motordaki Tork Değişimleri	59
Şekil 4.5	Avans 11 Derecede Motordaki Tork Değişimleri	59
Şekil 4.6	Avans 7 Derecede Motordaki Tork Değişimleri	60
Şekil 4.7	Avans 9 Derecede Motordaki Özgül Yakıt Sarfiyatı Değişimleri	62
Şekil 4.8	Avans 11 Derecede Motordaki Özgül Yakıt Sarfiyatı Değişimleri	62
Şekil 4.9	Avans 7 Derecede Motordaki Özgül Yakıt Sarfiyatı Değişimleri	63
Şekil 4.10	Avans 9 Derecede CO Emisyonu Değişimleri	65
Şekil 4.11	Avans 11 Derecede CO Emisyonu Değişimleri	65
Şekil 4.12	Avans 7 Derecede CO Emisyonu Değişimleri	65
Şekil 4.13	Avans 9 Derecede HC Emisyonu Değişimleri	66
Şekil 4.14	Avans 11 Derecede HC Emisyonu Değişimleri	66
Şekil 4.15	Avans 7 Derecede HC Emisyonu Değişimleri	66
Şekil 4.16	Avans 9 Derecede O <sub>2</sub> Emisyonu Değişimleri	67
Şekil 4.17	Avans 11 Derecede O <sub>2</sub> Emisyonu Değişimleri	67
Şekil 4.18	Avans 7 Derecede O <sub>2</sub> Emisyonu Değişimleri	67
Şekil 4.19	Avans 9 Derecede AFR Değişimleri	68
Şekil 4.20	Avans 11 Derecede AFR Değişimleri	68
Şekil 4.21	Avans 7 Derecede AFR Değişimleri	68
Şekil 4.22	Motor Verimlerinin Karşılaştırılması (Avans 9°)	70
Şekil 4.23	Motor Verimlerinin Karşılaştırılması (Avans 11°)	71
Şekil 4.24	Motor Verimlerinin Karşılaştırılması (Avans 7°)	71
Şekil 4.25	Ortalama Efektif Basınçların Karşılaştırılması (Avans 9°)	73
Şekil 4.26	Ortalama Efektif Basınçların Karşılaştırılması (Avans 11°)	73
Şekil 4.27	Ortalama Efektif Basınçların Karşılaştırılması (Avans 7°)	74
Şekil 4.28	Egzoz Sıcaklığı Değişimi (Avans 9°)	74
Şekil 4.29	Egzoz Sıcaklığı Değişimi (Avans 11°)	75
Şekil 4.30	Egzoz Sıcaklığı Değişimi (Avans 7°)	75

## ÇİZELGE LİSTESİ

<b><u>Çizelge</u></b> <b><u>Numarası</u></b>	<b><u>Adı</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1	Biyokütle Çevrim Teknikleri ve Kullanım Yerleri	17
Çizelge 2.2	Avrupa'da 2002 Yılı Taşımacılıkta Kullanılan Biyoyakıt Üretimi	23
Çizelge 2.3	Hammaddeden Uygulanacak Yöntem İle Elde Edilecek Yakıt Tipi	35
Çizelge 2.4	Yakıt Karşılaştırma Tablosu	38
Çizelge 2.5	Avrupa Standartlarına Göre Alkollerin Yakıtta İlave Yüzdeleri	39
Çizelge 2.6	Kurşunsuz Benzine Oktan Sayısını Artırmak İçin Katılan Katıklar ve Özellikleri	40
Çizelge 2.7	%10 Etanolün MON ve RON Değerlerine Etkisi	41
Çizelge 3.1	Testte Kullanılan 2,5 Lt. Land Rover Motoru Teknik Özellikleri	47
Çizelge 3.2	Motor Test Cihazının Teknik Özellikleri	50
Çizelge 3.3	Sun MGA 1200 Egzoz Gaz Analiz Cihazının Teknik Özellikleri	55
Çizelge A.1	Motor Gücü Test Değerleri (HP)	79
Çizelge A.2	Motor Torku Test Değerleri (Nm)	79
Çizelge B.1	Motor Özgül Yakıt Tüketimi Test Değerleri (g/kWh)	80
Çizelge B.2	Motor Verimi Değerleri (%)	80
Çizelge C.1	Motor Ortalama Efektif Basınç Değerleri (kPa)	81

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince değerli fikir, eleştiri ve yönlendirmeleri ile araştırmama katkıda bulunan, ilgi ve hoşgörüsünü esirgemeyen saygı değer danışman hocam, **Prof. Dr. Bedri YÜKSEL**'e, yaptığım testlerde yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen **Müh. Ütgm. Cüneyt AKMAN**'a, yabancı dilde temin ettiğim dokümanların çevirisinde engin bilgisini kullanarak çalışmalarına hız katan, akıllı ve bir o kadar anlayışlı kardeşim **Makine Mühendisi Tolga İMRAĞ**'a, eğitimde devamlı gelişmeyi ve yeniliği esas alan bir ortam sağlayan güzel okulum **Kara Kuvvetleri Astsubay Meslek Yüksek Okulu Komutanlığı**'na, yüksek lisans çalışmalarım sırasında karşıma çıkan engelleri ortadan kaldırıp önümü açan Şube Müdürüm **Öğ. Alb. Bekir YILMAZ**'a, bu yoğun tempoda gece geç saatlere kadar bilgisayar başında geçirdiğim zamanlarda bana güler yüzünü ve sevgisini esirgemeyen değerli eşim, hayat arkadaşım **Ayfer İMRAĞ**'a sonsuz teşekkür ederim.

**Balıkesir, 2006**

**Hasan İMRAĞ**

## 1. GİRİŞ

Taşıtlarda kullanılan petrol türevi yakıtların gelecekte ihtiyacı karşılayamaz duruma gelmesi, alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasına olan ilgiyi artırmıştır. Aynı zamanda araç egzozlarından çevreye atılan zararlı gazların oluşturduğu olumsuz etkilerde yadsınamaz bir durum almıştır. Bu nedenle alternatif yakıt araştırmalarında çevresel kaygıları azaltacak tedbirlerinde alınması kaçınılmaz olmuştur.

Türkiye birincil enerji kaynakları bakımından kendine yetemeyen ülke olmasına karşılık, biyoenerji potansiyeli bakımından umut verici konumdadır. Ayrıca linyit kömürü ve hidrolik enerji potansiyeli açısından da önemli kaynaklara sahiptir. Türkiye'nin petrol ihtiyacının karşılanmasında büyük ölçüde dış kaynaklara bağımlı olması ekonomik gelişmesini olumsuz yönde etkilemektedir. Ülkemizin petrol üretimi, tüketimi karşısında çok sınırlıdır. Petrol ihtiyacımızın % 80' den fazlası petrol ithalatı ile karşılanmaktadır. Bu konudaki sıkıntı devam ettiği sürece yeni enerji kaynaklarının araştırılmasının önemi artmaktadır. Otomotiv sanayinde petrol yerine enerji olarak, bitkisel yağlar, güneş enerjisi, sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) kullanımı araştırılmaktadır. Yeni enerji arayışına neden olan bir başka konu ise temiz ve yenilenebilir yakıt düşüncesidir [1].

Ülkemizin enerji politikasındaki ana hedefi; sosyal kalkınma hamleleri ile birlikte hedeflenen ekonomik ve sanayi büyümesini gerçekleştirmek amacıyla, yeterli, çevresel etkiyi göz önüne alan, ekonomik olarak elde edilebilen enerji sağlamaktır. Enerjinin üretim ve tüketiminin farklı trendlerde gelişim göstermesi 1976 yılında da % 76 olan üretimin tüketimi karşılama oranının 1996 yılında % 40'a düşmesine sebep olmuştur. Daha sonraki yıllar için yapılan projeksiyonlarda bu azalmanın devam ederek 2020 yılında % 26'ya düşmesi beklenmektedir. 1998 yılında petrolün % 12'si, doğal gazın % 2,6'sı, taş kömürünün % 25'i, linyitin %97'si yerli üretimle karşılanabilmiştir [1].

Kısacası bilinen enerji kaynaklarının sınırlı ve yenilenemez oluşu, nüfus artışına ve sanayileşmeye paralel olarak hızla artan enerji gereksinimi, enerjinin akıllı kullanımı ve enerji tasarrufu gibi kavramları gündeme getirmiş ve ucuz enerji devrinin sona erdiğini göstermiştir [2].

Günümüzde tüketilen enerjinin büyük kısmı yakıt olarak içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır. Bu durum yapılacak olan çalışmaların yeni ve yenilenebilir yakıtlar üzerinde olmasını gerekli kılmıştır. Sadece enerji ihtiyacı değil dünyamızın doğal dengesinin bozulmaması için de temiz yakıtlara ihtiyaç vardır.

Kaynakların sınırlı olması ile birlikte sürekli olarak artan enerji ihtiyacı, içinde bulunduğumuz yüzyılda ve gelecekte ülkemizi ve tüm dünyayı sıkıntıya sokabilecek çözüm bekleyen bir problemdir. Enerji ihtiyacını fosil yakıtlara bağımlı olarak dışarıdan karşılayan Türkiye gibi ülkeler için ise bu problem, çözülmesi gereken acil bir sorundur.

Bu çalışmada, petrole olan bağımlılığı azaltma bilincindeki özellikle Brezilya, ABD gibi ülkelerde alternatif yakıt olarak kullanılan fakat Türkiye’ de üretimi ve kullanımı yaygınlaşmamış, tarım ürünlerinden elde edilen biyoetanolün benzinli motor performansı ve emisyonlarına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın, biyoetanol üretiminde kullanılan şeker pancarı, patates, buğday, şeker kamışı, mısır, saman ve odun gibi ürünlerin üretiminin artırılmasına ve tarımın teşvik edilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Amaç; ülkemiz gibi tarım toplumu olan yerlerde enerji alanında kullanılacak olan kendi yakıtın üretim şartlarının olgunlaştırılması, ekonomik anlamda sağlayacağı katkının yanı sıra çevreyi kirletmeyen bir yakıt olan biyoetanolün benzinli motorlarda alternatif yakıt kaynağı olarak da kullanılabileceğini ispatlamaktır.

## 1.1 Literatür Araştırması

Biyometanolün benzin ile karıştırılarak benzinli motorlarda yakıt olarak kullanımını dünyada birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

Biyometanolün değişik oranlarda benzin ile karıştırılması ile yakıt üretilerek benzinli motorlarda yakıt olarak kullanım olanakları ve etkileri ile ilgili yapılan araştırmalardan bazıları sıra ile aşağıda verilmiştir.

Topgül ve arkadaşları tarafından, sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinde maksimum artış 2000 d/d motor devrinde E10 yakıtında %0,5 (SO: 11/1), E20 yakıtında %1,3 (SO: 10/1) ve özgül yakıt tüketiminde ortalama olarak E10 için %5,5, E20 için %8,8 artış elde edilmiştir. 3500 d/d motor devrinde motor momenti E10 yakıtında maksimum %1,3 (SO: 8/1), E20 yakıtında %1,7 (SO: 8/1) ve FÖYT ortalama E10 yakıtında %4,4, E20 için %8,4 artış göstermiştir. Motor momenti 5000 d/d motor devrinde E10 yakıtında en fazla %0,3 (SO: 9/1), E20 yakıtında %1,7 (SO: 10/1) ve özgül yakıt tüketiminde ise; ortalama E10 için %3,6, E20 için %8,7 artış elde edilmiştir [3].

Hsieh ve arkadaşlarının, etanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli bir motorda motor performansına ve emisyonlara etkisini araştırdıkları çalışmada, %99,9 saflıkta etanol hacimsel olarak %0-%30 oranlarında (E0, E5, E10, E20 ve E30) benzin ile karıştırılarak deney yakıtı elde edilmiştir. 4000 d/d veya kısmi kelebek açıklıklarında yalnız benzinle elde edilen motor torku, E5 ve E30 karışımlarındaki yakıtlardan daha az olmuştur [4].

Guerrieri ve arkadaşlarının, etanol karışımlarının taşıt ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırdıkları çalışmada; egzoz emisyonları ve yakıt ekonomisi, altı araçta benzin ve hacimsel olarak %10-40 oranlarında etanol bulunan dokuz farklı etanol- benzin karışımları kullanılarak test edilmiştir. Emisyonlar, karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak lineer bir değişim göstermiştir. En yüksek etanol konsantrasyonunda toplam HC emisyonu %30, CO emisyonu %50, yakıt ekonomisi %15 azalmıştır [5].

Acarođlu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, materyal olarak yakıtta biyoetanol ve benzin yakıtı, Avrupa yakıt standartları ve yazılım olarak GEMIS kullanılmıştır. Farklı araçlarda biyoetanol kullanılarak oluşan emisyon değerlerinin aynı araçlarda benzin kullanılması ile oluşan emisyon değerleri lisanslı yazılım programı GEMIS (Global Emission Model for Integrated Systems) kullanılarak karşılaştırılmıştır. Etanolün CO değerlerinde %60-65 ve NO<sub>x</sub> değerlerinde %45 dūřuř sağladığı gōzlenmiřtir [6].

Kisenyi ve arkadaşları, oksijen içeren benzin karışımlarının Avrupa'da üretilmiş altı araçta egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. şasi dinamometresinde ECE seyir çevrimine gōre %10 MTBE, %15 MTBE ve %5,2 etanol içeren benzin karışımlarından en iyi sonuçları %15 MTBE içeren karışımla elde etmişlerdir. CO emisyonunda %15-30, toplam HC emisyonunda %10-20, NO<sub>x</sub> emisyonlarında %1,3-1,7 ve CO<sub>2</sub> emisyonunda %1-4 azalma kaydedilmiştir [7].

Taylor ve arkadaşları, kütlesel olarak %1,25, %2,5, %3,75 ve %5 oksijen içeren alkol-benzin karışımlarının egzoz emisyonlarına etkisini inceledikleri çalışmada, metanol, etanol, i-propanol ve n-propanol kullanılmıştır. Kütlesel olarak %5 oksijen içeren alkol-benzin karışımlarıyla CO emisyonunda %75 ve HC emisyonunda %40 azalma elde etmişlerdir [8].

Cowart ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, yakıt olarak M85, E85 ve benzin kullanılmıştır. Motor performansının alkol içeren yakıtlarda arttığı gōrlmüřtr. Motor torku ve gücü M85 yakıtı kullanıldığında benzine kıyasla maksimum %7, E85 yakıtında ise %4 artmıştır [9].

Wicker ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, bir taşıtın E85 (%85 denatüre etanol ve %15 benzin) yakıtıyla ve mevcut elektronik kontrol nitesi kullanıldığında E85 için benzine gōre yaklaşık %40 daha fazla yakıt sağlayacak yüksek akışlı enjektörlere ihtiyaç duyulmuştur. Motor devrine bağlı olarak motor torku ve motor gücünün değişimi 2000 ile 5500 d/d devir aralığında 250 d/d aralıkla yapılmıştır. Motor torku ve gücünde her iki yakıtta da benzer eğriler elde edilmiştir. E85 motor torkunda yaklaşık %2,5 artış gōsterirken, FTP'nin şehir

ve otoban testlerinde yakıt ekonomisinin yaklaşık %30 azalmasına neden olmuştur[10].

Kavalcı , çalışmasında bazı bitkisel kökenli yakıtların [ayçiçek,soya, susam, kolza, yer fıstığı, keten, pamuk, mısır, ethanol ve methanol yakıtlar] dizel motorlarda kullanılma imkanlarını incelemiştir. Methanol ve ethanol yakıtlar hakkında bilgiler vermiştir. Bitkisel yağların üst ısıl değer, yoğunluk ve viskozite bakımından birbirlerine yakın değerlere sahip olduğunu ve setan sayısı bakımından da dizel yakıtına yakın olduğunu bildirmiştir [11].



## **2. KONUNUN TEORİK İNCELENMESİ**

### **2.1 Alternatif Yakıtlar**

Enerji alanında kullanılan petrol türevi yakıtların yakın gelecekte ihtiyaca cevap veremeyecek şekilde azalması birçok sıkıntıları da beraberinde getirecektir. Bunun farkına varan ülkeler enerji politikalarını bu yönde hazırlayarak yeni enerji kaynaklarının üretimine yönelik çalışmalarına hız vermişlerdir. Aynı zamanda tüketilen enerji kaynaklarından çevreye zarar verenlerinde kullanımının azaltılması yönünde çalışmalarda devam etmektedir. Aşağıda alternatif enerji kaynaklarına ve kısaca özelliklerine yer verilmiştir.

#### **2.1.1 Kömürün Sıvılaştırılması**

Temel malzemeler,birincil olarak kömür ve koktur. Bunlar ilk önce su buharına çevrilirler ( $H_2+CO$ ) ve ardından katalitik olarak HC oluşturacak şekilde dönüştürülürler. Bu hidrokarbonlar sonra yan ürün olarak sıvılaştırılmış gaz ve parafin ile benzin ve dizel yakıtı oluştururlar. Fischer-Tropsch sentez işlemi, bu işlem baz alınarak geniş çaplı endüstriyel tesislerin kurulduğu Güney Afrika da daha da önemli hale gelmektedir [12].

#### **2.1.2 Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)**

LPG, propan ve bütan gazlarının karışımından oluşmuştur ve bazı motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Ham yağdan elde edilebilecekleri gibi rafine işlemleri ile de elde edilebilirler. Yaklaşık olarak 20 bar'ın altında sıvılaştırılabilirler. LPG yüksek oktan sayısına sahiptir (RON >100) [12].

### 2.1.3 Alkoller

Birincil olarak metanol, etanol ve bu iki alkolden türetilmiş olan ürünler (eter gibi), takip altındadır ve buji ateşlemeli motorlar için alternatif yakıtlardır. Metanol, kömür, doğal gaz ve ağır yağ gibi atık karbonlu ham malzemelerden üretilebilirler. Bazı ülkelerde (Brezilya gibi) etanol biyokütleden elde edilmektedir ve yakıt olarak kullanılmaktadır [12].

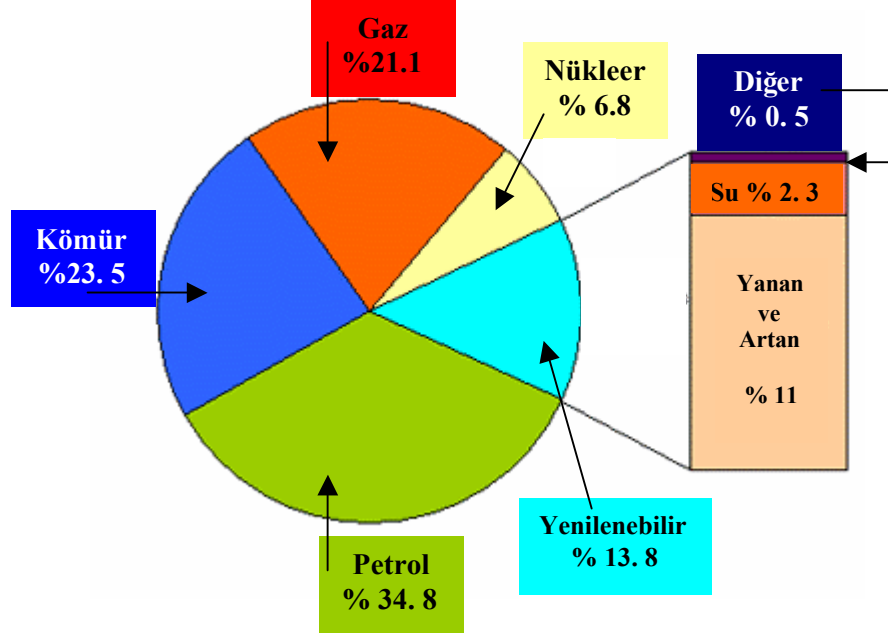
Hacimlerinin yüzde bir kaçında metanol içeren hibrit yakıtların kullanımı yaygındır ve yüksek miktarda metanol içeren (%15 ~ 35) yakıtlar geniş ölçekli deneylerle test edilmiştir. Bu saf alkol gibi hibrit yakıtların kullanılmasının kendine özgü problemleri bulunmaktadır ve halen çözülememiştir. Nem davranışı, malzeme uygunluğu, ısı değer ve diğer karakteristikler, geleneksel yakıtlardan farklılık göstermektedir ve taşıtlarda belirli modifiye ve uyum işlemleri gerektirmektedir [12].

### 2.1.4 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Yönelme

Son zamanlarda tüm dünyada özellikle medya, hükümet karar organları, enerji endüstrisi ve çevre kuruluşlarınca yenilenebilir enerji oldukça ilgi çekmeye başlamıştır. Ancak, bütün girişimlere rağmen, hala yenilenebilir enerji kaynakları enerji pazarlarında yüksek engellerle karşı karşıya bulunmaktadır. Bunun bir çok sebepleri vardır, en önemlisi fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik olarak zayıf algılanmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum daha çok geleneksel fiyat yapılandırmasına da bağlıdır. Çünkü, bu fiyat yapılandırmasında sosyal ve çevresel maliyetler, provizyon ve kullanım maliyetleri bulunmamaktadır. Üstelik, küçük boyutlu yenilenebilir bir kaynağın kurulmasında bile kurumsal ve mali pek çok engeller vardır [13].

EA (Enerji Ajansı) tarafından 2002 Kasım ayında yayınlanan son raporunda belirtilen dünya enerji kullanımını dağılımı Şekil 2.1' de görülmektedir. Küresel olarak toplam temel enerji kullanımında yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %13.8 dir. Bu, ticari ve ticari olmayan enerjileri ve tüm büyük yenilenebilir enerji kaynaklarını da kapsamaktadır. Yanabilir ve yenilenebilir atıklar dahil bu

toplamın payı yaklaşık % 80, hidro enerjinin payı %16.5 ve tüm yeni yenilenebilir kaynaklar; jeotermal, solar, met-cezir, dalga, rüzgar ve diğerleri %0.5'dir [13].



Şeki1 2.1 Dünyada Temel Enerji Kaynaklarının Kullanım Dağılımı (2000)  
(Kaynak IEA) [13]

#### 2.1.4.1 Hidro (Su)

Hidro gücün, ekonomik olarak işletilebilir potansiyelinin halen 1/3' ü kullanılarak dünya elektrik üretiminin %17'si karşılanmaktadır. Hidro projeler, sera gazları, SO<sub>2</sub> ve partikül emisyonlarının olmaması avantajına sahiptir. Barajların, arazi kullanımında yarattığı değişiklikler, insanların topraklarını boşaltması, flora ve fauna üzerine etkiler, dibe çökme ile baraj alanının dolması ve su kullanım kalitesi üzerinde etkileri vardır. Sosyal etkileri, erken planlama aşamasında alınacak uygun tedbirlerle azaltılabilir. Daha küçük hidroların daha büyüklere göre avantajları olduğu gibi düşünceler var olmasına rağmen, genellikle hidro gücün en gelişmiş ve iyi kurulmuş teknolojisi olduğu gerçeği kabul edilir [13].

#### **2.1.4.2 Odun**

Odun yakıtlarının, miktar konusunda kaçınılmaz bazı güçlükleri olmasına rağmen toplam temel enerjinin yaklaşık %6'sını karşıladığı tahmin edilmektedir. Odun yakıtlarının payı, hidro ve diğer yenilenebilir kaynaklarından daha büyük fakat, nükleer kaynaklarından daha küçüktür. Odun yakıtlarının yeniden değerlendirilmesi, önemli bir miktarın orman dışı kaynaklardan geldiğini göstermiştir. Odun yakıtları geliştirmekte olan ülkelerin kırsal kesimlerinde geleneksel biçimde kullanılmaya devam etmekte, kadın ve çocukların üstünde bir yük olarak, eksik ve yetersiz yakma sebebiyle de sağlığa zararlı olmaktadır. Geliştirmekte olan ülkelerin gelir seviyeleri ve şehirleşme durumu arttıkça onların tüm enerji kullanımlarında odun yakıtlarının payının azaldığı görülmektedir. Küresel ısınmanın hafifletilmesi gibi çevresel politikalar ve enerji değişimleri, gelişmiş ülkelerde modern biyokütle olarak odun yakıtları kullanımında bir artışı göstermektedir. IPCC tarafından Emisyon Senaryoları konusunda üretilen özel bir raporda, biyokütlenin uzun süreli maksimum teknik enerji potansiyelinin (2600 EJ kadar) olduğu belirtilmiştir. Bu potansiyel gıda üretimi için, tarımsal talepleri yarıştırarak biyokütle üretimindeki düşük verimliliği ve diğer faktörleri zorlamaktadır [14].

#### **2.1.4.3 Biyokütle**

Biyokütle (odun dışındakilere) büyüyen bir ilgi olmasına rağmen, enerji pazarlama reformları, çevresel ilgiler ve teknolojik gelişmeler sonucunda biyoenerjinin geleneksel kullanımıyla birlikte, sağlık tehlikeleri ve düşük verimlilikteki yakıtlarıyla ilgili büyük iddialar vardır. Atıkların enerji potansiyelinin değerlendirilmesinde çok sayıda güçlüklerin bulunması yüzünden odaklanmanın yanında şeker kamışı ve meyve atıkları, ormancılıktaki yaprak atıkları ve kümes hayvanlarının gübre atıkları gibi en başarılı formlar üzerinde olması kararlaştırılmıştır. Biyokütlenin, fosil yakıtların yerine doğrudan konulabileceği, ağaçların karbon tüketmesinden biyokütlenin atmosferdeki karbondioksit tüketilmesinde daha etkili olduğu tartışılmaktadır. Kyoto Protokolü biyokütle enerjisinin daha ileri boyutlarda kullanılmasını desteklemektedir [14].

#### **2.1.4.4 Güneş**

Güneş ve diğer yenilenebilir kaynaklarının 2050 yılına kadar toplam temel enerji kaynaklarına katkılarının %50' ye kadar yükseltilmesi düşünülmektedir.Yıllardan beri modern solar enerjinin gelişimindeki ilerlemeye rağmen, teknoloji hala daha yüksek bir profilde, bilim adamları, mühendisler, çevreciler, girişimciler, mali uzmanlar, yayımlayıcılar, mimarlar, politikacılar ve sivil çalışanlardan daha fazla katılıma gerek duymaktadır [14].

#### **2.1.4.5 Jeotermal**

Jeotermal santral kapasitesi ve kullanımı, güç üretimi ve doğrudan ısı kaynağı olarak artmaktadır. Güç üretimindeki büyüme adımı eskiye göre yavaş olmasına rağmen, direkt ısı kullanımları ivme kazanmıştır. Jeotermal (yer kaynaklı) ısı pompalarının sayısındaki büyük artış, direkt ısı uygulamalarındaki artışa katkıda bulunmuştur. Kısa ve orta vadede jeotermal enerjiye bakış cesaretlendirilmesine rağmen, uzun vadeli beklenti, kaya ısısının teknolojik ve ekonomik varlığına bağlı olacaktır [14].

#### **2.1.4.6 Rüzgar**

Rüzgar türbinlerinin boyutları ve sayıları kararlı bir şekilde büyümüş ve halen mevcut kapasite off-shore türbinlerinde 5 MW' a kadar çıkmıştır. Hükümetler tarafından sağlanan destek, açıkça örneklerin teknolojik gelişimini etkilemektedir: Örneğin, USA ve UK' daki rüzgar çiftlikleri, Danimarka ve Almanya'daki tek türbinler (ikili veya üçlü gruplar). Rüzgar enerjisinin yakın çevresine verdiği gürültü, TV ve radyo yayınlarıyla etkileşimi, kuşlara yarattığı tehlike ve görsel etkileri, bilinen çevresel etkileridir. Buna rağmen, duyarlı bir yerleşim bu sorunları çözebilir. Çok sayıdaki işletim çalışmaları rüzgarın payı maksimum talebin %20' sine erişinceye kadar, bir entegre güç şebekesi içinde kolayca kullanıldığını göstermiştir [14].

## 2.2 Enerji Bitkileri

Doğal ve yapay yakıt elde etmek için, önemli miktarda hammadde kaynağı olan ve belirli dönemlerde hızlı büyüyen bitkilerin, alternatif enerji kaynaklarının üretimine “Enerji Tarımı” denir [15].

Alternatif enerji kaynaklarından faydalanma üzerine yapılan çalışmalarda biyokütleden iki türlü faydalanılmaktadır. Bunları; a) Endüstriyel amaç ve b) Enerji olarak ikiye ayırmak mümkündür. Endüstriyel amaç ile enerji bitkilerinin tarımından elde edilen ürünler şunlardır;

1. Nişasta
2. Şeker Maddesi
3. Lif
4. Besin Özü
5. Renk ve Tanen Maddesi
6. Farmakoloji
7. Sıvı ve Katı Yağ

Enerji alanında biyokütleden faydalanma alanları ise şu şekildedir;

1. Etanol
2. Isı Enerjisi
3. Elektrik
4. Biyogaz
5. Hidrojen

Bu amaçla günümüzde tarımı yapılan veya üretim programlarına alınan enerji bitkilerinin bazılarını şu şekilde vermemiz mümkündür;

### Kültür Bitkileri

- Yulaf (*Avena sativa*)
- Kolza (*Brassica napus*)
- Ayçiçeği (*Helianthus annuus*)
- Yerelması (*Helianthus tuberosus*)
- Arpa (*Hordeum vulgare*)
- Lif keteni (*Linum usitatissimum*)
- İngiliz çayırotu (*Lolium perenne*)
- Çavdar (*Secale cereale*)
- Şeker darı / Lif darı (*Sorghum bicolor*)
- Buğday (*Triticum spelta*)
- Kavuzlu buğday (*Triticum spelta*)
- Mısır (*Zea mays*) vb.

### Geleneksel Olmayan Bitkiler

- Kargı kamışı (*Arundo donax*)
- Yulaf, yaprağını dökmeyen (*Avena sempervirens*)
- Geniş yapraklı çan çiçeği (*Campanula lactiflora*)
- Sarkık ayakotu (*Carex pendula*)
- İri başlı peygamber çiçeği (*Centaurea macrocephala*)
- Peru çeltiği, küçük pirinç (*Chenopodium quinoa*)
- Peygamber dikenini (*Cirsium arvense*)
- Yabani enginar (*Cynara cardunculus*)
- Çok yıllık ayçiçeği (*Helianthus giganteus*)
- Kenaf (*Hibiscus cannabinus*)
- Saz kamışı (*Phragmites australis*)
- Hint kamışı çeşitleri (*Phyllostachys*)
- Çoban değneği (*Polygonum cuspidatum*)
- Çayır ebegömecei-hibridleri (*Sidalcea-Hybriden*)
- Pergel otu (*Silphium perfoliatum*)

- Kaynana otu (*Spartina pectinata*)
- Sedef otu (*Thalictrum aquilegiifolium*)
- Deve dili, sığır kuyruğu (*Verbascum bombyciferum*)

#### Hızlı Büyüyen Odunsu Bitkiler

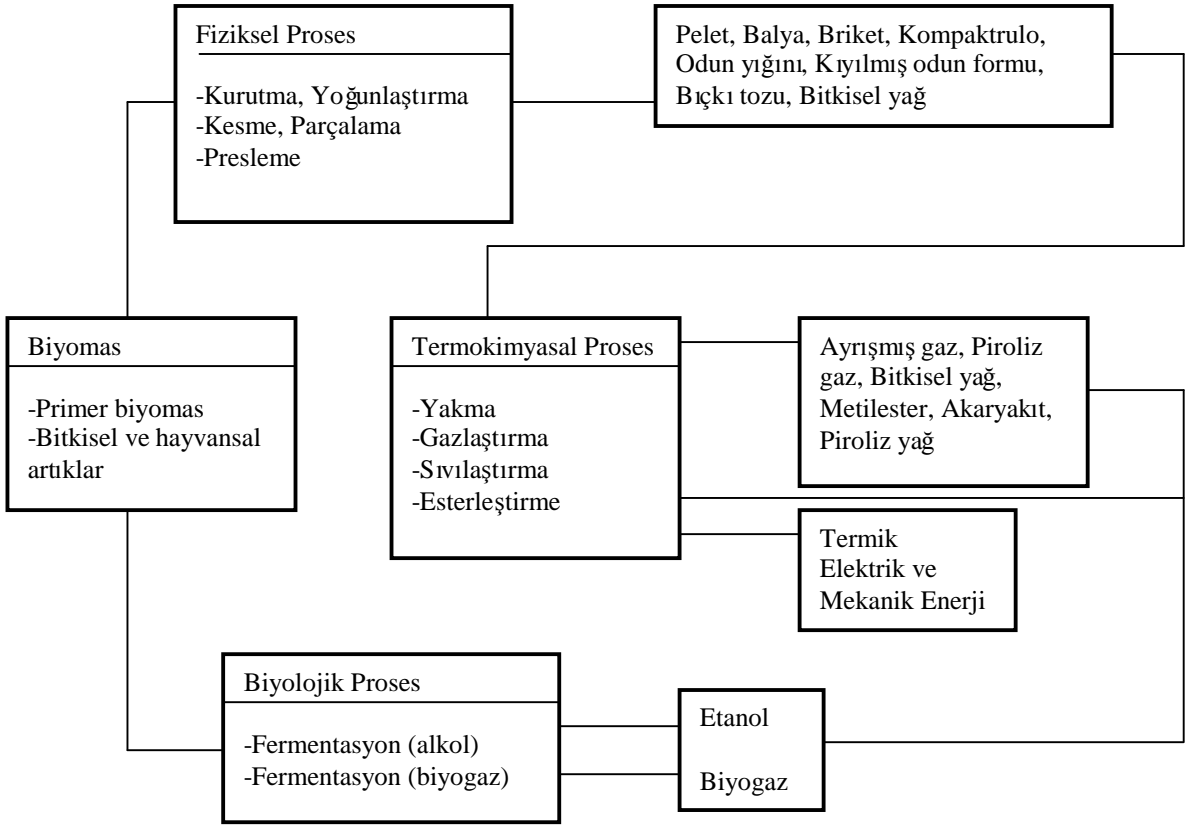
- Kavak çeşitleri (*Populus*)
- Söğüt çeşitleri (*Salix*)

#### *Miscanthus x giganteus* Formları (C<sub>4</sub>)

- *Miscanthus sinensis* “China”
- *Miscanthus sinensis* “Cornet”
- *Miscanthus sinensis* “Flammenmeer”
- *Miscanthus x giganteus*
- *Miscanthus sinensis* “Giraffe”
- *Miscanthus sinensis* “Goliath”
- *Miscanthus sinensis* “Gracillimus”
- *Miscanthus sinensis* “Grosse Fontane”
- *Miscanthus sinensis* “Kaskade”
- *Miscanthus sinensis* “Malepartus”
- *Miscanthus sinensis* “Morninglight”
- *Miscanthus sinensis* “Neue Hybriden”
- *Miscanthus sinensis* “Spatgrün”
- *Miscanthus sinensis* “Undine”
- *Miscanthus sinensis* “Wetterfahne”

Biyokütle hammaddelerin üretilerek enerjisinden faydalanmada değişik yolların aranması ve bulunmasında birçok prosese başvurulmaktadır. Bunlar fiziksel, termokimyasal ve biyolojik proseslerdir (Şekil 2.2) [15].



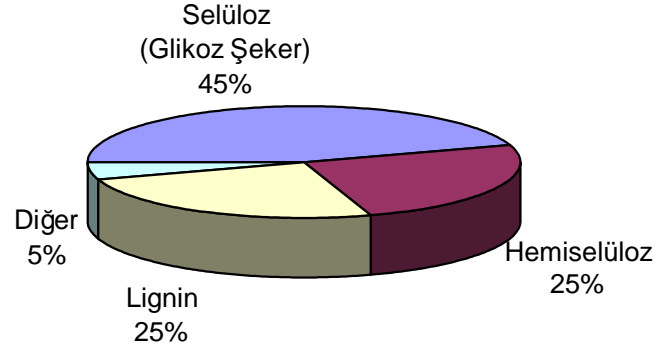


Şekil 2.2 Alternatif Enerji Kaynaklarının Kullanımında Dönüştürme Prosesleri [15]

### 2.3 Biyokütle Bilgisi

Biyokütleyle örnek olarak, ağaçlar, mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkiler, otlar, yosunlar, evlerden atılan meyve ve sebze artığı gibi tüm organik çöpleri, hayvan dışkıları, gübre ve sanayi atıklarını saymak olanaklıdır. Biyokütle, tükenmez bir kaynak olması her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir [16].

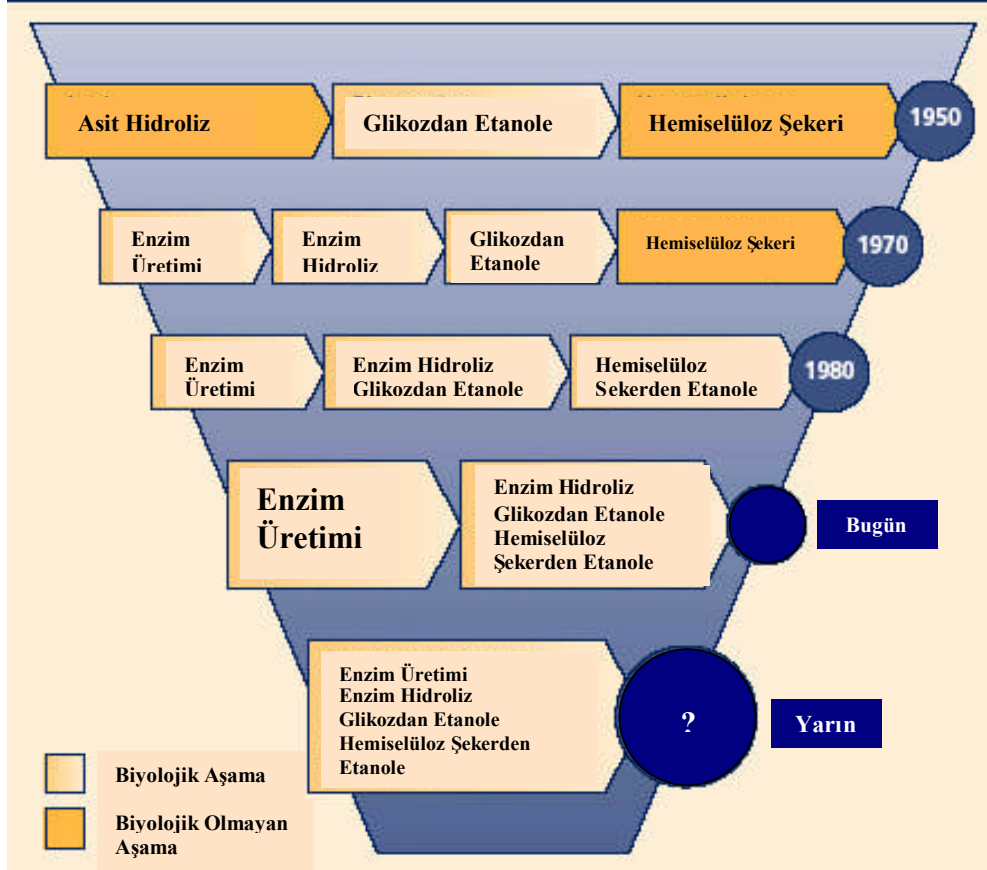
Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, genelde güneş enerjisinin fotosentez yardımıyla depolandığı bitkisel organizmalar olarak adlandırılır. Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak da tanımlanabilir. Ölçü birimi ise, belirli bir alana oranlanmış yaş ya da kuru kütledir. Organik karbon olarak da kabul etmek olanaklıdır [16].



Şekil 2.3 Biyokütle Oluşumunun Yüzdeleri Dağılımı [17]

Selülozik biyokütle oranları Şekil 2.3’de verilen; selüloz, hemiselüloz, lignin ve yan ürünleri kapsayan bir karışımdır. Biyokütleden etanol üretimi, selüloz ve hemiselüloz parçalarının parçalanması sonucu ortaya çıkan sade şeker ve şekerlerin fermentasyonu ile gerçekleşir [17].

Etanol üretimi 1950’li yıllarda başlamıştır. Üretimde kullanılan ilk yöntem asit hidroliz yöntemi olmuştur. Sonraki yıllarda bu teknolojinin yerini enzim üretimi yöntemi almıştır. Tarihsel gelişim durumu Şekil 2.4’de verilmiştir [18].



Şekil 2.4 Etanol Üretim Yöntemlerinin Tarihsel Gelişimi [18]

Dünyanın çoğalan nüfusu ve sanayileşmesi ile giderek artan enerji gereksinimi çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklardan belki de en önemlisi biyokütle enerjisidir. Ayrıca, biyokütle içinde, fosil yakıtlarda bulunan kanserojen madde ve kükürt olmadığı için, çevreye zararı son derece azdır. Bütün bunların ötesinde, bitki yetiştirilmesi, güneş var olduğu süre süreceği için, biyokütle tükenmez bir enerji kaynağıdır. Biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanımındaki olumlu ve olumsuz yönleri aşağıdaki gibi özetlenebilir [16, 18].

#### Enerji Bitki Tarlası Olumlu Yönler

- ❖ Hemen her yerde yetiştirilebilmesi
- ❖ Üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi
- ❖ Her ölçekte enerji verimi için uygun olması

- ❖ Düşük ışık şiddetlerinin yeterli olması
- ❖ Depolanabilir olması -350 °C arasında sıcaklık gerektirmesi
- ❖ Sosyo-ekonomik gelişmelerde önemli olması
- ❖ Çevre kirliliği oluşturmaması
- ❖ Sera etkisi oluşturmaması
- ❖ Asit yağmurlarına yol açmaması

#### Olumsuz Yönler

- ❖ Düşük çevrim verimine sahip olması
- ❖ Tarım alanları için rekabet oluşturması
- ❖ Su içeriğinin fazla olması

## 2.4 Biyokütle Üretimi

Biyokütle kaynaklarından kullanılan çevrim teknikleri sayesinde elde edilen yakıtlar ile uygulama alanları Çizelge 2.1' de özetlenmiştir [19].

Çizelge 2.1 Biyokütle Çevrim Teknikleri ve Kullanım Yerleri [19]

<b>BİYOKÜTLE</b>	<b>ÇEVİRİM YÖNTEMİ</b>	<b>YAKITLAR</b>	<b>UYGULAMA ALANLARI</b>
Orman Artıkları	Havasız Çürütme	Biyogaz	Elektrik Üretimi
Tarım Atıkları	Piroliz	Etanol	Isınma
Enerji Bitkileri	Doğrudan Yakma	Hidrojen	Su Isıtma
Hayvansal Atıklar	Fermantasyon	Metan	Otomobiller
Çöpler (Organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
Algler	Hidroliz	Sentetik Yağ	Roketler
Enerji Ormanları	Biyofotoliz	Dizel	Ürün Kurutma

### **2.4.1 Doğrudan Yakma**

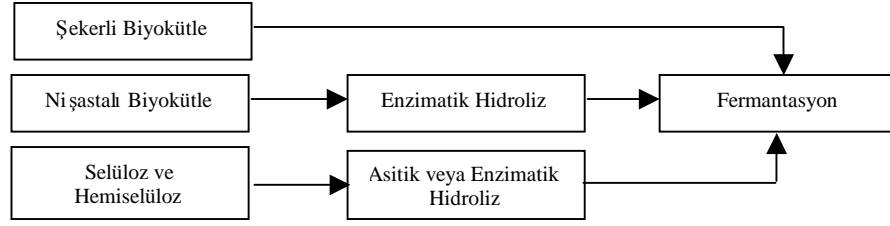
Biyokütlenin doğrudan yakılarak enerji üretilmesi, bilinen en eski yöntem olmasına karşın, son yıllarda verimi yükseltmek için yeni yakma sistemleri geliştirilmektedir. Özellikle biyokütle ile çalışan termik santral yapımında akışkan yataklı sistemler alışlagelmiş yakma sistemlerinin yerlerini almaktadır. Hemen her türlü biyokütle kaynağını doğrudan yakmak olanaklıdır. Ancak, nem oranı yükseldikçe elde edilen ısı değer azdır [19].

### **2.4.2 Havasız Çürütme**

Havasız çürütme biyolojik bir işlem olup, oksijensiz ortamda yaşayabilen mikroorganizmalar tarafından yapılır ve “organik madde + bakteri + su = metan + karbondioksit + hidrojen sülfür + kararlı gübre + bakteri” olarak ifade edilir. Bu işlem ancak tümüyle oksijensiz bir ortamda gerçekleşebilir. Böyle bir ortamda işlemi yürüten iki tip bakteriden mezofilik bakteriler 35 °C, termofilik olanlar ise 54°C dolayında bir sıcaklıkta üretim yaparlar. Termofilik bakteriler, mezofilik olanlara oranla daha yüksek hızda metan üretirler. Ancak sıcaklık değişimlerinden daha fazla etkilenirler [19].

### **2.4.3 Fermantasyon**

Biyokütle de, bilindiği üzere değişik oranlarda, hemiselüloz ve lignin bulunmaktadır. Selüloz enzimatik hidrolizin arkasından uygulanan, kimyasal hidroliz, enzimler veya kimyasal işlemler ile glikozla parçalanabilir. Kimyasal hidroliz şartları bazen glikozu bozabildiği için, bu işlem son derece dikkatle yapılması gerekmektedir. Glikozun fermantasyonu ile etanol, aseton, bütanol ve ham petrol ürünlerinden elde edilen ürünlere eş değer bir çok kimyasal ürün elde edilebilir. Bu kimyasal ürünler, petrolden çıkarılan kimyasal ürünler yerine kullanılabilir. Diğer bir deyişle, selüloz, glikoz ve diğer birçok ürün için ucuz bir biyokütle kaynağıdır. Şekil 2.5’ de fermantasyon olayının akış şeması görülmektedir[19].



Şekil 2.5 Çeşitli Özellikte Biyokütleden Fermantasyon İşlemleri [19]

#### 2.4.4 Piroliz

Piroliz, biyokütleden gaz elde etmek için kullanılan en eski ve basit bir yöntem olup, oksijensiz ortamda odunun 900 °C' ye kadar ısıtılması ile oluşan kimyasal ve fiziksel olaylar dizisi olarak tanımlanır. Piroliz sonucu, gazlar, katran, organik bileşikler, su ve odun kömürü gibi maddeler elde edilir. Isıl değerleri yüksek metan ve hidrojen, elde edilen gazlar arasında yer alırken, oluşan organik maddelerle petrolden çıkarılanlara benzer olarak petro-kimyasal adı verilir. Biyokütleyi çeşitli yakıtlara çevirmek için kullanılan en iyi yöntemlerden biridir [19].

#### 2.4.5 Gazlaştırma

Gazlaştırma, karbon içeren biyokütle gibi katuların yüksek sıcaklıkta bozunması ile yanabilir gaz elde etme işlemidir. Bu işlem sırasında denetimli bir şekilde yakıt hücresine verilen hava ile biyokütle yakılır ve çıkan ürünler arasında hidrojen, metan gibi yanabilir. Gazların yanı sıra karbon monoksit, karbondioksit ve azot gibi gazlar da bulunur [19].

#### 2.4.6 Biyofotoliz

Biyofotoliz, bazı mikroskobik alglerden güneş enerjisi yardımıyla hidrojen ve oksijen elde edilme işlemidir. Deniz suyu içindeki bu algler bir tür güneş pili gibi çalışarak deniz suyunu fotosentetik olarak ayrıştırmaktadır. Önümüzdeki yirmi yıl içinde hidrojen enerjisi teknolojisini kullanmayı planlayan Japonya' da bu konu üzerinde yoğun araştırma yapılmaktadır [19].

## **2.5 Biyokütle Kaynakları**

Enerji üretiminde kullanılacak biyokütle kaynaklarını; bitkisel kaynaklar, hayvansal atıklar, şehir ve endüstri atıkları şeklinde sınıflandırabiliriz [20].

### **2.5.1 Bitkisel Kaynaklar**

Bitkisel kaynaklar olarak; orman ürünlerini, 5-10 yıl arasında büyüyen ağaç türlerini içeren enerji ormanlarını, bazı su otlarını, algleri ve enerji (C4) bitkilerini sayabiliriz. Enerji bitkileri olan tatlı sorghum, şeker kamışı, mısır gibi bitkiler; diğer bitkilere göre CO<sub>2</sub> ve suyu daha iyi kullanmakta, kuraklığa karşı daha dayanıklı olmakta ve fotosentetik verimleri daha yüksek bulunmaktadır. Bu bitkilerden alkol ve değişik yakıtlar üretilmektedir. Türkiye’de; bitki artıkları, fındık ve ceviz kabuğu, prina, ayçiçeği kabuğu, çığıt ve mısır gibi artıklar enerji amacıyla değerlendirilmektedir. Kuru biyokütlenin ısı değeri 3800-4300 kcal/kg arasında değişmektedir. Biyokütleden yakma yolu ile enerji elde edilmesinde yanma verimi orta kaliteli bir kömüre eşittir. Biyokütlenin çoğu kömürden daha az miktarda kül ve kükürt içermektedir. Biyokütlenin enerji üretimi amacıyla geniş oranda kullanımını engelleyen bazı problemler vardır. Bunlar; biyokütle kaynağının yoğunluğu nedeni ile nakliye ve depolama maliyeti ve bu mahsullerin hektar başına verimliliğinin düşük olmasıdır [20].

### **2.5.2 Hayvansal Atıklar**

Hayvansal gübrenin samanla karıştırılıp kurutulması suretiyle elde edilen tezeğin köylerde yakıt olarak kullanımını oldukça yaygındır. Hayvansal gübrenin oksijensiz ortamda fermantasyonu ile üretilen biyogazın dünyada kullanımını da oldukça yaygındır. Herhangi bir atıktan metan meydana gelişi, bakteriler tarafından iki kademe gerçekleştirilir. Önce kompleks organikler, asit bakterileri tarafından uçucu yağlı asitlere dönüştürülür. Sonra üreyen asitler metan bakterileri tarafından metan haline getirilir. Elde edilen gaz % 55-70 metan, %30-45 karbondioksit, az miktarda hidrojen sülfür ve su bileşimine sahiptir [20].

### **2.5.3 Şehir ve Endüstri Atıkları**

Çöp depolanan yerlerinde ve evsel atık su arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları eğer önceden stabilize edilmemiş ve biyokimyasal aktiviteleri durdurulmamışsa aerobik organizmalar tarafından ayrıştırılarak metan gazına dönüştürülecektir. Metan gazı aynı zamanda sera etkisinin oluşmasında en az karbondioksit ve su buharı kadar etkili olduğundan oluşumu kontrol altına alınarak değerlendirme yoluna gidilmiştir. Bu amaçla çöp toplanan alanında oluşan gazları toplayacak şekilde sondaj boruları belirli bir düzene göre yerleştirilerek oluşan gazlar toplanmaktadır. Çıkan gazlar arıtılarak gaz jeneratörüne gönderilmekte ve gaz jeneratöründe elektrik elde edilmektedir [20].

## **2.6 Dünyada ve Türkiye' de Biyokütle Kullanımı**

### **2.6.1 Dünyada Biyokütle Kullanımı**

Son yıllarda hızlı sanayileşme, nüfus artışı, kentleşme ve yaşam düzeyinin yükselmesi gibi etkenler yalnız Türkiye'de değil, Dünyada da enerji tüketimini artırmış, bu da fosil enerji kaynaklarının hızla tükenmesine ve dolayısıyla çevre kirliliğine yol açmıştır. Bütün bunların sonucu olarak, gerek bu enerji açığını karşılamak gerekse çevre kirliliğini azaltmak için dünyada biyokütle çalışmalarına büyük hız verilmiştir [16,20].

Orta verimdeki bir arazi parçası üzerinde yapılan hesaplara göre 1 hektar tarladan yılda ortalama 80-100 ton yağı veya 25-30 ton biyokütle elde edilmektedir. Böyle bir bölge için yıllık ortalama yağış tutarı 250 mm<sup>3</sup> dolayındadır. İklim koşulları açısından daha uygun olan yarı tropik bölgelerde ise verimin hektar başına 40 ton biyokütle düzeyine çıkabileceği kesindir. Biyokütleden elde edilen enerjinin birim maliyeti diğer yakıtlarla yarışabilecek durumdadır. Brezilya biyokütlenin geniş çapta, özellikle taşıtlarda kullanılması yönünden dünyada ki en iyi örneklerden biridir. Bu ülkede yaklaşık 5 milyon taşıt, 1989'dan beri yakıt olarak benzin yerine şeker kamışı veya benzeri ürünlerden elde edilen saf biyoetanolü, yine birçok araç da benzin/etanol karışımını kullanmaktadır. Bunun sonucu olarak ülkede bu biyokütle yakıtları ile doğrudan ilgili olarak 700.000, dolaylı olarak da 1.5-2 milyon yeni iş yaratılmaktadır. 1976 ile 1987 yılları arasında petrol ithalatı yerine yerli üretim



etanol kullanılmasından dolayı tasarruf edilen miktar 12.48 milyar dolar düzeyindedir. Ülke ekonomisine büyük katkı yapan bu program için yatırım ise sadece 6.97 milyar dolar olup, üretim maliyeti, 1979'dan beri hâlâ her yıl yaklaşık % 4 dolayında düşmektedir. Yetiştirilen biyokütleden şeker elde ettikten sonra geri kalan posa kısmının yakıt olarak daha ekonomik kullanımı ile bu maliyetin daha da düşeceği sanılmaktadır [16,20].

İsveçliler dört yıldır, benzin yerine alkol doldurmakta benzin depolarına ve benzin yerine alkolle çalışan otomobillerin sayısı İsveç'te giderek artmaktadır; öyle ki, birkaç yıl içinde yaklaşık her altı otomobilden birinin alkolle çalışacağı tahmin edilmektedir. Almanya'da İsveç'i örnek almıştır. Otomobil üreticisi Ford, Almanya'nın ilk alkolle çalışan otomobilini üretmek üzere çalışmalara başlamıştır[21].

"*Flexibel-Fuel*" teknolojisine sahip araçlar, alkolle, yani biyolojik etanolle çalışmaktadır. Çevreye zarar vermemektedir. Biyolojik etanol, tahıl, şeker kamışı ve ağaç atıklarından elde ediliyor [21].

Bitkisel ürünlerden ve diğer tür organik malzemeden elde edilen yakıtlar-biyoyakıtlar-taşımacılık sektörü açısından çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bu tür yakıtlar, taşımacılığın neden olduğu karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonunun artmasının önüne geçmesi bakımından, Avrupa Birliği'nin Kyoto Protokolü çerçevesindeki taahhütlerinin karşılanmasına katkıda bulunmaktadır. Biyoyakıtlar, % 98 oranında petrole bağımlı olan taşımacılık sektörünün bu bağımlılığını azaltmanın yanında, yakıt kaynaklarının çoğaltılması ve geliştirilmesine de yardımcı olabilirler. Bunun yanında, AB'nin kırsal bölgeleri için alternatif gelir kaynakları da sağlayabilirler [22].

2003 yılında yayınlanan biyoyakıtlar direktifi, taşımacılık sektöründe, özellikle de karayolu taşımacılığında bu tür yakıtların kullanılmasının büyük oranda artırılmasını hedeflemektedir. 2010 yılından itibaren AB çapında taşımacılıkta kullanılan bütün fosil içerikli yakıtların (petrol ve dizel) % 5,75'inin yerine biyoyakıtlar kullanılmasının sağlanması amacıyla, tüm AB ülkelerinde ulusal önlemler alınmalıdır. Bu görevin ne denli önemli olduğunu belirtmek gerekirse,

2002 yılında AB'deki karayolu taşımacılığında tüketilen enerjinin sadece % 0,45'i biyoyakıtlardan oluştuğunu ifade etmek yeterli olacaktır. Ancak, mevcut düzeyler düşük olmasına rağmen biyoyakıtların üretimi hızla artmaktadır. Bu oran 1999'da sadece % 0,25 iken, üretim kapasitesini baz alan tahminler bu oranın 2004 yılında % 1'e ulaşacağını göstermektedir. Eğer böylesi büyüme oranları elde ediniyorsa, tüm AB çapında 2010 yılı için alınan hedefe ulaşılmış olunacaktır. Çizelge 2.2' de Avrupa' da 2002 yılında taşımacılıkta kullanılan biyodizel ve biyoetanol üretimi verilmektedir [22].

Çizelge 2.2 Avrupa' da 2002 Yılı Taşımacılıkta Kullanılan Biyoyakıt Üretimi (1000 tonluk petrole eşit gelen değerler) [22]

Ülke / Yakıt	Biyodizel	Biyoetanol	<b>Toplam</b>
Almanya	401	-	<b>401</b>
Fransa	326	57	<b>383</b>
İtalya	187	-	<b>187</b>
İspanya	-	110	<b>110</b>
İsveç	1	31	<b>32</b>
Avusturya	22	-	<b>22</b>
Danimarka	9	-	<b>9</b>
İngiltere	3	-	<b>3</b>
<b>TOPLAM</b>	<b>949</b>	<b>198</b>	<b>1147</b>

### 2.6.2 Türkiye'de Biyokütle Kullanımı

Türkiye'de klasik biyokütle, yani odun ve tezek, enerji üretiminde önemli bir orana sahiptir. 1995 yılı verilerine göre odun yaklaşık % 30 ve tezek % 10 oranında enerji üretimi içinde pay almaktadır. Ancak, son yıllarda azalan ormanlar ve hayvancılıkta görülen gerileme ile doğal gaz, kömür gibi ithal ürünlerin artması bu oranları azaltmaktadır. Modern biyokütle enerjisi kullanımına geçilmesi ülke ekonomisi ve çevre kirliliği açısından önem taşımaktadır. Birçok ülke bugün kendi ekolojik koşullarına göre en uygun ve en ekonomik tarımsal ürünlerden alternatif enerji kaynağı sağlamaktadırlar. Türkiye de bu potansiyele, ekolojik yapıya sahip ülkeler arasındadır [16,22].

## 2.7 Biyoyakıtın Ekonomideki Yeri :

Türkiye, AB direktifleri doğrultusunda ülke gündemine gelen biyoyakıt üretimi konusunda, şaşırtacak hızda yol almaktadır. Türkiye' de biyodizel üretimi 450 bin tona ulaşırken, bazı dağıtım şirketleri de "çevreci, yurtsever benzin" sloganıyla kurşunsuz biyobenzin satmaya başlamıştır [23].

Bu arada Türkiye' de firmaların "tarım ürünlerinden elde edilen etanol ile harmanlanmış" biyobenzin satışına başlaması yanında, yirmibeşten fazla firmanın biyodizel üretimine geçtiği, 35-40 firmanın da üretime geçmek için yatırım aşamasında olduğu belirtilmektedir [23].

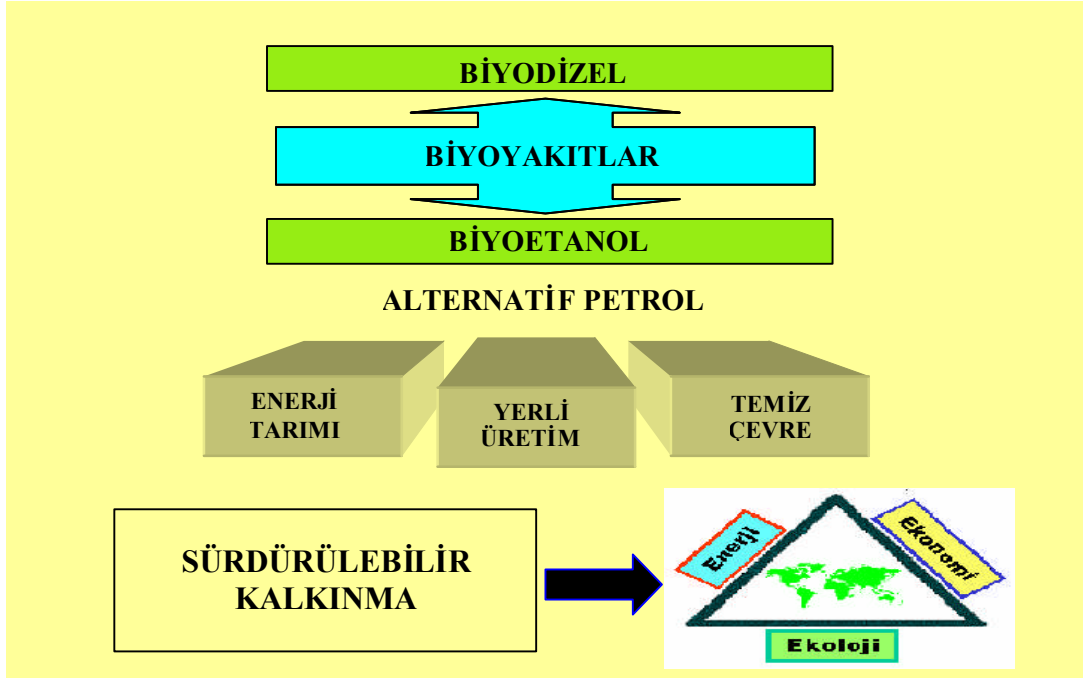
Sektörlere göre, biyodizel ile biyobenzin, kimyasal olarak da farklıdır. Biyobenzin üretimi için daha yüksek yatırım gerekmektedir. Biyobenzin; arpa, buğday, mısır, şekerpancarının fermantasyonu ile elde edilen biyoetanolden üretilmekte ve yatırım maliyeti 40-50 milyon dolar civarındadır [23].

Biyobenzin de biyodizel de benzine ya da motorine katılmadan doğrudan araçlarda kullanılabilir. Ama üretim yetersiz olduğu için, AB'de şimdilik % 2 oranında katılmaktadır. Yıllar itibariyle katkı oranı artırılacak ve 2010' da % 5.75, 2012' de %18'e yükseltilmesi hedeflenmektedir [23].

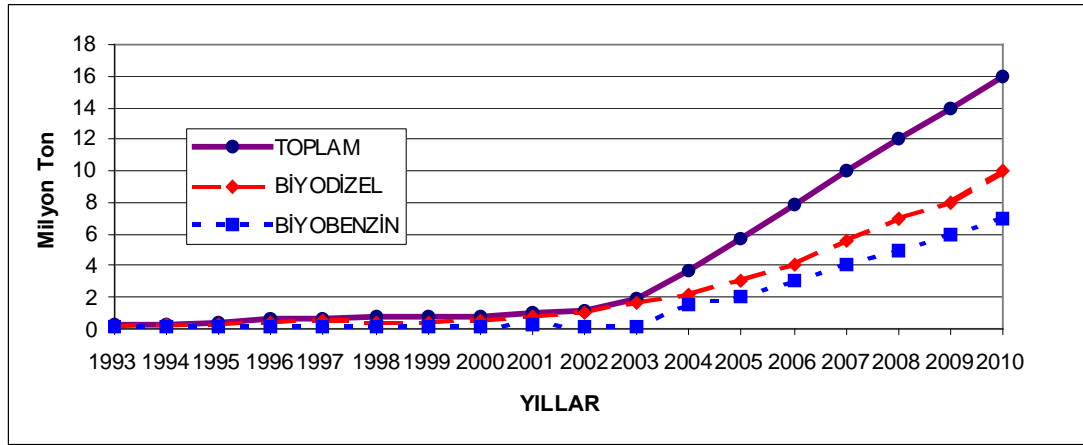
Hiç bir teknoloji değişimi gerekmeden, araçlarda kullanılabilir, araçların verimine ve hızına herhangi bir olumsuz etkisi olmamaktadır. Buna karşın % 10 enerji tasarrufu sağladığı belirtilmektedir [23].

Ülkemizde biyoetanol ve biyodizel alternatif bir yakıttır ve Enerji-Ekonomi-Ekoloji üçgeninde önemli bir unsurdur. Enerji tarımının desteklenmesi, yerli üretimin artırılması ve temiz bir çevreye sahip olunması biyoyakıtlardan gelmektedir [24].

Sürdürülebilir kalkınmada biyoetanolün yeri çok önemlidir. Alternatif enerji kaynağı olması, çevreye zarar vermemesi olumlu özelliklerinden bazılarıdır. Şekil 2.6' da bu durum bir akış çizelgesi ile verilmiştir. Amerika' nın alternatif yakıt olarak biyobenzin ve biyodizel üretimine verdiği önem Şekil 2.7' de verilen grafikte daha iyi anlaşılmaktadır.



Şekil 2.6 Etanolün Alternatif Yakıt Olarak Değerlendirilmesi [24]



Şekil 2.7 Amerika’ da Yıllara Göre Biodizel ve Biyobenzin Üretimi [24]

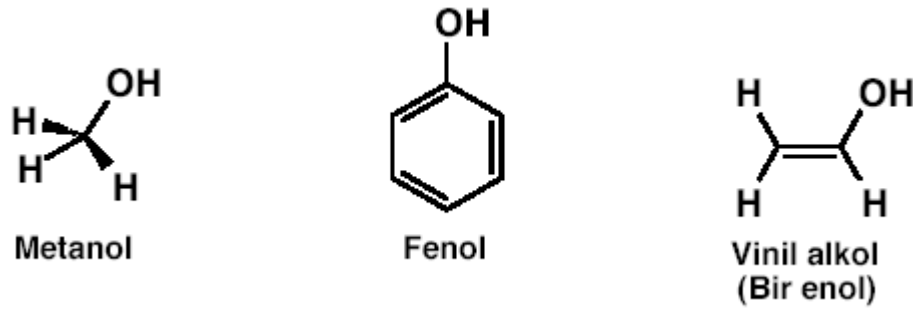
Amerika’ da artık okullar kendi aralarında etanol ile çalışan arabalara yönelik yarışmalar bile düzenlemektedir. U.S. Department of Energy tarafından ve “Advanced Vehicle Techonology Competitions” sponsorluğunda 1998 yılında mühendislik bölümü öğrencileri tarafından geliştirilen E85 yakıtlı araçlar yarıştırmıştır. Yarışmada motor dizaynı, yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonları konularında karşılaştırma yapılmıştır. Yarışmaya 14 okul katılmış ve sonuçta

University of Texas at Austin & University of California, Riverside, Idaho State University, Cedarville College, Wayne State University, University of Waterloo gibi üniversiteler yaptıkları yeni buluşlar ile ödüllendirilmişlerdir [25].

## 2.8 Alkoller ve Özellikleri

### 2.8.1 Alkollerin Yapısı

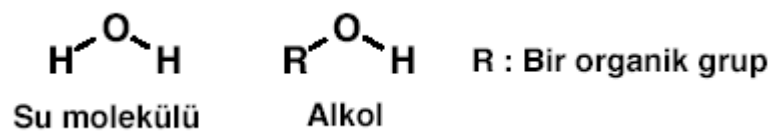
Doymuş  $sp^3$ -hibritleşmiş karbon atomlarına hidroksil (OH) grubu bağlı bileşiklere "alkoller" denir. Bu tanımlama fenollerin (aromatik bir hidrokarbona hidroksil grubunun bağlı olduğu bileşikler) ve enollerin (vinil alkoller) alkol sınıfına dahil edilmemeleri gerektiğini göstermektedir. Kimyasal yapıları Şekil 2.8' de görülmektedir [26].



Şekil 2.8 Metanol, Fenol ve Vinil Alkolün Kimyasal Yapısı [26]

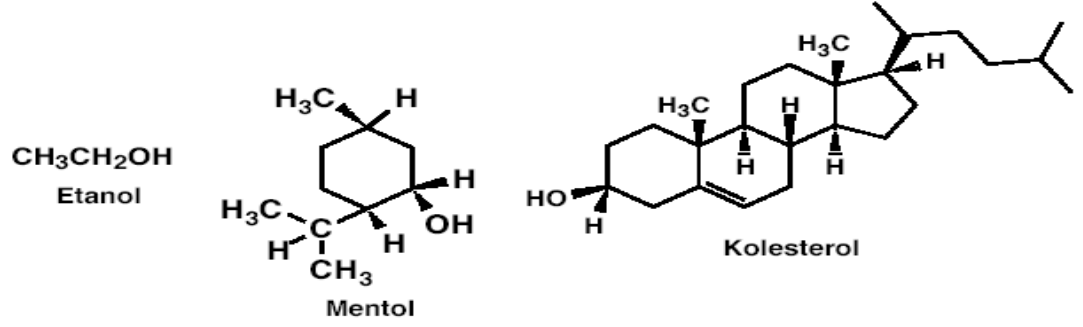
Yapısal olarak yukarıdaki üç maddede de hidroksil grubu olmasına rağmen, bu maddelerin kimyasal özellikleri birbirinden oldukça farklıdır [26].

Alkoller su molekülündeki hidrojen atomlarının bir organik grup ile yer değiştirmiş türevi kabul edilebilir. Genel formülleri R-OH şeklindedir. Su ve alkolün kimyasal yapılarının karşılaştırılması Şekil 2.9' da verilmiştir [26].



Şekil 2.9 Su ve Alkol Kimyasal Yapı Karşılaştırması [26]

Etanol, mentol ve kolesterol doğada oluşan alkollerdir. Kimyasal yapıları Şekil 2.10' da verilmiştir [26].

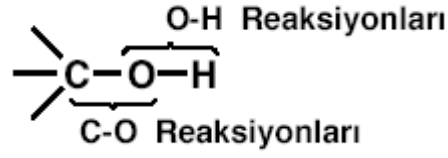


Şekil 2.10 Etanol, Mentol ve Kolesterol Kimyasal Yapıları [26]

### 2.8.2 Alkollerin Genel Özellikleri

Alkoller hidroksil grubunun polar yapısından dolayı alkan ve alkenlere kıyasla çok daha polar bileşiklerdir. Metanol, etanol, propanol ve bütanol gibi küçük alkollerin suda çok çözünmelerine rağmen, genelde karbon sayısı arttıkça alkollerin su içindeki çözünürlükleri azalır. Alkollerin suda çözünmeleri, alkol molekülleri ile su molekülleri arasındaki hidrojen bağlanmasının bir sonucudur. Öte yandan alkol molekülleri arasında da hidrojen bağı söz konusudur. Alkollerin kaynama noktaları beklenenden daha yüksektir. Bu durum hidrojen bağlanmasından kaynaklanmaktadır[26].

Alkollerin reaksiyonları karbon-oksijen ve oksijen-hidrojen bağından kaynaklanan reaksiyonlar olmak üzere iki grupta toplanır. Reaksiyon şeması Şekil 2.11' de olduğu gibidir.

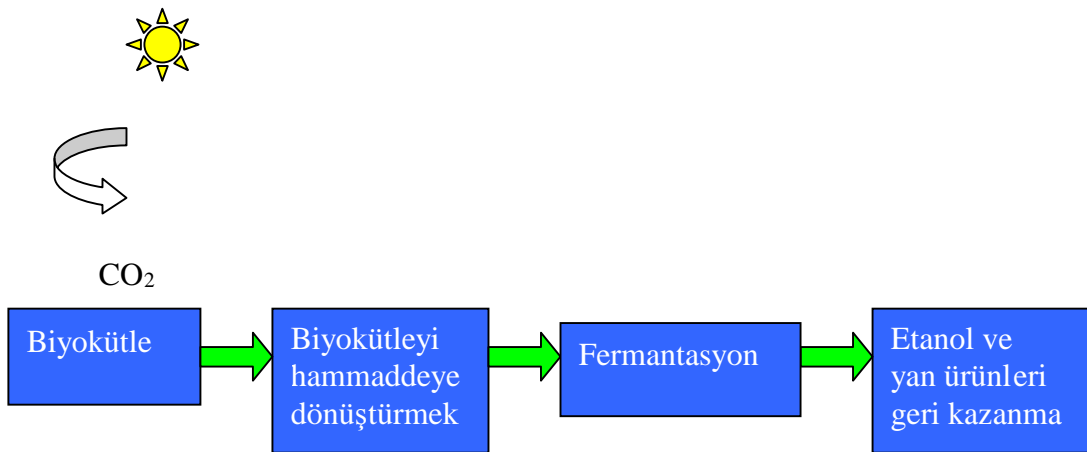


Şekil 2.11 Alkol Reaksiyonları [26]

## 2.9 Biyoetanol Üretim Yöntemleri

Biyokütleyi biyoetanolle dönüştürmede kullanılan genel yöntem akış şeması Şekil 2.12’de görülmektedir. Dönüştürme dört temel adımda meydana gelir. Bunlar:

1. Güneş enerjisini fotosentez yoluyla kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu biyokütle üretmek.
2. Bu biyokütleyi farklı proses teknolojilerinde kullanılabilen bir hammaddeye dönüştürmek.
3. Etanol üretmek için biyokatalizörler kullanarak biyokütleyi fermente etmek.
4. Kimyasal, ısı ve diğer yakıtları üretmek için kullanılabilen fermantasyon ürünleri etanolü ve yan ürünleri geri kazanmak [27].



Şekil 2.12 Biyokütleyi Biyoetanolle Dönüştürmek İçin Genel Bir Yöntem [27]

### 2.9.1 Dört Teknoloji Platformu

Biyoetanol projeleri, biyoetanol üretimi için dört teknoloji platformu çalışmalarını desteklemektedir. Yöntemlerden ilk üçü biyokütleden şeker ve şekerden mayalama ile etanol üretimi yaklaşımı ile diğerinden temelde farklıdır. Dördüncü yöntem ise, biyokütleden hidrojen ve CO gazı ile devamında mayalama ve etanol üretimini termal yöntemler ile karıştırarak uygulaması bakımından çok farklıdır [28].

- Asit Hidroliz Toplama (Konsantre Asit Hidrolizi)
- Sulandırılmış (Dilute) Seyreltik Asit Hidroliz
- Enzimatik Asit Hidroliz
- Biyokütle gazlaştırma ve mayalama

Biyoetanol proje araştırmaları Amerika' da, biyoetanol teknolojisinin ticareti ve geliştirilmesi için üniversiteler ve endüstri ile işbirliği içerisinde yapılmaktadır.

*Hidroliz* : Bu yöntem normalde birbirine karışık zincir bağları ile bağlı olan şekerlerden kimyasal reaksiyon ile kurtarmadır.

*Fermentasyon* : Mayalanmış şekerden, maya ve bakteri içeren etanole dönüştüren mikroorganizmalardır [28].

#### 2.9.1.1 Konsantre Asit Hidrolizi

Arkenol işlemi % 10 nem oranında kurutulmuş olan canlı kütleyle % 70 – 77 oranında sülfirik asit eklenerek gerçekleşir. 1,25 asite karşı 1 “canlı kütle” oranında yapılan karışımda sıcaklık 50 °C derecede kontrol edilir. Daha sonra % 20 – 30 oranlı asit elde etmek için su eklenir ve bir saat boyunca 100 °C de tutulur. Üretilen jel, asit şeker karışımını oluşturmak için preslenir, kalanlar asit şeker ayırımı için kullanılır[28].

Bu yöntem seyreltik asit hidrolizi ile şeker üretimini takip eden selülozun konsantre asit dekrizalizasyonuna dayanmaktadır. Şekerlerden asidin ayrılması, asidin geri kazanılması ve asidin yeniden konsantre hale getirilmesi yöntemin kritik noktalarıdır. Daha sonra fermantasyon işlemi ile şeker etanole dönüştürülür [28].

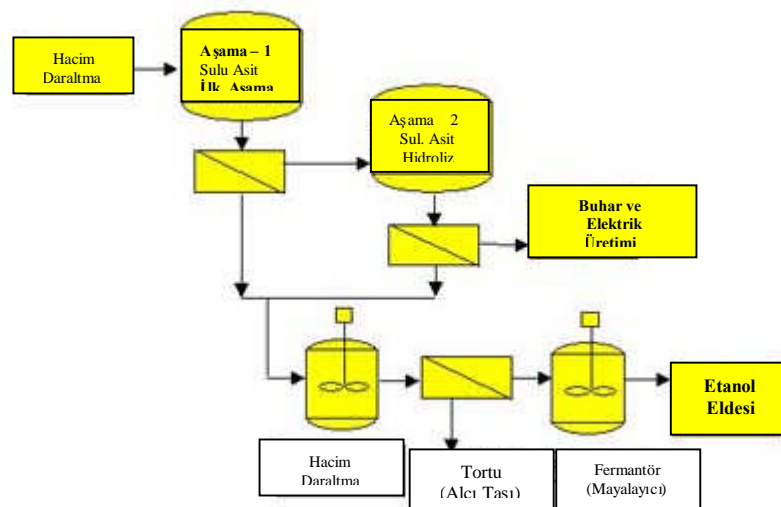


Yöntemin kalbi seyreltik asit hidrolizi ile takip edilen dekrystalizasyon işlemidir. Dekrystalizasyondan önce hemiselülozu ayırmak için seyreltik asit ile ön muamele uygulanır. Sonra biyokütle konsantre sülfirik asit ilavesinden önce asitin absorbe edilmesi için kurutulur. İşlemler hidroliz reaktörlerinde gerçekleştirilir [28].

### 2.9.1.2 Seyreltik Asit Hidrolizi

“Sulandırılmış asit hidrolizi” canlı kütlelerden etanol oluşturmanın en eski, en basit, en verimli metotlarından biridir. Sulandırılmış asit canlı kütleyle sakroza hidroliz etmek için kullanılır. İlk adım canlı kütledeki yarı selülozu hidroliz etmek için 180 °C derecede % 0.7 oranlı sülfirik asit kullanılır. İkinci adım daha dirençli selüloz parçalarını dağıtmak için ayarlanmıştır. 215 °C derecede % 0.4 oranlı sülfirik asit kullanılarak başlar. Sıvı hidroliz edilmiş kısımlar daha sonra nötrlenir ve işlemde tekrar elde edilir [28].

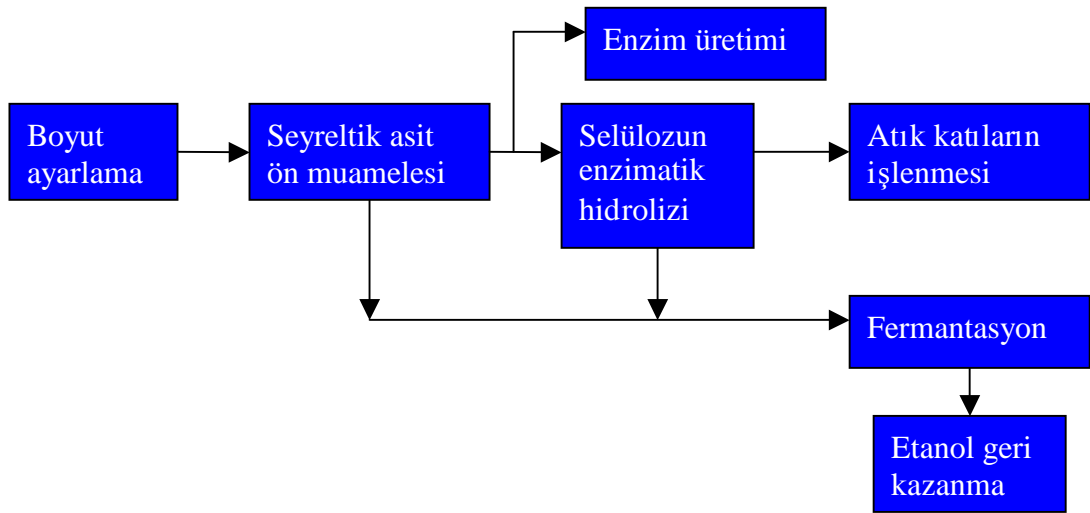
Hidroliz biyokütlenin hemiselüloz ve selüloz kısmından maksimum şeker üretimi için iki aşamadan meydana gelir. Birinci aşama hemiselüloz hidrolizi için daha ılımlı koşullar altında meydana gelirken ikinci aşama daha dayanıklı selülozu hidroliz etmek için optimize edilmektedir. Fermantasyonda teorik olarak % 90 etanol verimi elde edilmektedir. Şematik olarak akış işlemi Şekil 2.13’ de verilmiştir [28].



Şekil 2.13 Sulandırılmış Asit Hidroliz Yöntemi Akış Şeması [28]

### 2.9.1.3 Enzimatik Hidroliz

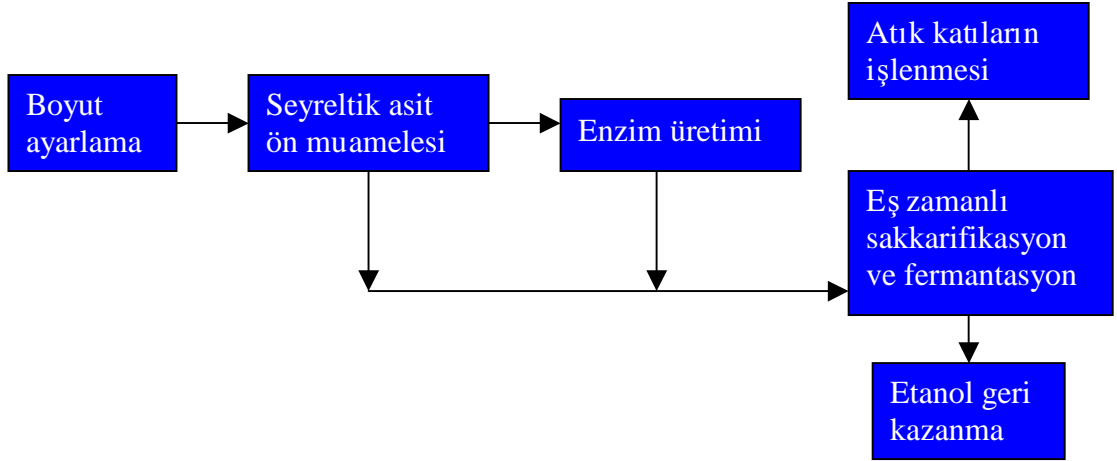
Canlı kütleyi sakroza hidroliz etmek için asit kullanmak yerine, enzimler kullanılabilir. Fakat bu işlem çok pahalı ve halen gelişiminin ilk aşamalarında. Etanol işleminde odunun hidrolizi için ilk enzim uygulaması basitçe bir selüloz enzim hidroliz basamağı ile selüloz asit hidrolizinin yer değiştirmesinden ibaretti. Sistem şematik olarak Şekil 2.14' de verilmiştir.



Şekil 2.14 Enzimatik Hidroliz İşleminde Hidroliz ve Fermantasyon Şematik Gösterimi [29]

Biyokütlenin enzimatik hidrolizi için yapılan önemli bir proses modifikasyonu bir çok şeker altyapısı ile birlikte fermente olmasını sağlayan eş zamanlı sakkarifikasyon ve fermantasyon işleminin geliştirilmesidir. Bu işlemde selüloz ve fermente edici organizmalar birleştirilmektedir. Şekerler meydana geldikçe fermente edici organizmalar şekerleri etanola dönüştürür [29].

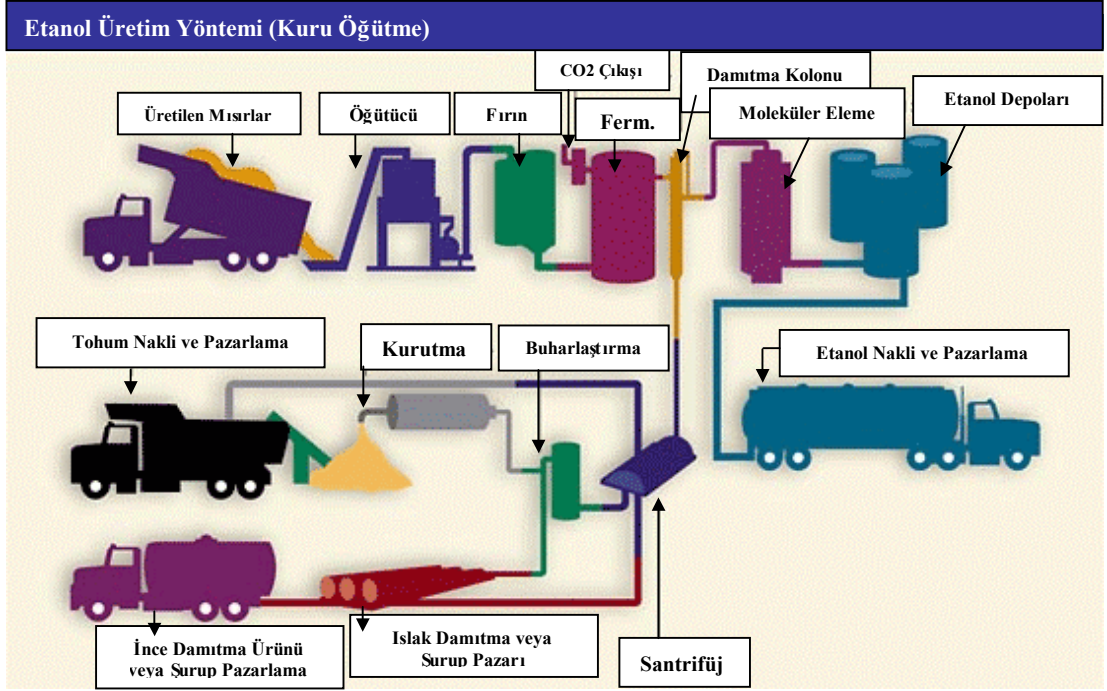
Biyokütlenin ön muamelesi selülozu enzimler için daha reaktif hale getirmek için gereklidir. Hem termal hem de kimyasal işlemler gibi bir çok ön muamele düşünülebilir. Akış şeması Şekil 2.15' de verilmiştir.



Şekil 2.15 Enzimatik Hidroliz İşleminde Eş Zamanlı Sakkarifikasyon ve Fermantasyon İşleminin Şematik Gösterimi [29]

### 2.9.2 Kuru Öğütme İle Etanol Üretimi

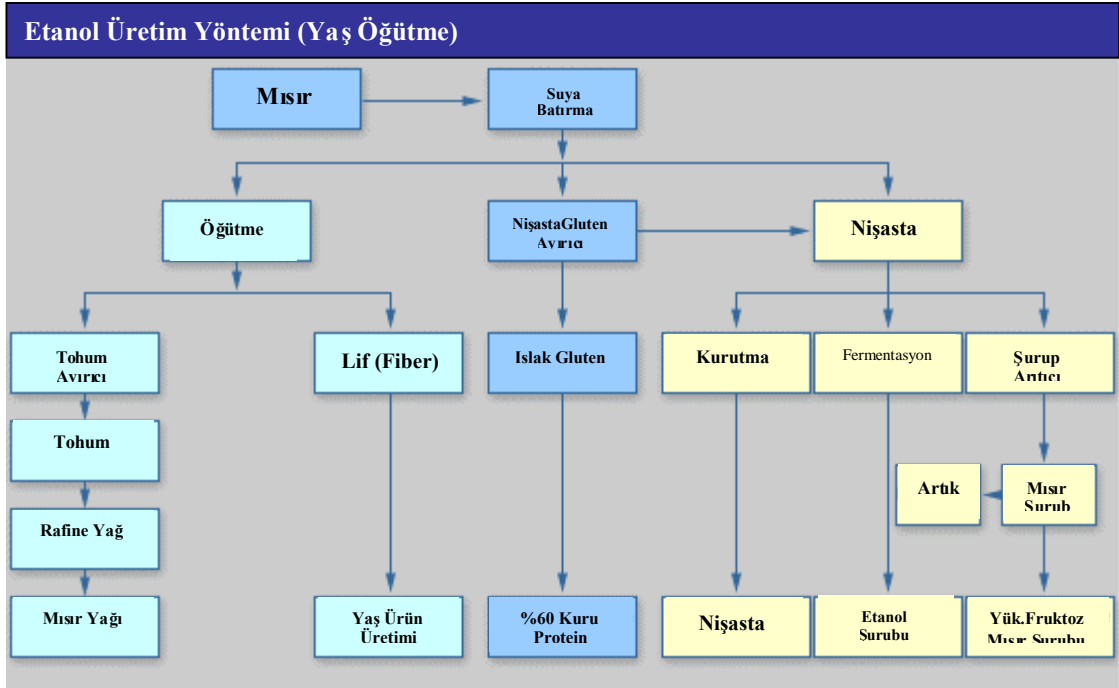
Kuru öğütme işlemi, çekiç öğütme sistemini kullanarak mısır tanelerini küçük parçalara kırma ve temizleme işlemini içerir. Bu işlem un kıvamında toz üretir. Toz; mısır tohumu, nişasta ve fiber (lif) içerir. Şeker solüsyonu üretmek amacıyla, karışım daha sonra enzim ve sulandırılmış asitleri kullanarak sakroza hidrolize edilir. Karışım soğutulur ve etanole mayalamak için maya eklenir. Kuru öğütme işlemi her yıl 50 milyon galondan daha az etanol üreten fabrikalarda kullanılır. Üretim yöntemi şeması Şekil 2.16' da verilmiştir [30].



Şekil 2.16 Kuru Öğütme İle Etanol Üretimi Akış Şeması [30]

### 2.9.3 Yaş Öğütme İle Etanol Üretimi

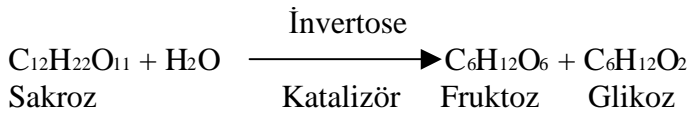
Mısır yaş veya kuru öğütme ile etanole dönüştürülebilir. Yaş öğütmede, mısır taneleri ılık suya batırılır, bu işlem proteinlerin ortaya çıkmasına, nişastanın salınmasına ve öğütme aşaması için tanelerin yumuşamasına yardımcı olur. Tohum fiber ve nişasta yapışkan ezme kısmı oluşturmak üzere “contrifugation” ve “saccharification” işlemlerine tabi tutulur. Ayrım işlemi sonunda etanol elde edilir. Yaş öğütme işlemi normal olarak, senede birkaç yüz milyon galon etanol üreten fabrikalarda kullanılır. Üretim yöntemi şeması Şekil 2.17’ de verilmiştir [30].



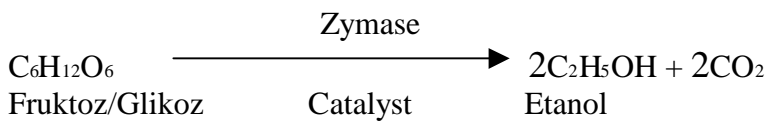
Şekil 2.17 Yaş Öğütme Yöntemi İle Etanol Üretimi Akış Şeması [30]

#### 2.9.4 Şeker Mayalama İşlemi

Hidroliz aşaması mısır ve selüloz kısımları, daha sonra etanole mayalanabilecek olan şeker karışımlarını hidrolize eder. Maya eklenir ve ısıtılır. Maya “invertose” adında enzim içerir. Bu madde katalizör olarak etki yapar ve sakrozun, glikoz ve fruktoza dönüşümünü kolaylaştırır. Kimyasal reaksiyonu ; [30]



Fruktoz ve glikoz daha sonra “zymase” adında enzimle reaksiyona girerler. Bu enzim etanol ve CO<sub>2</sub> üretmek için mayanın içinde yer alır. Kimyasal reaksiyonu aşağıdadır ;



Mayalama yaklaşık üç gün sürer ve 250 ila 300 °C derece sıcaklıkta gerçekleşir[30].

## 2.10 Ülkelere Göre Biyoetanolün Elde Edildiği Bitkiler :

Biyomotorin ve Biyoetanol üretiminde;

- AB ülkelerinde biyomotorin için yağlı tohumlar ve biyoetanol için odun, saman, buğday veya mısır.
- Kuzey Amerika' da biyomotorin için yağlı tohumlar ve biyoetanol için odun, saman, buğday veya mısır.
- Güney Amerika' da biyoetanol için şekerkamışı.
- Doğu Avrupa biyoetanol için odun, saman, buğday veya mısır.
- Türkiye' de biyomotorin için yağlı tohumlar ve biyoetanol için odun, saman, buğday, mısır, sorgum, patates gibi kaynaklar kullanılmaktadır [6,30].

Kullanılan bitki hammaddesine göre yakıt elde etme yöntemleri de farklılıklar göstermektedir. Bu durum Çizelge 2.3' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Hammaddeden Uygulanacak Yöntem ile Elde Edilecek Yakıt Tipi [6,30]

Sıra No	Yakıt tipi	Hammadde	Yöntem
1	Biyomotorin	Yağlı Tohum	Esterifikasyon
2	Biyoetanol	Odun	Asit Hidroliz + Fermentasyon
3	Biyoetanol	Saman	Asit Hidroliz + Fermentasyon
4	Biyoetanol	Buğday	Mayalama + Fermentasyon
5	Biyoetanol	Mısır	Fermentasyon
6	Biyoetanol	Şekerkamışı	Fermentasyon
7	Biyoetanol	Şekerpancarı	Fermentasyon

## 2.11 Biyoetanolün Özellikleri

Eşanlımları: etanol, hububat alkolü/ispirto, fermentasyon alkolü, alkol, metilkarbinol, saf alkol, saf etanol, susuz alkol, dehidre alkol, anhidrol, etil hidrat, etil hidroksit, melas alkolü, patates alkolüdür. Petrolün yerine ulaşım araçlarında kullanılan bir yakıt türü olan biyoetanol, etilen ve buharın kimyasal reaksiyonundan

da üretilebilmesine rağmen, biyoetanol yakıt temel olarak şeker mayalanmasından üretilir[31].

Etanol üretmek için ihtiyaç duyulan şekerin kaynağı yakıt veya enerji ürünlerinden gelir. Bu ürünler özellikle enerji kullanımı için büyütülür ve mısır, buğday ürünleri, atık saman, söğüt ve popüler ağaçlar, savdust, kanarya çimeni, şerit çimen, enginar bunlara örnektir. Ayrıca belediye katı atıklarından etanol yakıt üretmek için yapılan araştırmalarda gelişmektedir [14,31].

Etanol ( $C_2H_5OH$ ) temiz, renksiz bir sıvıdır, canlı olarak değerlendirilebilir, toksik oranı az ve dökülünce çok az çevresel kirlenmeye yol açar. Etanol  $CO_2$  ve  $H_2O$  üretmeye de yarar. Etanol yüksek oktanlı bir yakıttır ve petrolün içine kurşunun yerine oktan artırıcı olarak katılabilir. Etanolün benzine karıştırılmasıyla yakıt karışımı daha verimli (tama yakın) yanar ve çevresel kirlenmesi daha azdır. Etanol karışımli yakıtlar en çok Amerika' da satılmaktadır. En bilindik karışım % 10 etanol, % 90 petroldür. (E10) Araç motorlarının E10 ile çalıştırmak için modifiyeye ihtiyacı yoktur, araç garantileri de bundan etkilenmezler. Ayrıca daha esnek araçlar % 15 etanol, % 85 petrol karışımli yakıtlarda kullanabilmektedirler (E15) [28,31].

Araştırmacılar, 20 ppl altındaki bir oranda 10 ppm sülfür yakıtına uygulanmasıyla PU50' nin oranının 20.5 ppl altında olduğu sonucu ile 01.01.2005' te tanıştıklarını bildirdiler. Bu deney oranında, % 5 etanolün kurşunsuz benzine karıştırılması ile EN228 özelliklerinde bir yakıt elde edileceğine inanıldı [28,31].

Etanol çok basit moleküler yapıya sahiptir. Fakat nadir özellikteki su gibi, oksijen ve hidrojen yüzünden doğada çok kutuplu olarak vardır. Viski veya şarap gibi hoş kokulu ve renksiz bir sıvıdır. Suda, toprakta ve havada hazır olarak bulunur[28,31].

Etanolün ısı değeri benzinden daha düşüktür. Etanol su ile her oranda karışabilme özelliğine sahiptir [14,31].

Etanolün, yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahip olması ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarında kullanımında birtakım problemler yaratır. Fakat kendi kendine tutuşma direnci, Otto

motorlarında sıkıştırma oranının arttırılmasına olanak sağladığından etanolün Otto motorlarında kullanımı daha avantajlıdır. Bu sebepten dolayı etanol, dizel motorlarında ancak buji kullanılması durumunda veya dizel yakıtla karıştırılması durumunda kullanılabilir [14,31].

Benzine etil alkol katılması yanmayı iyileştirmekte, vuruntuya dayanıklılığı arttırmaktadır. En iyi karışımın % 10 hacimsel oranlı etil alkol – benzin karışımı olduğu belirlenmiştir. Bu karışımında düşük sıkıştırma oranlarında ( $\epsilon=7.5$  için) % 7 ; yüksek sıkıştırma oranlarında ( $\epsilon=9.5$  için) % 15 verim artışı sağlanmaktadır. Ayrıca alkol kullanımı hava kirliliğini önemli düzeyde azaltmaktadır [14,31].

Alkollerin buhar basıncı düşük olduğundan alkol karışımları kullanıldığında özellikle soğuk havalarda ilk harekette emme sisteminde buharlaşmayı iyileştirici önlemler almak gerekir. Ayrıca alkolün (ve içinde bulunabilecek suyun) emme ve yakıt sistemi ve diğer motor elemanları üzerindeki korozyif ve aşındırıcı etkileri incelenmeli, bu etkilere karşı gerekli önlemler alınmalıdır [14,31].

Güncel tekniklerde etil alkol üretimi pahalıdır ve genellikle gıda kaynaklarına dayanmaktadır. Ucuz alkol üretimi için yeni yöntemler geliştirilmelidir [14,31].

Etanolün motorlarda kullanımı düşüncesi daha çok geniş tarım alanlarına sahip ülkelerde yaygındır. ABD’de tarımla uğraşılan eyaletlerde, %80 etanol %20 benzin karışımı olan E80 yakıtı, yıllardan beri otomobillerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Petrol rezervlerinin hemen hemen olmadığı fakat özellikle şeker kamışının bol bulunduğu Brezilya’da otomobiller 15 yıldan fazla bir süredir etanolla çalışmaktadır [14,31].

Etanolün kimyasal özellikleri ile, hidrojen, metan, metanol, benzin ve dizeline kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması Çizelge 2.4’ de verilmiştir.



Çizelge 2.4 Yakıt Karşılaştırma Tablosu [14,32]

	HİDROJEN	METAN	METANOL	ETANOL	BENZİN	DİZEL
Kimyasal Denklemi	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	(C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> ) <sub>a</sub>	-
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 <sup>3</sup> )	0.07	0.424	0.790	0.790	0.73a	0.83
Gaz (kg/dm <sup>3</sup> )	0.84*10 <sup>-4</sup>	0.78*10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-
Isıl Değeri						
(Mj/kg)	119.93	50.8	20.1	26.9	43.4	43.1
(Mj/litre)	8.41	20.8	15.9	21.3	31.8	-
Stokiyometrik karışım için						
Hava/yakıt(kütlesel)	34.32	17.2	6.44	8.96	14.7	14.5
Hava/yakıt(hacimsel)	2.38	9.53	7.14	14.3	45.79	-
(kj/litre)	3.20	3.40	3.53	3.61	3.78	-
Molürünler/Molreaktantlar	0.85	1.00	1.06	1.06	1.04	-
Buharlaşma ısısı (Mj/kg)	0.447	0.509	1.102	0.856	0.272a	0.3
Tutuşma sınırları						
% hacim	4.1 – 74	5-15.4	6-37	3.5-19	1.3-7.6	-
λ	0.15-4.35	0.59-2.0	0.24-2.22	0.29-1.92	0.29-1.67	0.48-1.35
Laminar Alev Hızı (m/s)	2.91	0.37	0.52	-	0.37	-
Adyabatik alev sıcaklığı(°C)	2110	1954	1878	1924	1993a	-
Difüzyon Katsayısı (m <sup>2</sup> /s)	0.61	0.16	-	-	0.08	-
Kaynama Noktası (°C)	-252.35	-161.3	65.1	78.7	32-221	170-350
Donma Noktası (°C)	-259	-	-97.6	-114.1	-56a	-
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	-

## 2.12 Biyoetanol Avantaj ve Dezavantajları

### 2.12.1 Biyoetanölün Avantajları

Yaygın yakıtlar üzerinde biyoetanölün çok fazla avantajları vardır. Yenilenebilir ürünlerden kaynak almaktadır (mısır, şeker gibi). Ulaşım araçları gaz emisyonunun % 22' sini oluştururlar ve biyoetanölün kullanımı ile, ürünlerin CO<sub>2</sub>' yi büyüme için emmesiyle gaz emisyonu azaltılır. Ayrıca, biyoetanölün petrole karıştırılması azalan kaynakların ömrünü uzatır, yakıt güvenliğini artırır ve petrol üreten ülkelere olan bağımlılıktan uzak tutar. Biyoetanölün teşviki ile, tarım ürünlerinin büyütülmesi artar ve tarım ekonomisi gelişir. Biyoetanol canlı olarak değerlendirilebilir ve fosil yakıtlardan çok daha az zehirlidir. Ek olarak, biyoetanölün kullanımı ile eski motorların CO üretimi azalır ve havanın kalitesi artar. Biyoetanölün diğer avantajı ise mevcut taşıma yakıt sistemine kolaylıkla dahil edilebilmesidir. % 20' lik karışıma kadar herhangi bir motor modifikasyonuna gerek kalmadan yaygın yakıtlara karıştırılabilir. Fakat Avrupa standartlarına göre alkollerin yakıtta ne oranda katılacağı belirlenmiştir. Bu durum Çizelge 2.5' de verilmiştir. Benzine Biyoetanol mayalama gibi bilindik metotlarla üretilirler ve petrol taşıma sistemleri ile taşıma dağıtılabilirler [28,32].

Çizelge 2.5 Avrupa Standartlarına Göre Alkollerin Yakıtta İlave Yüzdeleri  
(EN 228)[33]

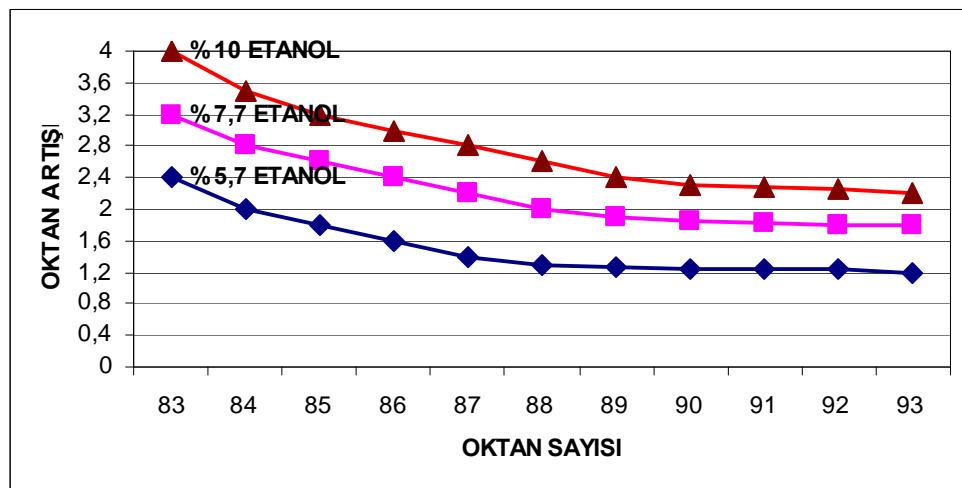
<b>Katkı Maddesi</b>	<b>% Hacim</b>
Metanol	3
Etanol	5
İzopropil Alkol	10
İzobütil Alkol	10
Tert-Bütil Alkol	7
Eter (5 veya daha fazla C)	15
Diğer Katkılar	10

Günümüz araçlarında kurşunsuz benzinin oktan sayısını artırmak içinde etil alkol katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Çizelge 2.6' da oktan sayısını artırmak için kullanılan katkı maddeleri ve yüzdeleri verilmektedir.

Çizelge 2.6 Kurşunsuz Benzine Oktan sayısını Artırmak İçin Katılan Katıklar ve Özellikleri [33]

Katkı Maddesi	Formül	Kimyasal Yapı	Katkı Maddesi Yüzdesi	Karışım Oktan Sayısı	Maksimum Katkı Konsantrasyonu	
					Kütlesel %	Hacimsel %
Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	34,73	129	(3,70) <sup>3</sup>	10,0
Metil Tertiari Bütil Eter (MTBE)	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	$  \begin{array}{c}  \text{CH}_3 \\    \\  \text{CH}_3 - \text{O} - \text{C} - \text{CH}_3 \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  $	18,15	118	2,74	15,0
Etil Tertiari Bütil Eter (ETBE)	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	15,66	119	2,70	17,1
Tertiari Amil Metil Eter (TAME)	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	15,66	112	2,70	16,6

Yapılan araştırmalarda etil alkolün oktan sayısı artışına olan etkisi Şekil 2.18' de, MON ve RON değerlerinde ki artışa olan etkisi ise Çizelge 2.7' de verilmiştir.



Şekil 2.18 Etanolün Oktan Sayısına Etkisi [34]

Çizelge 2.7 % 10 Etanolün MON ve RON Değerlerine Etkisi [34]

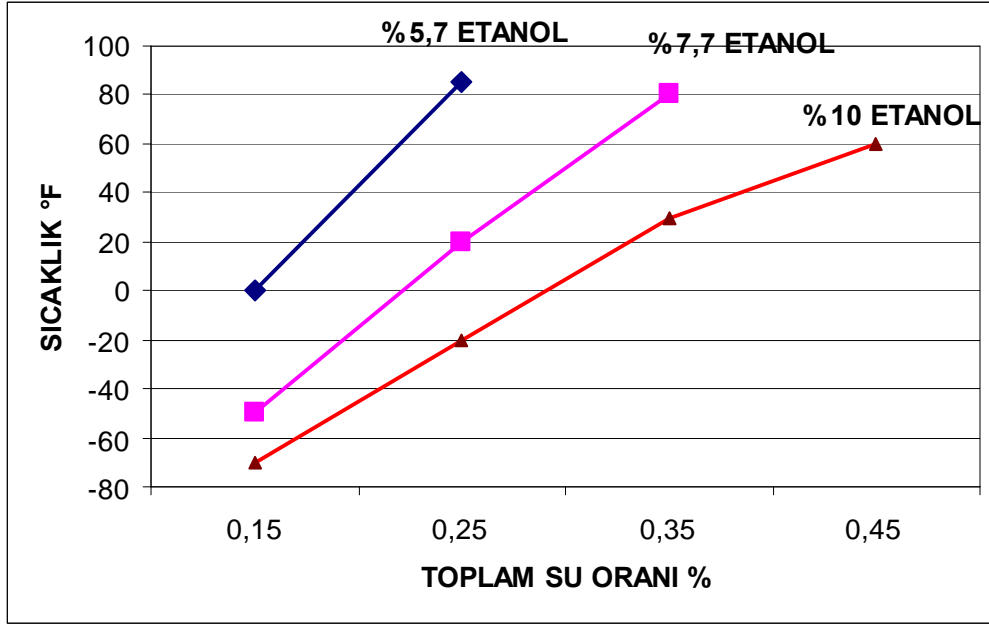
	<b>Sadece Benzin</b>	<b>% 10 Etanol İlavesi İle</b>	<b>Benzinin Oktana Katkısı</b>	<b>Etanolün Oktana Katkısı</b>	<b>Toplam Oktan Sayısı</b>
<b>MON</b>	80	96	72	9,6	<b>81,6</b>
<b>RON</b>	89	129	80,1	12,9	<b>93</b>
<b>(R+M) / 2</b>	84,5	112,5	76,05	11,25	<b>87,3</b>

Buna göre biyoetanolün avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür :[35,36]

1. Yerli, yenilenebilir bir yakıt kaynağıdır.
2. Petrol için dışa bağımlılığı azaltır.
3. Temiz bir yakıt kaynağıdır.
4. Düşük maliyet ile yakıt oktan sayısını artırır.
5. Genelde bütün araçlarda kullanılabilir.
6. Üretimi ve muhafaza edilmesi kolaydır.
7. Biyoyakıtlar fosil yakıtlardan % 40-80 daha az sera gazı yayar.
8. Asit yağmurunu azaltır.
9. Daha az su kirliliği oluşturur.
10. Daha az atık oluşturur.

### **2.12.2 Biyoetanolün Dezavantajları**

Etanolün ısı değeri petrole göre daha düşüktür, buharlaşma ısısı yüksek, buhar basıncı düşüktür. Buharlaşma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır. Etanolün en önemli dezavantajlarından biri içinde bulunan suyun yakıt donanımı ve emme sistemi üzerindeki korozif etkisidir. Etanolün korozif özellikleri nedeni ile korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi, koruyucu maddelerle kaplanmaktadır. Ayrıca etanolün nem tutuculuk özelliğinin yüksek olması ve kolaylıkla nemlenmesi etanol benzin karışımı olan yakıtlarda faz ayrışmasına neden olabilir. Benzin içerisine katılan alkolün sıcaklığa bağlı olarak oluşturduğu su miktarındaki artış Şekil 2.19' da verilmiştir [32,36,37,38,39].



Şekil 2.19 Benzin Etanol Karışımı Yakıtta Su Oluşum Durumu [34]

İçerisinde su bulunmayan alkol ve benzini karıştırmak mümkün olmasına rağmen az miktarda su ihtiva eden karışımlarda bu mümkün olmamakta ve faz ayrışması oluşmaktadır [32,38,39].

Etanolün motorlarda kullanımı düşüncesi daha çok geniş tarım alanlarına sahip ülkelerde yaygındır. ABD’de tarımla uğraşılan eyaletlerde, %80 etanol %20 benzin karışımı olan E80 yakıtı, yıllardan beri otomobillerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Petrol rezervlerinin hemen hemen olmadığı fakat özellikle şeker kamışının bol bulunduğu Brezilya’da otomobiller 15 yıldan fazla bir süredir etanolle çalışmaktadır [39,40].

Göz ve deri rahatsızlıklarına yol açar.Yutulması mide bulantısı, kusma ve sarhoşluk hissine yol açabilir; kronik olarak kullanımı ciddi karaciğer zararı verebilir. %100 Etanole yakın olan “saf” alkol, metanol ve benzen ile birlikte 2-propanol kalıntısı içerdiği dikkate alınmalıdır. Metanol ve benzen çok zehirli olduğu gibi, denatüre alkol de içerdiği bazı maddeler sebebiyle tatsızdır ve tüketim durumunda büyük ölçüde zararlıdır. Kolay alevlenebilir, solunması halinde sağlığa zararlıdır, cilt ile temasında sağlığa zararlıdır, yutulması halinde sağlığa zararlıdır, gözleri tahriş

eder, solunum sistemini tahriş eder, cildi tahriş eder, tedavisi mümkün olmayan etki oluşturabilir [40,41,42].

### **2.13 Biyoetanolün Motorlarda Kullanımı**

Teorikte hiçbir bitki eskiden biyoenerji üretiminde kullanılmazdı. Fakat biyokütlerdeki büyük gelişmeler bu özellikleri geliştirdi ve yüksek enerji potansiyeline sahip olduğu anlaşıldı. Ukrayna' da ki biyoenerji için birçok yaygın ürün geliştirildi (söğüt gibi). Dünyanın etrafındaki diğer ürünlerde, ekonomik, çevresel şartların her ikisi etrafındaki şartları ile iklime bağlı olarak tercih edildi. Brezilya şekerden biyoetanol üretimi için büyük programlar uyguladı. Amerika ise biyoetanol üretiminde mısıra büyük ağırlık verdi [28,32,41,42].

Biyoetanol bitkilerden türetilen karbonhidratların mayalanması ile üretilen ( $C_2H_5OH$ ) olan etanol üretimidir. Kullanılan yakıtlarda etanol genelde petrole ilave edilerek veya yerine koymak suretiyle kullanıldı. Etanol ve biyokütlenin her ikisi de yakıt olarak kullanıma uygundur. Fakat sentetik etanol, fosil yakıt olarak sınıflandırıldı [42].

Brezilya petrole olan bağımlılığı azaltmak için 1975' te petrol ile karışım yapılarak kullanılacak etanol üretim programını başlattı (Proalcohol). Benzer bir programı Amerika 1979' da kurdu. Brezilya sonra etanolü petrolün yerine tamamen geçmesi için kullanımını da genişletti. 1988' de araçların üçte biri etanolü yakıt olarak kullanır hale geldi [42,43].

#### **2.13.1 Biyoetanol Kullanan Araçlar**

**SAAB 9-5 Range FFV** : 2.0 lt. turbo motora sahip araç etanolle çalışmaktadır. Doğa ile dost yenilenebilir enerji kaynağı ve çevreci yakıt kullanmaktadır. Çünkü tarım ürünlerinden elde edilen etanol kullanılmaktadır. FFV (Flexible Fuel Vehicle) özelliği E85 etanol ve benzin karışımı yakıt kullanan bir motora aittir. Benzine katılan etanol CO<sub>2</sub> emisyonu sağlar, hava kirliliğini önler, küresel ısınmaya engel olur. E85 katkılı yakıtın oktan sayısı 104 (RON) dur. Motor maksimum gücü %20 oranında artmış ve 150 HP' den 180 HP'ye çıkmıştır [44].

**Volkswagen** : Brezilya’da etanolün taşıtlarda kullanılmaya başlanmasından sonra VW firması tarafından geliştirilen %85 etanol ve %15 benzin karışımından oluşan E85 yakıtı kullanabilen arabalar kullanılmaktadır [32,44].

**General Motors** : Amerikann Wisconsin ve Illinois şehirlerinde kullanılmak üzere, etanol yakıtı kullanabilen 50 adet prototip geliştirdi. Bu taşıtlarda %85 etanol %15 benzin karışımından oluşan E85 yakıtı kullanılmaktadır [32,44].

### **2.14 Motorun Etanolla Çalışması İçin Gerekli Modifikasyon İşlemleri**

Bir motorun etanolla çalışabilmesi için motor üzerinde yapılacak iki ana modifikasyon söz konusudur. Bunlar; etanolün yanması için motoru en iyi çalışma şartlarına getirmek için gereklidir. Dört zamanlı bütün motorların parçaları için genel değişiklikleri içermektedir. Öncelikle motorun etanolla çalışma durumuna getirmek gerekir. Bunun için yakıt deposu, yakıt boruları ve karbüratör etanolla uyumlu hale getirilmelidir. Özellikle plastik bileşiği yakıt filtrelerinin cam alternatifleriyle değiştirilmelidir [45].

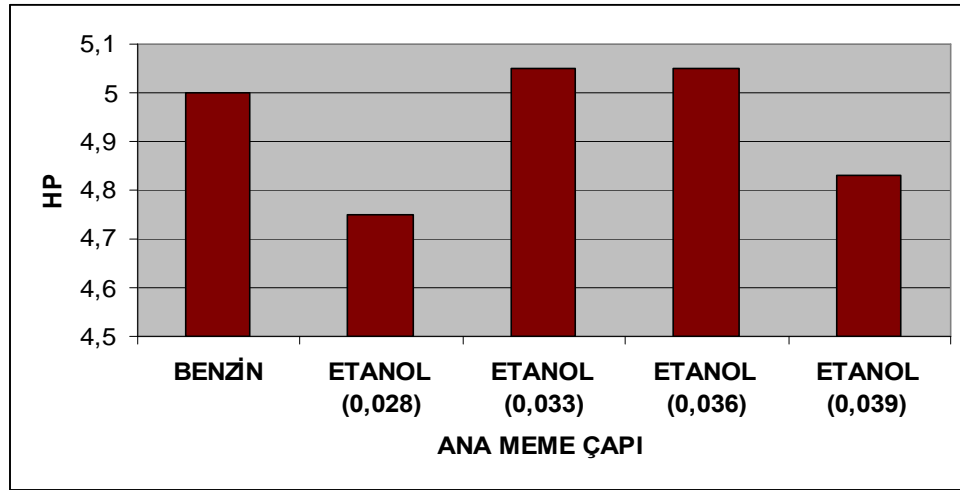
Bunlara ilave olarak plastik etanole karşı hassastır. Bu nedenle motor üzerinde plastik esaslı kullanılan malzemeler değiştirilmelidir. Daha sonraki aşamada karbüratörde yakıt karışım ayarı düzenlenmelidir. Bunun için karbüratör ana memesi çapı büyütülmelidir ki hava ile yakıt karışımına izin verilebilsin. Etanol oksijen ihtiva ettiği için karışımın zenginleştirilmesi gereklidir. Yani yakıt miktarının artırılması gerekmektedir. Ana meme çapı ya çok delikli olarak veya tek delikli yeniden imal edilecek şekilde montajı yapılmalıdır. Böylece motorun tekmeden çalışması sağlanmış olacaktır. Ayrıca bujilerinde aşırı ısınmadan zarar görmesi engellenecektir. Karbüratör ana memesinde yapılan değişiklik dışında pompa nozzle değişimi yapılmalı çapı artırılmalıdır [45,46].

Diğer önemli bir husus ateşleme zamanıdır. Sadece benzinle çalışan motorlarda ateşleme piston Ü.Ö.N. ya gelmeden yapılırken, etanol kullanan motorlarda bu durum buharlaşmanın önüne geçmek için çok daha erken olmalıdır. Çalışmalarda distribütör sayesinde avans durumu 10-24 derece arasında

değiştirilerek uygulanmış, motorun tekleme, vuruşu durumları dikkate alınmıştır. Ateşleme avansının artırılması ile ateşleme öne alınması ile çalışmanın iyileştiği görülmüştür [45,46].

Modifikasyon işleminde diğer bir uygulama sıkıştırma oranının değiştirilmesine yöneliktir. Genelde motor sıkıştırma oranı benzinli motorlarda 8,5:1 civarındadır. Ancak etanol kullanan motorlarda bu oran 10 veya 11:1 civarındadır. Sıkıştırma oranının artırılması için pistonlar yeniden dizayn edilmeli veya silindir kapağı taşlanmalıdır. Genelde yeni piston tercih edilmektedir. Bu durum maliyet olarak biraz pahalı olmaktadır. Motorun tipine bağlı olarak bu piston değişikliği 50 – 1000 \$ arasında bir maliyet oluşturmaktadır [45,46,47].

Ana meme çapının değişimi ile motor gücünde elde edilen durum Şekil 2.20’de verilmiştir. Buradan, ana meme çapının küçük veya olması gerekenden büyük yapıldığında güce olan etkisi olumsuzlaşmaktadır.



Şekil 2.20 Ana Meme Çapının Güce Etkisi [45]



### 3. MATERYAL VE METOD

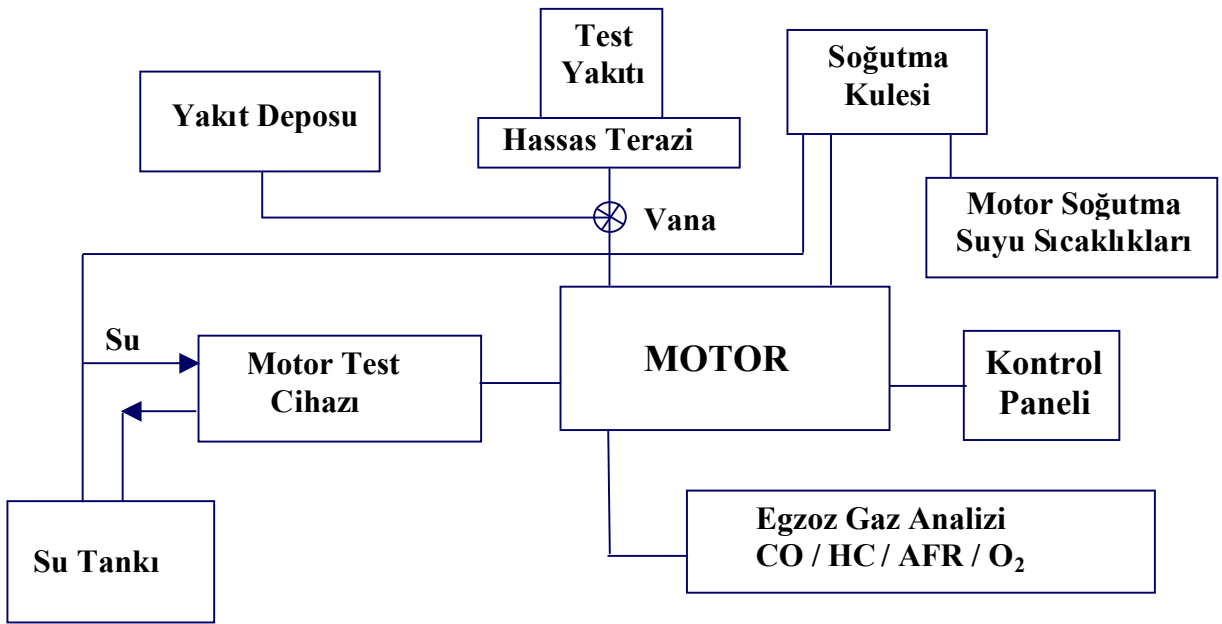
Motor üzerinde yapılan test işlemleri aşağıda belirtilen materyal ve metodlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1 Deney Standardı

Test işlemleri, TSE 1231 “İçten Yanmalı Motorlar Muayene ve Deney Esasları” standardı dikkate alınarak yapılmıştır [48].

#### 3.2 Deneyde Kullanılan Cihazlar

2005-2006 yılları arasında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde gerçekleştirilen bu çalışmada motor karakteristik değerleri ve egzoz emisyonlarının tespiti ile ilgili deneyler 1012 Ordudonatım Ana Tamir Fabrikasında yapılmıştır. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 3.1’dir.



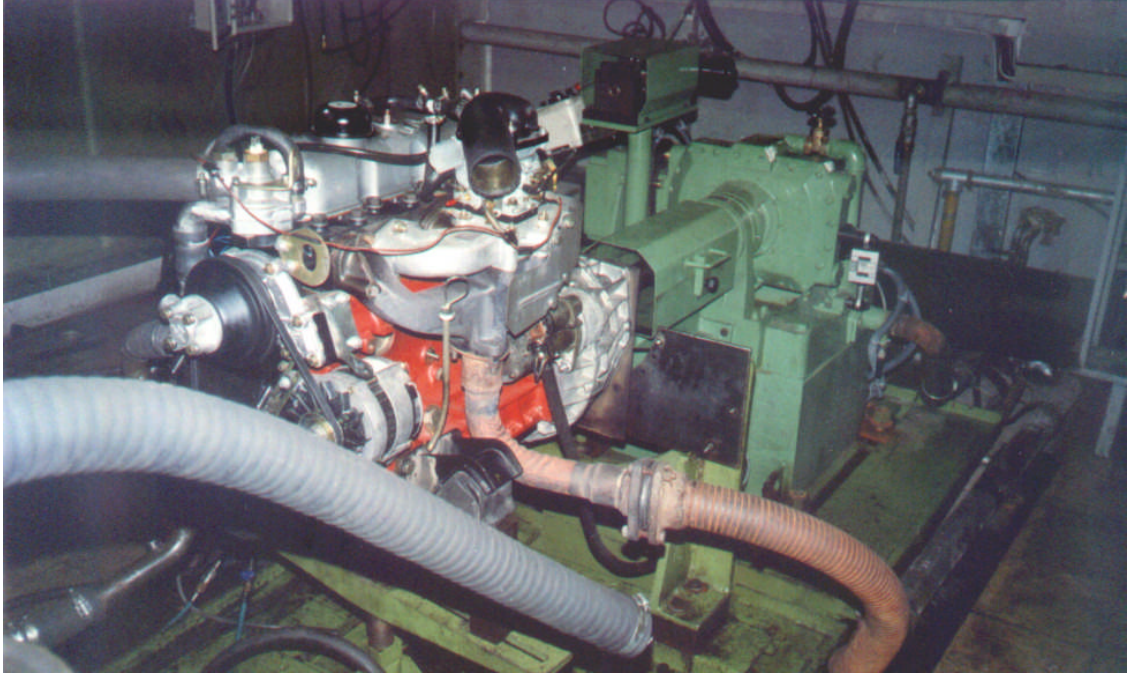
Şekil 3.1 Motor Test Deney Düzeneğinin Şematik Görünümü

### 3.2.1 Deney Motoru

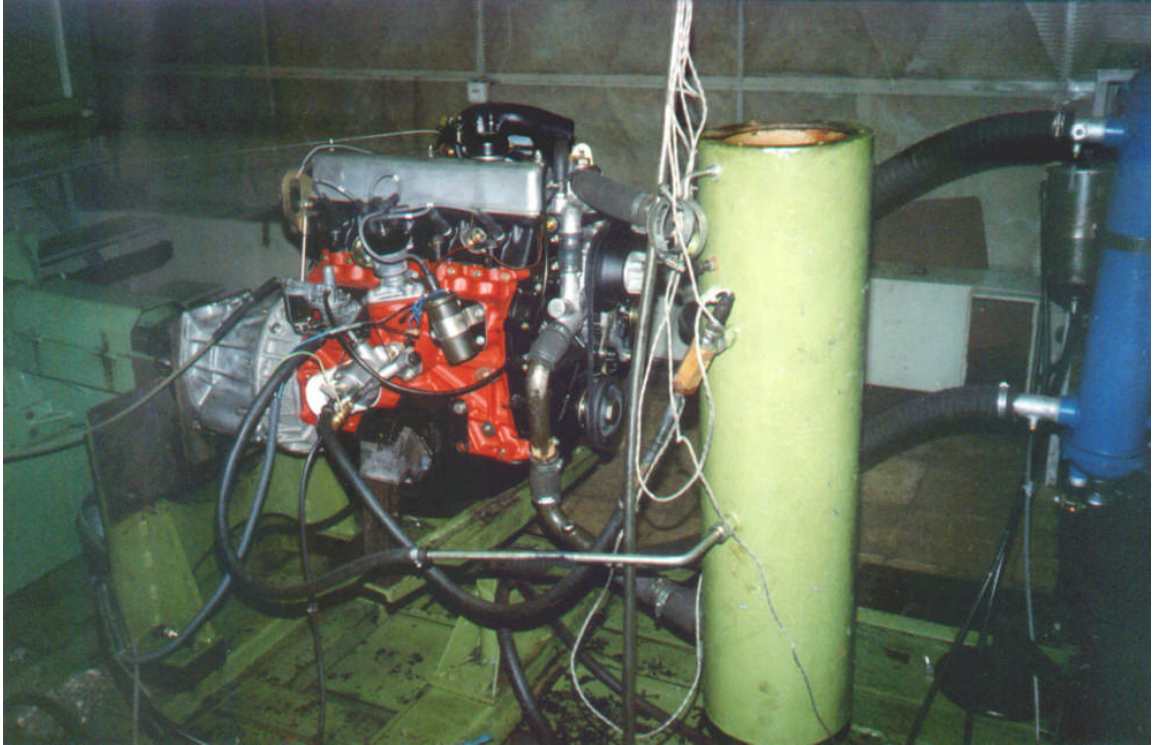
Deneylerde, dört silindirli, su soğutmalı, karbüratörlü LAND ROVER motoru kullanılmıştır. Teknik özellikleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir. Motorun dinamometre üzerinde bağlantılarını gösteren değişik açılardan resimleri Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4’ de görülmektedir.

Çizelge 3.1 Testte Kullanılan 2,5 Lt. Land Rover Motoru Teknik Özellikleri

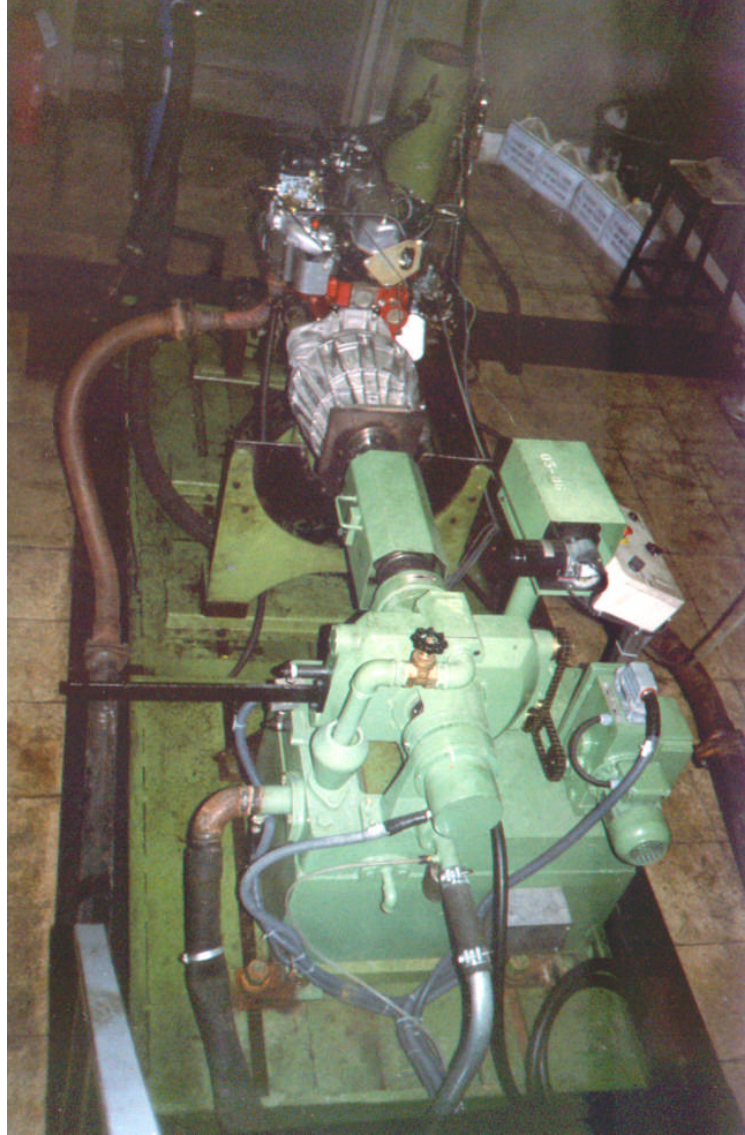
SIRA NO	ÖZELLİK	DEĞER
1	Silindir Hacmi	2495 cm <sup>3</sup>
2	Silindir Çapı	90,47 mm.
3	Kurs Boyu (Strok)	97 mm.
4	Sıkıştırma Oranı	8 : 1
5	Güç	72 HP (4000 d/dk)
6	Tork	175 Nm (2000 d/dk)
7	Ateşleme Sırası	1-3-4-2
8	Kompresyon Basıncı	11,2 kgf/cm <sup>2</sup> (160 lbf/inç <sup>2</sup> (300 d/dk)
9	Relanti Devri	700 d/dk
10	Yüksek Hız Devri	4000 d/dk
11	Relanti Yağ Basıncı	0,7 Bar
12	Yüksek Hız Yağ Basıncı	1,76 Bar
13	Supap Ayar Değerleri	Emme = 0,25 mm.
		Egzoz = 0,25 mm.
14	Silindir Basıncı	8 Bar
15	Sistem Gerilimi	12 Volt



Şekil 3.2 Deneş Motorunun Değişik Açılardan Dinamometre Üzerinde Görüntüsü



Şekil 3.3 Deneş Motorunun Değişik Açılardan Dinamometre Üzerinde Görüntüsü



Şekil 3.4 Deney Motorunun Değişik Açılardan Dinamometre Üzerinde Görüntüsü

### 3.2.2 Motor Test Cihazı

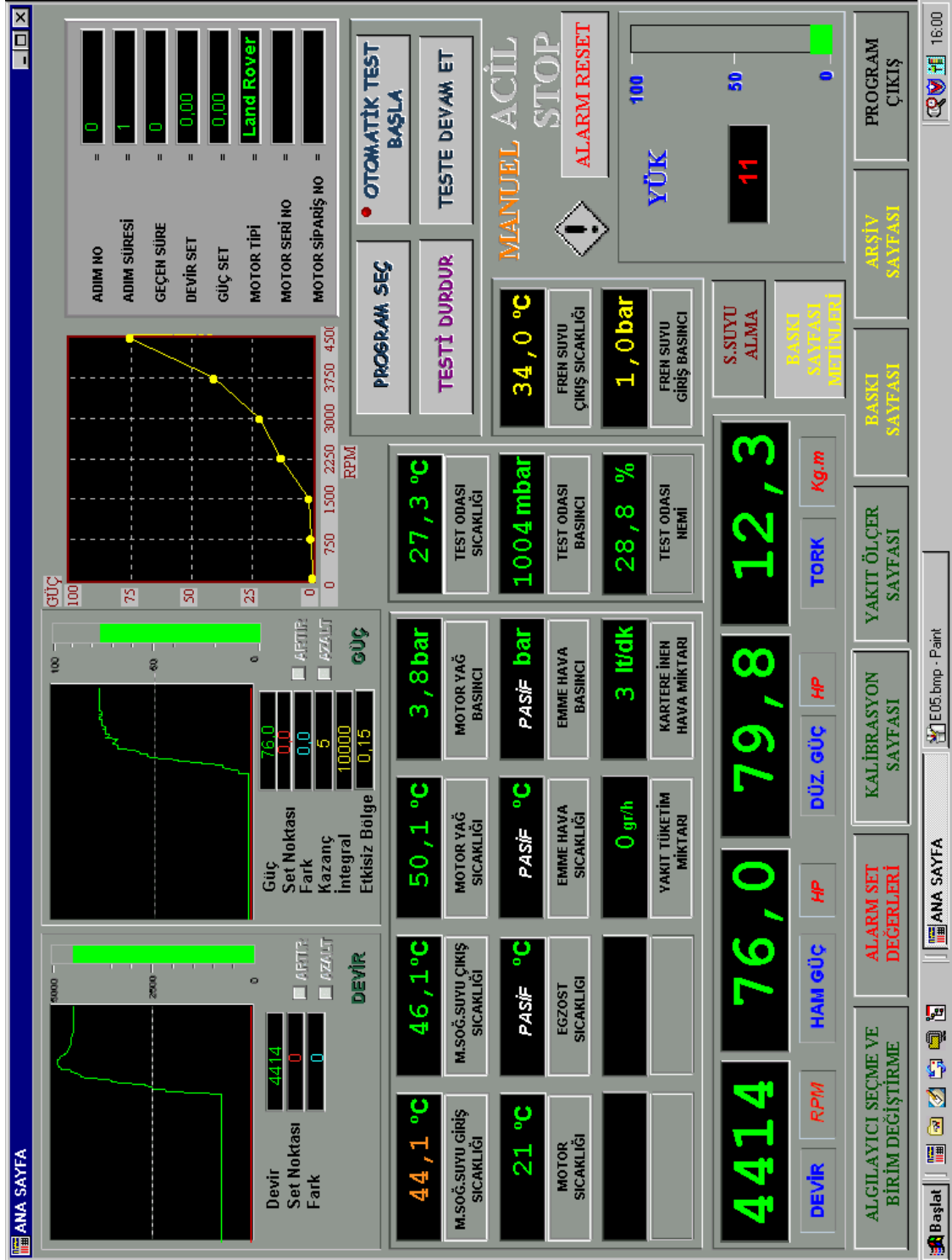
Motor testlerinde maksimum gücü 119 kW ve maksimum devri 7500 d/d olan sulu tip BT-190 modeli motor test cihazı kullanılmıştır. Cihaz teknik özellikleri Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Motor Test Cihazının Teknik Özellikleri

Fren modeli	BT- 190
Maksimum frenleme gücü	119 kW
Maksimum devir	7500 d/d
Maksimum moment	745 Nm
Yük hücresi kapasitesi	2500 N
Maksimum güç için su ihtiyacı	2,4 m <sup>3</sup> / h
Fren suyu basıncı	1-2 kg / cm <sup>2</sup>
Maksimum fren suyu çıkış sıcaklığı	60 °C
Fren kontrol tipi	Kayıcı fan perdeleri ile
Ağırlık sistemi	Metrik-elektronik yük hücresi
Fan adedi	1
Elektrik ihtiyacı	220/380 V. 50 Hz. 3 faz
Dönüş yönü	Sağ dönüşlü

Motor test cihazı ekran görüntüsü Şekil 3.5' te görülmektedir. Bu ekran üzerinde test esnasında motor ile ilgili; devir, ham güç, düzeltilmiş güç, tork, soğutma suyu giriş-çıkış sıcaklıkları, yağ sıcaklığı, egzoz sıcaklığı, dinamometre yükü değerleri ve devir-güç grafiği görülebilmektedir.



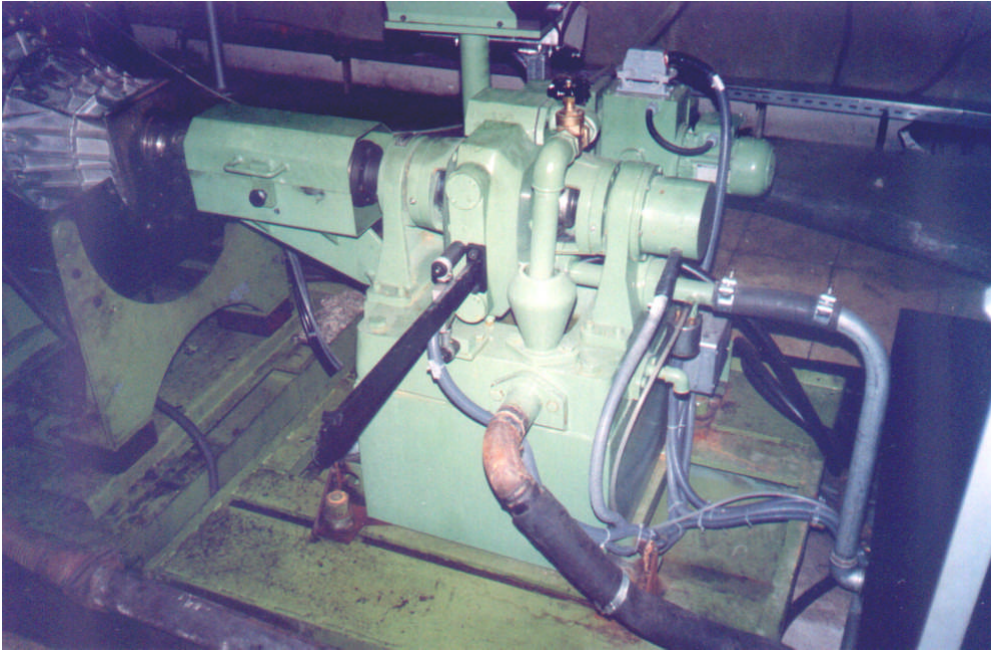


Şekil 3.5 Motor Test Cihazı Ekran Görüntüsü

Motor test cihazı kontrol paneli görüntüsü Şekil 3.6' da, yükleme ünitesi görüntüsü ise Şekil 3.7' de verilmiştir.



Şekil 3.6 Motor Test Cihazı (Dinamometre) Kontrol Paneli



Şekil 3.7 Motor Test Cihazı (Dinamometre) Yükleme Ünitesi

### 3.2.3 Deney Yakıtı

#### BENZİN + ETİL ALKOL

Yapılacak testlerde kullanılacak etil alkol bir kolonya şirketinden temin edilmiş ve litre fiyatı 1.5 YTL olmuştur. %0, %5, %10 ve %20 oranlarında olmak üzere dört karışım kullanılmıştır. Kullanılan yakıtlar Şekil 3.8' de görüldüğü gibi 12 kg.'lık plastik bidonlarda depolanmıştır.

Kullanılacak yakıt olan etanol; karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan sıvı alkoldür ( $C_2H_5OH$ ). Nişasta gibi şekere dönüştürülebilen (karbonhidratlar) veya şeker ihtiva eden (tahıl tohumu gibi) her biyolojik kaynaktan üretilebilmektedir. Dünyada etanol öncelikle mısır tanesi ve tahıl gibi tohumlardan damıtma yöntemiyle (distilasyonla) üretilmiştir.

Her ne kadar selülozik etanol teknolojisi hala gelişmekte ve klasik üretim işlemleriyle fiyat karşılaştırılması yapılmamış olmasına rağmen etanol, tarımsal ve odun artıkları ve hızlı büyüyen ağaçlar ve otlar gibi selüloz malzemelerden de üretilebilmektedir. yaygın olarak mısır, patates, tahıllar, şeker pancarı, şeker kamışı gibi tarım ürünlerinden üretilmektedir.

Bu yüzden un üretiminin fazla yapıldığı ve motorlarda kullanılan ülkeler genellikle bu tür tarım ürünlerinin çokça yetiştirildiği Brezilya, ABD gibi ülkelerdir. temiz, renksiz ve zehir etkisi olmayan bir sıvıdır. yüksek oktan sayısına sahip olması içten patlamalı motorlarda kullanılması için bir avantajdır. üretiminin ve kullanımının yaygınlaşması ile tarım sektörünün ürünleri daha iyi değerlendirilme imkânı bulacak bununda çiftçiye yansımaları kaçınılmaz olacaktır.





Şekil 3.8 Deneyde Kullanılan Yakıtlar

### 3.2.4 Egzoz Gaz Analiz Cihazı

Egzoz emisyonlarının ölçümünde kullanılan Sun MGA 1200 tipi gaz analiz cihazı görüntüsü Şekil 3.9’ da, teknik özellikleri Çizelge 3.3’ te verilmiştir.



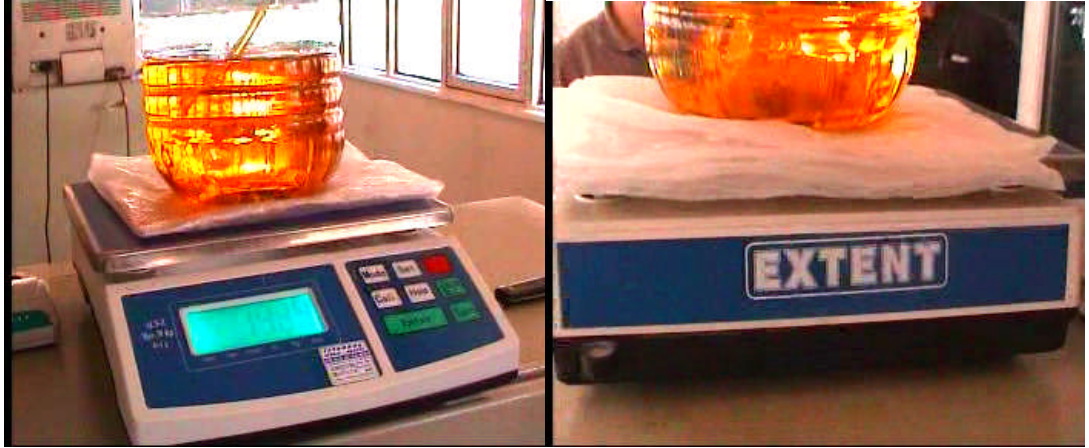
Şekil 3.9 Deneyde Kullanılan Egzoz Gaz Analiz Cihazı

Çizelge 3.3 Sun MGA 1200 Egzoz Gaz Analiz Cihazının Teknik Özellikleri

	Ölçüm Aralığı	Hassasiyeti
Hava Fazlalık Katsayısı ( $\lambda$ )	0.80 - 2.00	0.001
CO (% Hacimsel)	0 - % 10	% 0.01
CO2 (% Hacimsel)	0 - % 20	% 0.01
HC (ppm)	0 - 20000	1
O <sub>2</sub> (% Hacimsel)	0 - % 21	% 0.1

### 3.2.5 Hassas Terazi

Yakıt tüketimi ölçümünde kullanılan 0,01 gram hassasiyetinde ölçüm yapabilen hassas terazi Şekil 3.10' da görülmektedir.



Şekil 3.10 Yakıt Tüketimi Ölçümünde Kullanılan 0.01 Gram Hassasiyetindeki Extent Marka Hassas Terazi

## 4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bütün deneyler TSE 1231 Motorlu Taşıtlar-Muayene ve Deney Esasları'na göre yapılmıştır. Egzoz emisyon değerlerinin ölçülmesi motor relanti devrinde, karakteristik değerlerin tespiti ise, değişken devir tam yükte ölçülmüştür. Ölçümler üç defa tekrarlanarak değerlerin ortalaması esas alınmıştır. Ortam sıcaklığı ortalaması 21,6 ~ 22 °C olmuştur. Motor devirleri 750, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000 d/dk seçilmiştir.

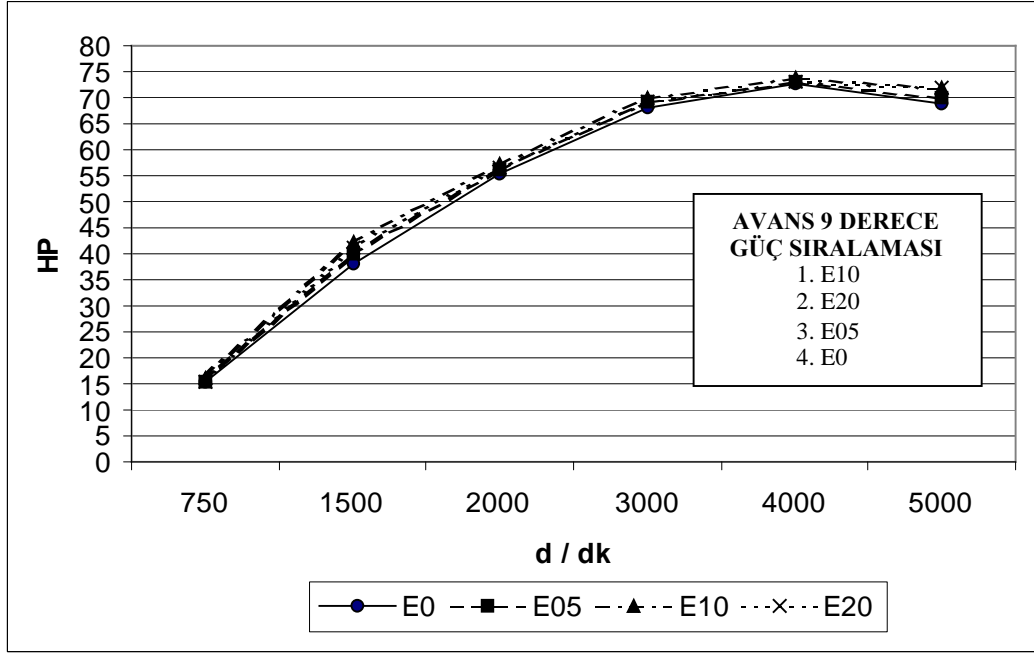
### 4.1 Güç Değişimleri

Motordaki güç değişimleri aşağıdaki grafikler göz önüne alınarak incelendiğinde, motor devri, kullanılan yakıt ve motor avansına göre değişiklik göstermiştir. Buna göre;

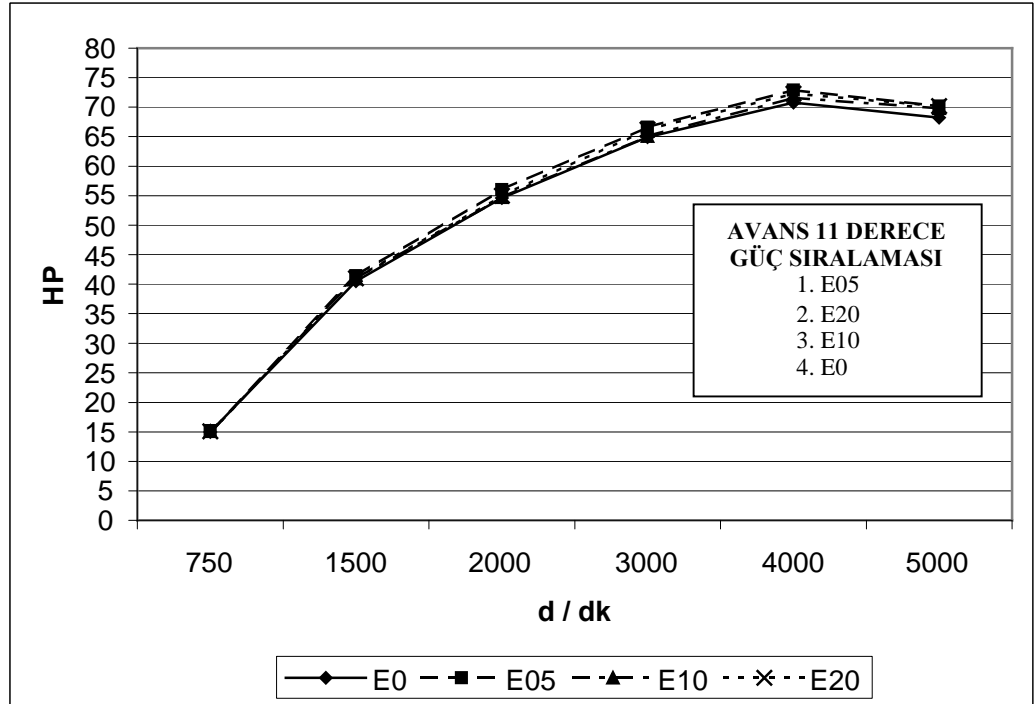
- Motor avansı normal katalog değerinde (9 derece) kullanılarak testler yapıldığında motor gücü E10 yakıtında yüksek elde edilmiştir. En düşük E0 yakıtında elde edilmiştir. Aradaki güç farkı 1.3 HP olmuştur. (Şekil 4.1)

- Motor avansı 11 derece kullanılarak testler yapıldığında motor gücü E05 yakıtında yüksek elde edilmiştir. En düşük E0 yakıtında elde edilmiştir. Aradaki güç farkı 1.4 HP olmuştur. (Şekil 4.2)

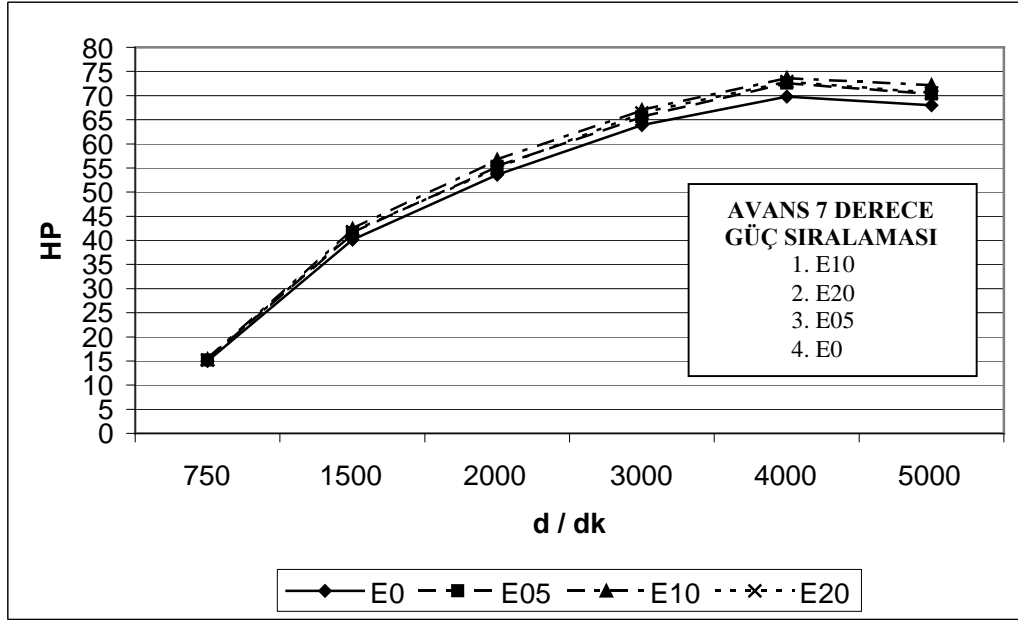
- Motor avansı 7 derece kullanılarak testler yapıldığında motor gücü E10 yakıtında yüksek elde edilmiştir. En düşük E0 yakıtında elde edilmiştir. Aradaki güç farkı 3.8 HP olmuştur. Bunda etanolün oktan sayısını artırması ve ateşlemenin geciktirilmesi ile yanma istenilen seviyeye getirilmiştir. Sadece benzin olan E0'da ise egzozda yanmanın devam ettiği, yanmanın kötüleştiği görülmüştür. (Şekil 4.3)



Şekil 4.1 Avans 9 Derecede Motordaki Güç Değişimleri



Şekil 4.2 Avans 11 Derecede Motordaki Güç Değişimleri



Şekil 4.3 Avans 7 Derecede Motordaki Güç Değişimleri

#### 4.2 Tork Değişimleri

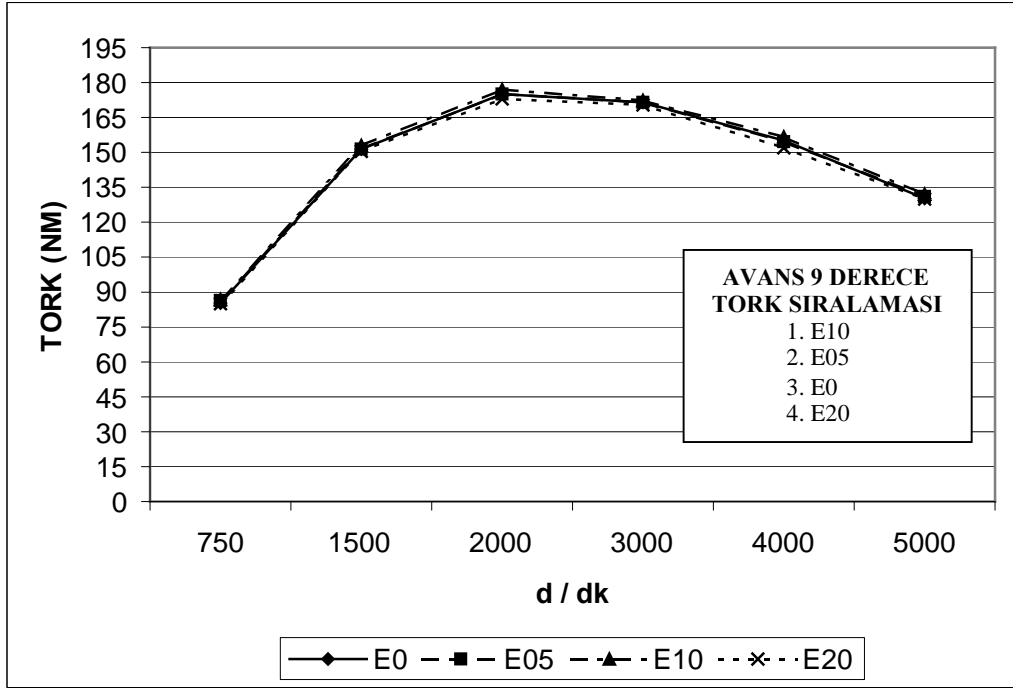
Motordaki tork değişimleri test sonuçlarına göre incelendiğinde, motor devri, kullanılan yakıt ve motor avansına göre değişiklik göstermiştir. Buna göre;

- Motor avansı normal katalog değerinde (9 derece) kullanılarak testler yapıldığında motor torku E10 yakıtında yüksek elde edilmiştir. En düşük E20 yakıtında elde edilmiştir. Aradaki tork farkı 3.93 Nm olmuştur. (Şekil 4.4)

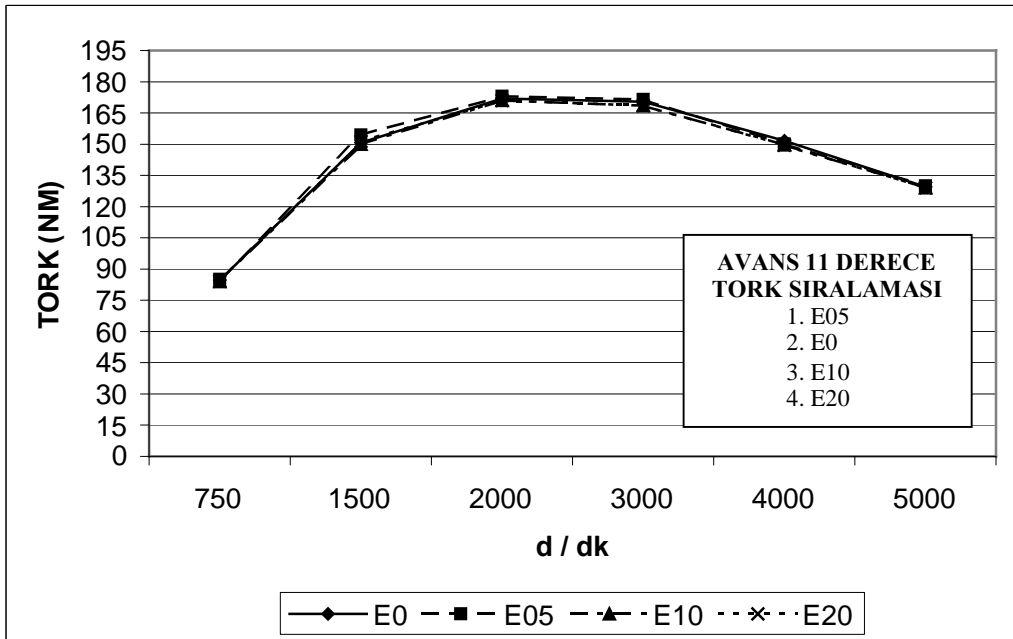
- Motor avansı 11 derece kullanılarak testler yapıldığında motor torku E05 yakıtında yüksek elde edilmiştir. En düşük E20 yakıtında elde edilmiştir. Aradaki tork farkı 2.03 Nm olmuştur. (Şekil 4.5)

- Motor avansı 7 derece kullanılarak testler yapıldığında motor torku E10 yakıtında yüksek elde edilmiştir. En düşük E05 yakıtında elde edilmiştir. Aradaki tork farkı 1.96 Nm olmuştur. (Şekil 4.6)

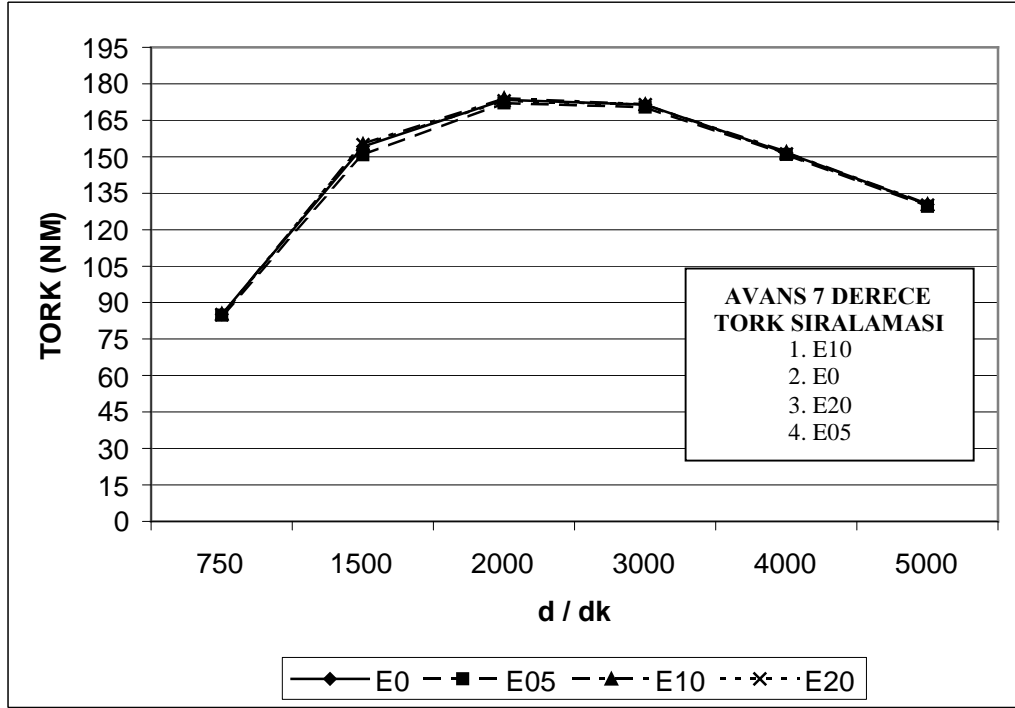
Tork değerleri incelendiğinde benzine katılan etanolün, tork değerinde fazla bir değişim göstermediği görülmüştür.



Şekil 4.4 Avans 9 Derecede Motordaki Tork Değişimleri



Şekil 4.5 Avans 11 Derecede Motordaki Tork Değişimleri



Şekil 4.6 Avans 7 Derecede Motordaki Tork Değişimleri

### 4.3 Özgül Yakıt Sarfiyatı Değişimleri

Özgül Yakıt Tüketiminin Hesaplanması:

Hesaplama da kullanılan yakıt ile motor çalışma kararlılığında ve belirtilen devirde, 10 sn' lik süre içinde tüketilen yakıt miktarı esas alınmıştır. Tüketilen yakıt miktarı 0,01 gram hassasiyetindeki terazi yardımı ile ölçülmüştür.

Terazideki Ölçüm Yakıtının ilk Ağırlık Değeri: **A gram**

Terazideki Ölçüm Yakıtının Son Ağırlık Değeri: **B gram**

Tüketilen Yakıt Miktarı: **A – B = C gram**

Yakıt Tüketimi Esnasında Ölçülen Zaman : **10 saniye**

Bir Saniyede Tüketilen Yakıt Miktarı : **C / 10 = D gram**

Saatlik Yakıt Tüketimi : **D x 3600 = E gram** olarak bulunur.

Test devrinde motordan ölçülen güç ise **F kW** olursa,

Özgül yakıt tüketimi ise;

$$be = Be / Pe$$

$be = E / F$  g/kWh şeklinde bulunur.

Denkleimde;

be: Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)

Be: Saatlik Yakıt Tüketimi (g/h)

Pe: Efektif Motor Gücü (kW)'nü ifade etmektedir.

Motordaki yakıt tüketimi değişimleri test sonuçlarına göre incelendiğinde, motor devri, kullanılan yakıt ve motor avansına göre değişiklik göstermiştir. Buna göre;

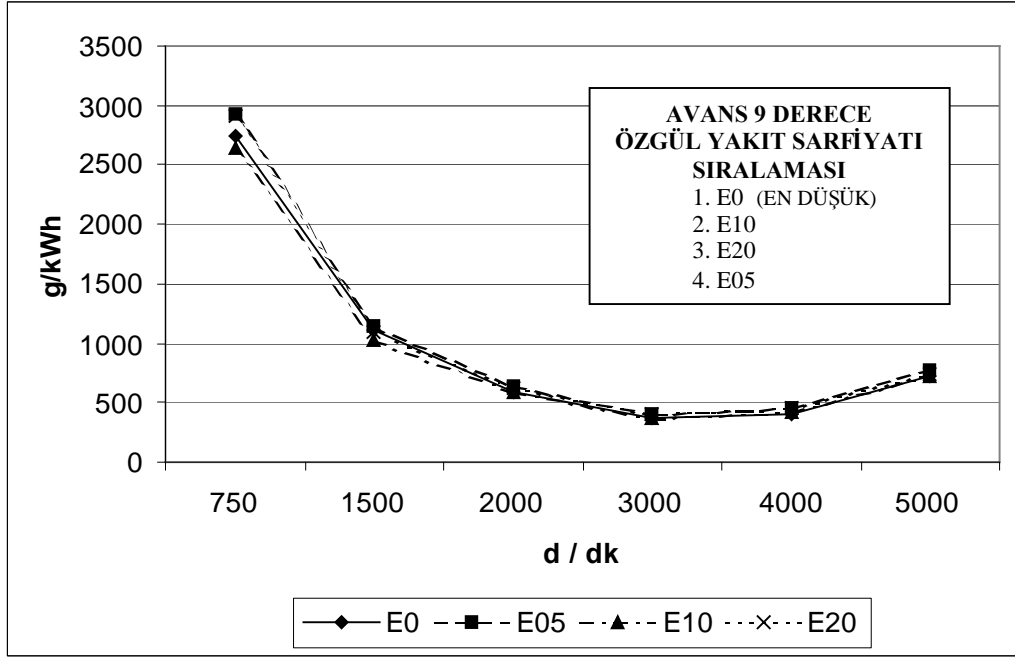
- Motor avansı normal katalog değerinde (9 derece) kullanılarak testler yapıldığında yakıt sarfiyatı E0 yakıtında en düşük elde edilmiştir. En yüksek olarak E05 yakıtında elde edilmiştir. Aradaki özgül yakıt sarfiyatı farkı 43.17 g/kWh olmuştur. (Şekil 4.7)

- Motor avansı 11 derece kullanılarak testler yapıldığında yakıt sarfiyatı E0 yakıtında en düşük elde edilmiştir. En yüksek olarak E20 yakıtında elde edilmiştir. Aradaki özgül yakıt sarfiyatı farkı 125.49 g/kWh olmuştur. (Şekil 4.8)

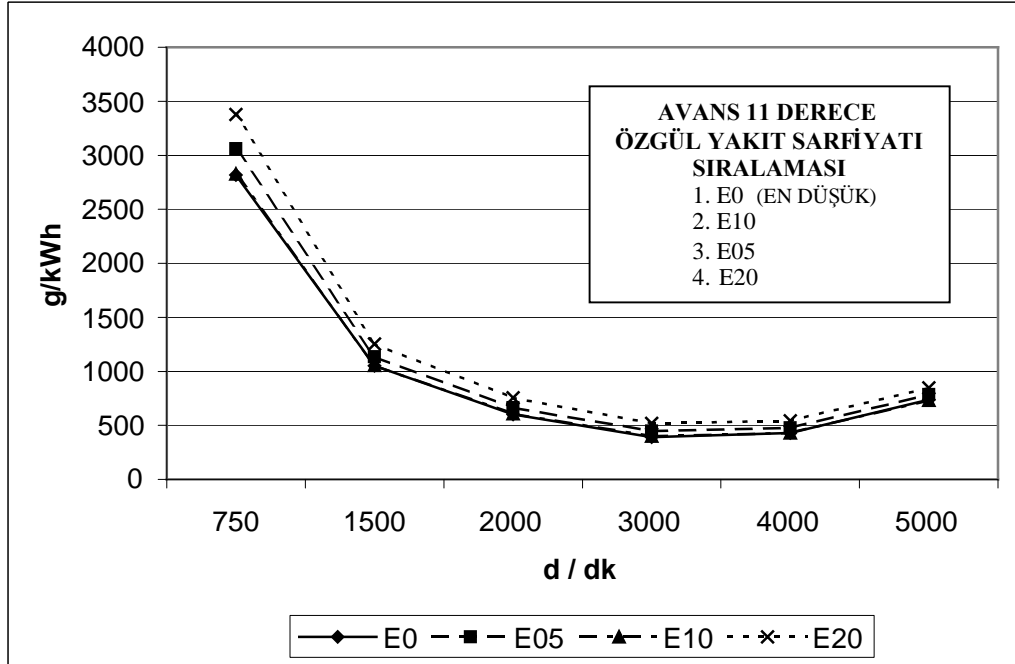
- Motor avansı 7 derece kullanılarak testler yapıldığında yakıt sarfiyatı E10 yakıtında en düşük elde edilmiştir. En yüksek olarak E05 yakıtında elde edilmiştir. Aradaki özgül yakıt sarfiyatı farkı 60.52 g/kWh olmuştur. (Şekil 4.9)

Özgül yakıt sarfiyatı değerleri incelendiğinde benzine katılan etanolün, 9 ve 11 derece avanslarda olumsuz etki yarattığı, 7 derece avansta E0' a nazaran biraz daha ekonomik olduğu görülmüştür. Fakat tüketim değerlerinde hissedilir bir iyileşme olmamıştır. Etil alkol içerisinde bulunan oksijen karışımı fakirleştirdiği için daha fazla yakıtı ihtiyaç olmuş, buda yakıt tüketimini artırmıştır. Burada etanolün litre fiyatının benzininkinden daha düşük olduğu da unutulmamalıdır. Bu durumda yakıt ekonomisinden söz edilebilecektir.

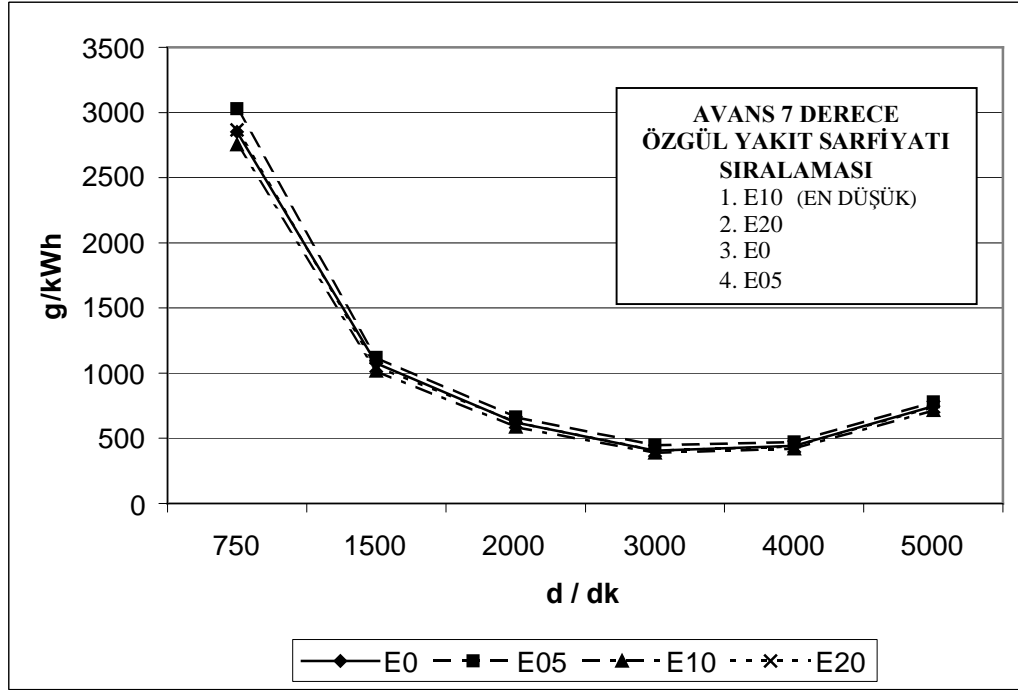




Şekil 4.7 Avans 9 Derecede Motordaki Özgül Yakıt Sarfıyatı Değişimleri



Şekil 4.8 Avans 11 Derecede Motordaki Özgül Yakıt Sarfıyatı Değişimleri



Şekil 4.9 Avans 7 Derecede Motordaki Özgül Yakıt Sarfıyatı Değişimleri

#### 4.4 Egzoz Emisyonlarının Değerlendirilmesi

Egzoz emisyonları “Sun Gas Analyser MGA 1200” test cihazı ile yapılmış ve sonuçlar grafikler halinde aşağıda verilmiştir. Buna göre;

- CO (karbonmonoksit) oranı, etanolün benzine katılması ile çok bariz bir şekilde düşüş göstermiştir. E0’ da oran % 0.95 iken, E20’ de % 0.08 olmuştur. Motor avansına ve kullanılan yakıtı göre değişimleri gösteren grafikler Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12’de verilmiştir.

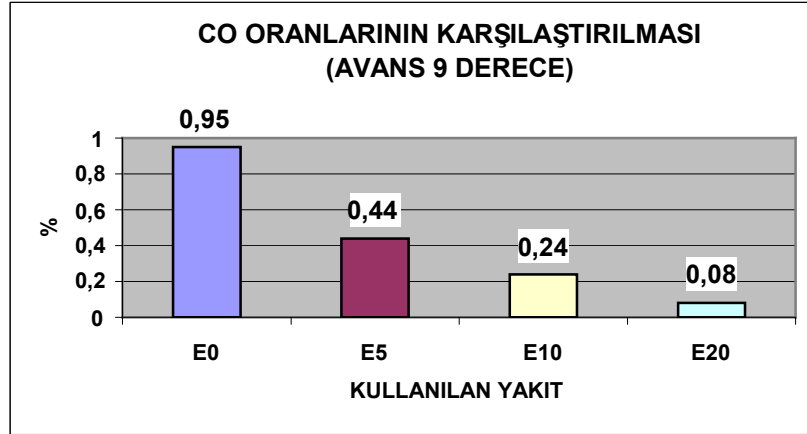
- HC (hidrokarbon) değeri, E0’ da 155 ppm iken, E20’ de 57 ppm’e kadar düşmüştür. Motor avansına ve kullanılan yakıtı göre değişimleri gösteren grafikler Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15’de verilmiştir.

- O<sub>2</sub> (oksijen) değeri, alkol oranı ile orantılı olarak artış göstermiştir. En yüksek değerler doğal olarak E20 ile elde edilmiştir. Motor avansına ve kullanılan yakıtı göre değişimleri gösteren grafikler Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18’de verilmiştir.

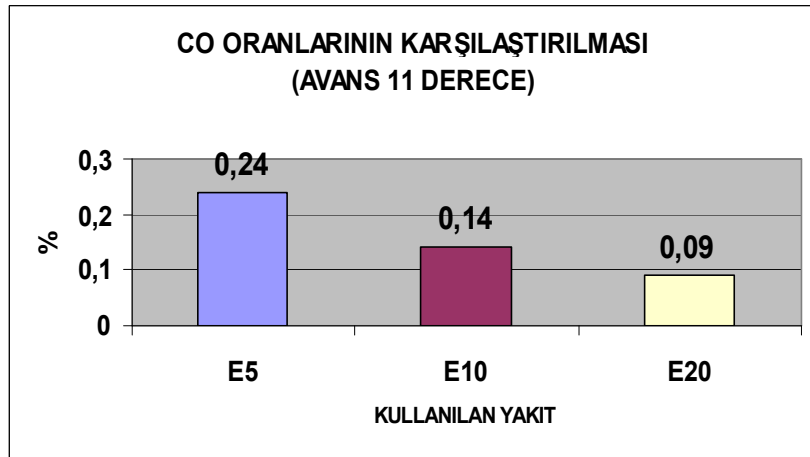
- Hava yakıt oranı olarak yapılan ölçümlerde de, alkol oranı ile orantılı olarak artış gözlenmiştir. En yüksek değerler doğal olarak E20 ile elde edilmiştir. Motor avansına ve kullanılan yakıtı göre değişimleri gösteren grafikler Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21’de verilmiştir.

Elde edilen bu değerler etanolün çevreci bir yakıt olduğunun göstergesidir. Aşağıda motor relanti devrinde iken egzoz gaz analiz cihazı ile ölçülen karbonmonoksit değerleri de yer almaktadır. diğer parametrelere ait grafiklere de yer verilmiştir.

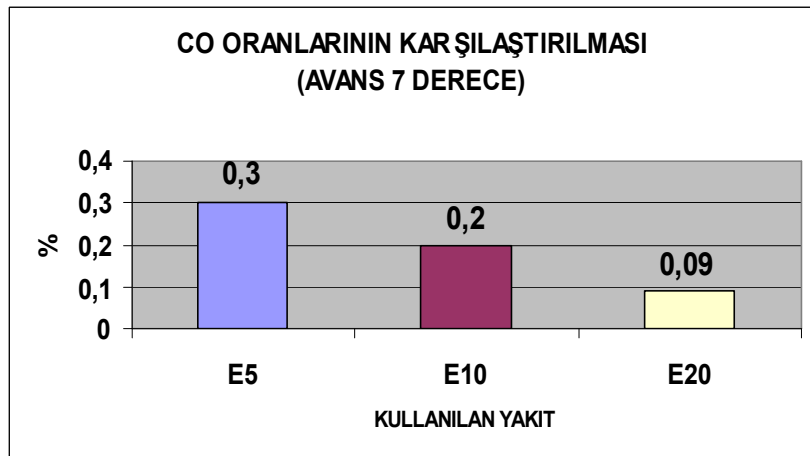
CO ve HC değerlerinin düşük çıkması yanmanın daha iyi gerçekleştiğinin bir göstergesidir. Ayrıca etil alkol içerisinde bulunan oksijenin ( $C_2H_5OH$ ), yanma esnasında hava ile beraber alınan oksijenden dolayı oksijen eksikliğini gidermektedir. Sonuçta tam yanma ürünü olan  $CO_2$  daha fazla çıkmaktadır.



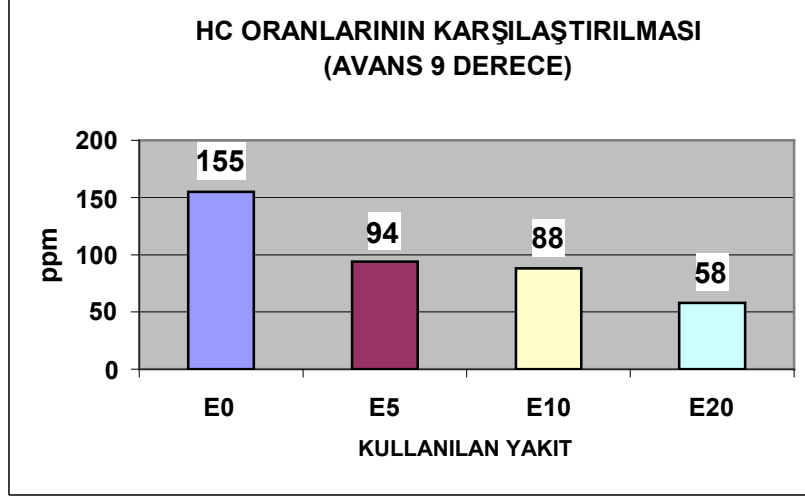
Şekil 4.10 Avans 9 Derecede CO Emisyonu Değişimleri



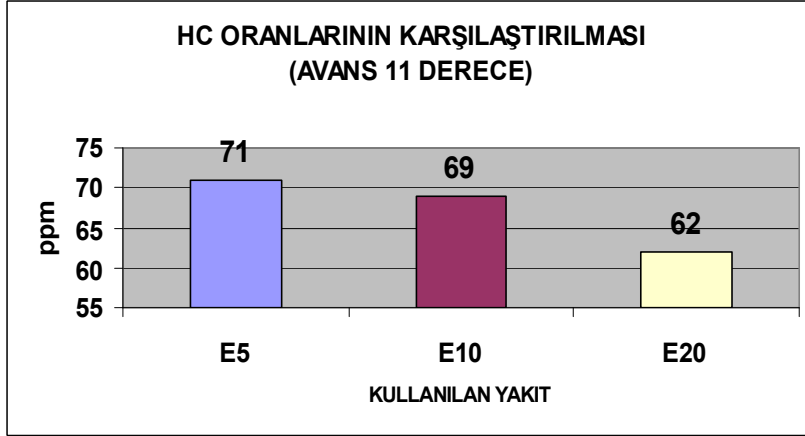
Şekil 4.11 Avans 11 Derecede CO Emisyonu Değişimleri



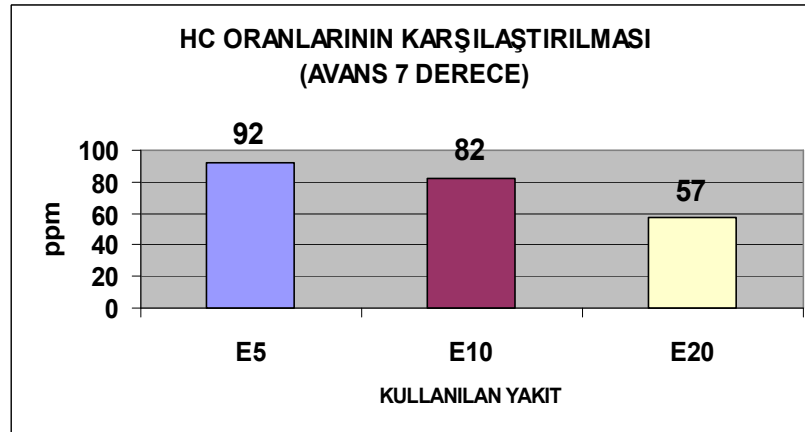
Şekil 4.12 Avans 7 Derecede CO Emisyonu Değişimleri



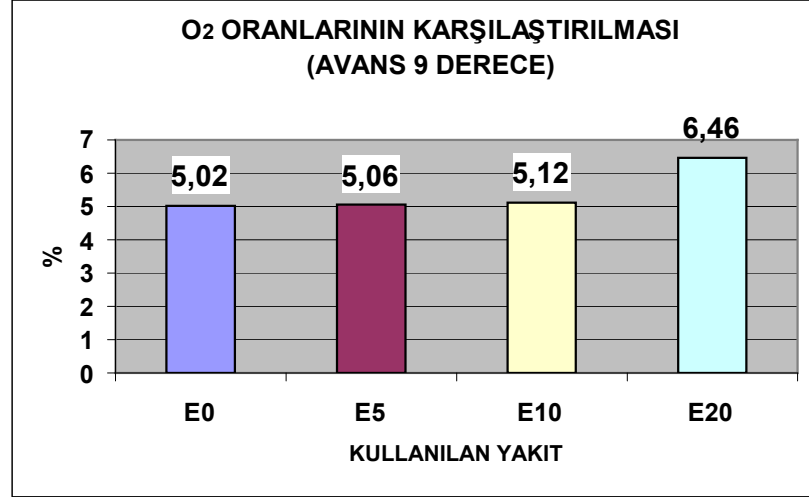
Şekil 4.13 Avans 9 Derecede HC Emisyonu Değişimleri



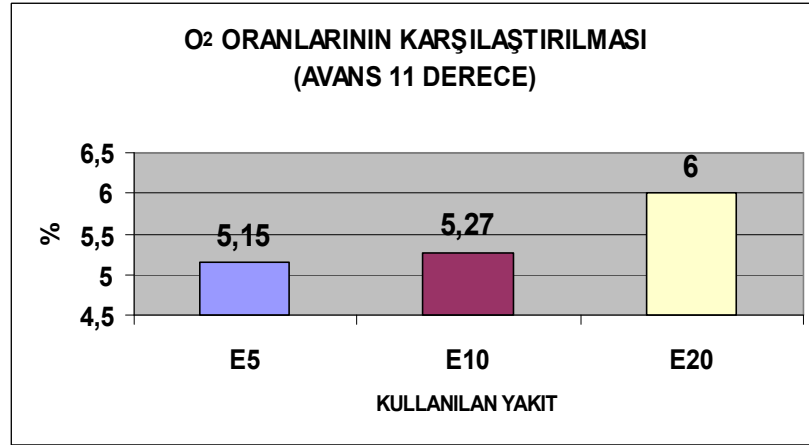
Şekil 4.14 Avans 11 Derecede HC Emisyonu Değişimleri



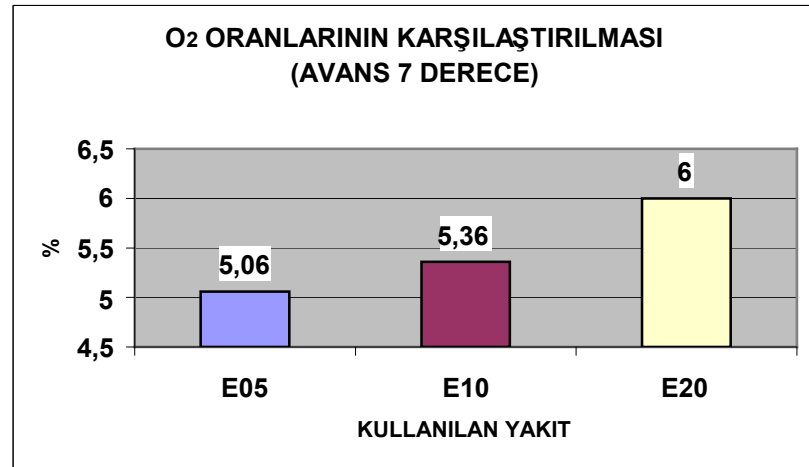
Şekil 4.15 Avans 7 Derecede HC Emisyonu Değişimleri



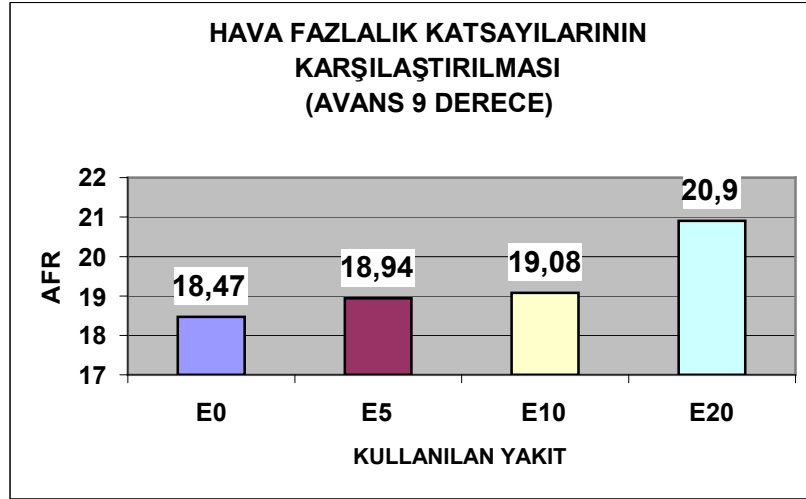
Şekil 4.16 Avans 9 Derecede O<sub>2</sub> Emisyonu Değişimleri



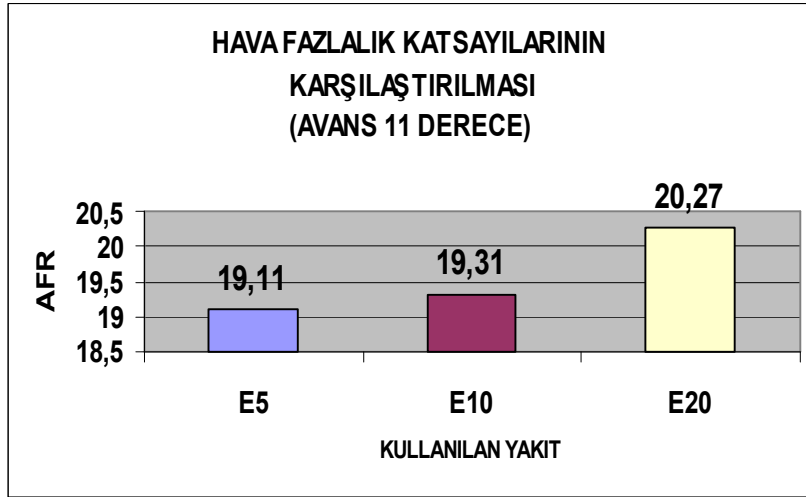
Şekil 4.17 Avans 11 Derecede O<sub>2</sub> Emisyonu Değişimleri



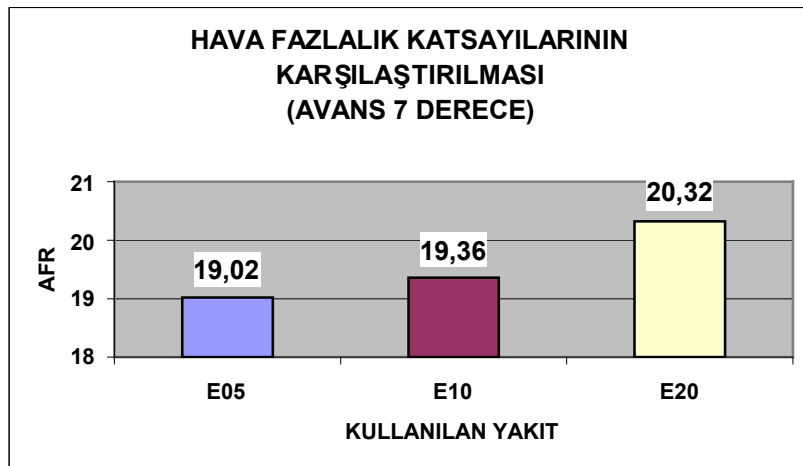
Şekil 4.18 Avans 7 Derecede O<sub>2</sub> Emisyonu Değişimleri



Şekil 4.19 Avans 9 Derecede AFR Değişimleri



Şekil 4.20 Avans 11 Derecede AFR Değişimleri



Şekil 4.21 Avans 7 Derecede AFR Değişimleri

#### 4.5 Genel (Ekonomik) Verimlerin Karşılaştırılması

Faydalı işe çevrilen enerjinin motora verilen ısı enerjisine oranı “genel verim” veya “ekonomik verim” olarak adlandırılır. Ekonomik verim motora verilen ısı enerjisinin yüzde kaçının faydalı işe çevrildiğini gösterir ve genel olarak Otto motorlarında % 25, dizel motorlarında % 28 dolayındadır. Verim ne kadar fazlaysa özgül yakıt sarfiyatı o kadar azdır. Verim denklemi şu şekildedir :

$$\eta_e = \frac{3,6 \times 10^6}{b_e \times Hu} \quad \text{Burada;}$$

$\eta_e$  = Ekonomik (Genel) Verim

$H_u$  = Yakıtın 1 Kilogramının Verdiği Isı (kJ/kg)

Benzin için; 43400 kJ/kg

Etanol için; 26900 kJ/kg

$b_e$  = Özgül Yakıt Sarfiyatı (g/kWh)

Yukarıda verilen formüle göre hesaplamalar yapılmış ve buna göre;

- Motor avansı 9 derece iken, en yüksek verim motor devri 3000 d/dk’ da %22,8 ile E10’ dan elde edilmiştir. Aynı devirde en düşük verim %20,6 ile E05’ den elde edilmiştir. Burada, benzinin  $H_u$  değeri tek kullanıldığında 43400 kJ/kg iken, örneğin; E10 yakıtında %10 oranında etanol ile karıştırıldığında;

$$H_u = (0,90 \times 43400) + (0,10 \times 26900) = 41750 \text{ kJ/kg} \quad \text{gibi bir değere}$$

düşmektedir. Aynı hesaplamalar E05’ de yapıldığında  $H_u = 42575$  kJ/kg, E20’ de ise  $H_u = 40100$  kJ/kg elde edilmiştir.

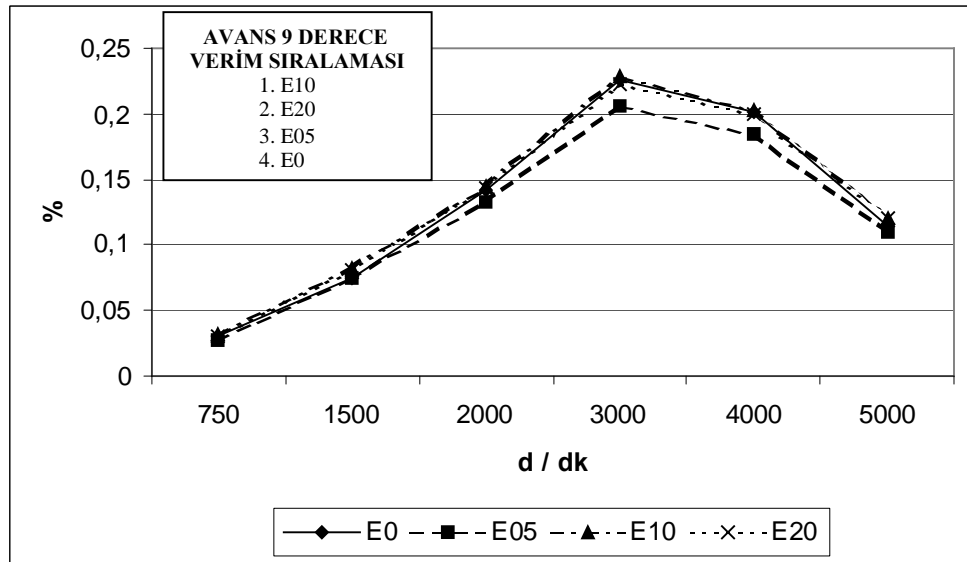
Formül incelendiğinde, verimi etkileyen iki önemli husus bulunmaktadır. Bunlardan biri özgül yakıt sarfiyatı, diğeri yanma ısısıdır. Özgül yakıt sarfiyatının ve yanma ısısının düşük olması verimin artışına sebep olmaktadır. Alkol karışımlarında aynı zamanda emme zamanında içeri alınan dolgu miktarının artması volumetrik verimin artmasını sağlayacaktır. (Şekil 4.22)



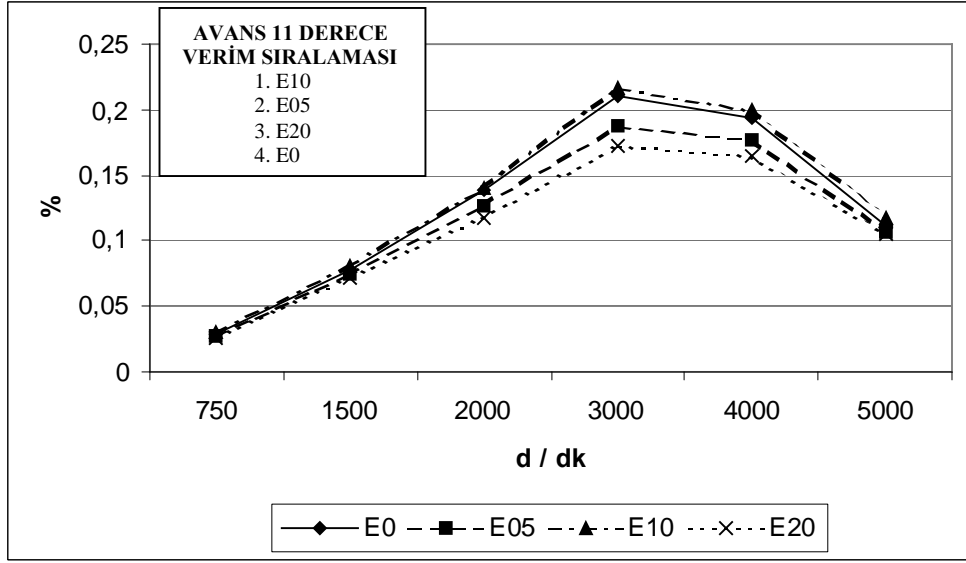
- Motor avansı 11 derece iken, en yüksek verim motor devri 3000 d/dk' da %21,6 ile yine E10'dan elde edilmiştir. Aynı devirde en düşük verim ise %17,3 ile E20' den elde edilmiştir. (Şekil 4.23)

- Motor avansı 7 derece iken, en yüksek verim ise, motor devri 3000 d/dk' da %22,2 ile E10' dan, en düşük verim ise %18,8 ile E05' den elde edilmiştir. (Şekil 4.24)

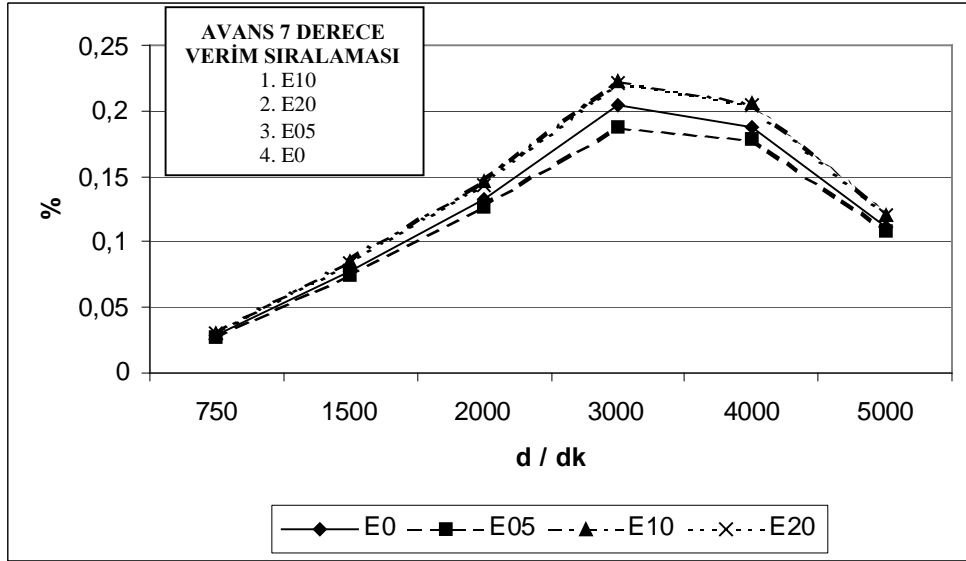
Aşağıda genel verimlerin grafiksel karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 4.22 Motor Verimlerinin Karşılaştırılması (Avans 9 Derece)



Şekil 4.23 Motor Verimlerinin Karşılaştırılması (Avans 11 Derece)



Şekil 4.24 Motor Verimlerinin Karşılaştırılması (Avans 7 Derece)

#### 4.6 Ortalama Efektif Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması

Basınç; birim alana etki eden kuvvet şeklinde tanımlanmaktadır. Motorda ise, silindir içerisinde oluşan basınç olarak “Ortalama Efektif Basınç” hesaplamalarda kullanılmıştır. Hesaplama şekli aşağıda olduğu gibidir :

$$P_e = \frac{N_e \times 60}{V_h \times i \times n} \text{ Burada ;}$$

$P_e$  : Ortalama Efektif Basınç (kPa)

$N_e$  : Efektif Güç (kW)

$V_h$  : Toplam Kurs Hacmi (m<sup>3</sup>)

$i$  : Sabit Sayı (Dört zamanlı motorlarda 0,5 alınır)

$n$  : Motor devri (d/dk)

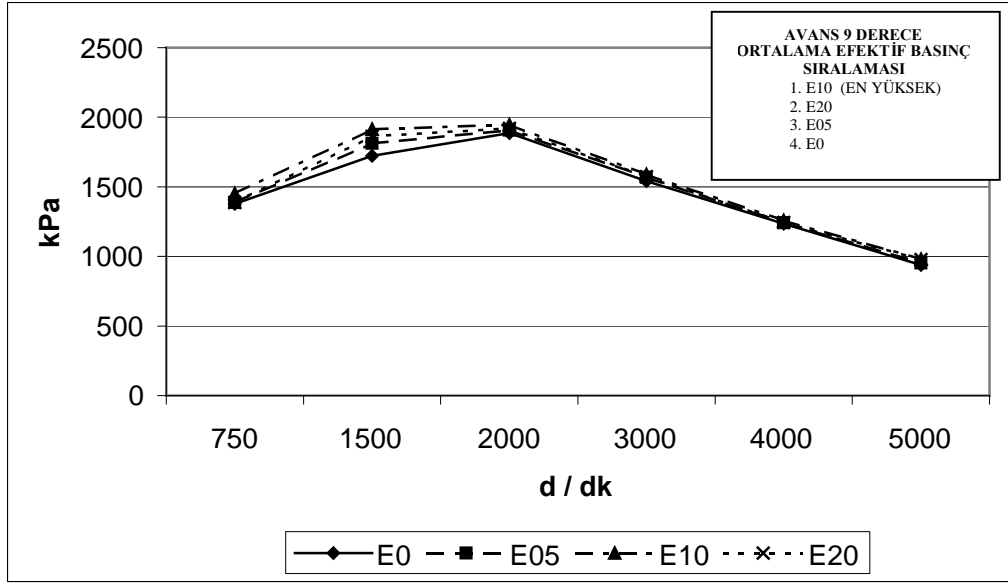
Yukarıda verilen formüle göre hesaplamalar yapılmış ve buna göre;

- Motor avansı 9 derece iken, en yüksek ortalama efektif basınç motor devri 2000 d/dk’ da 1944,75 kPa ile E10’dan elde edilmiştir. Aynı devirde en düşük ortalama efektif basınç 1887 kPa ile E0’dan elde edilmiştir. (Şekil 4.25)

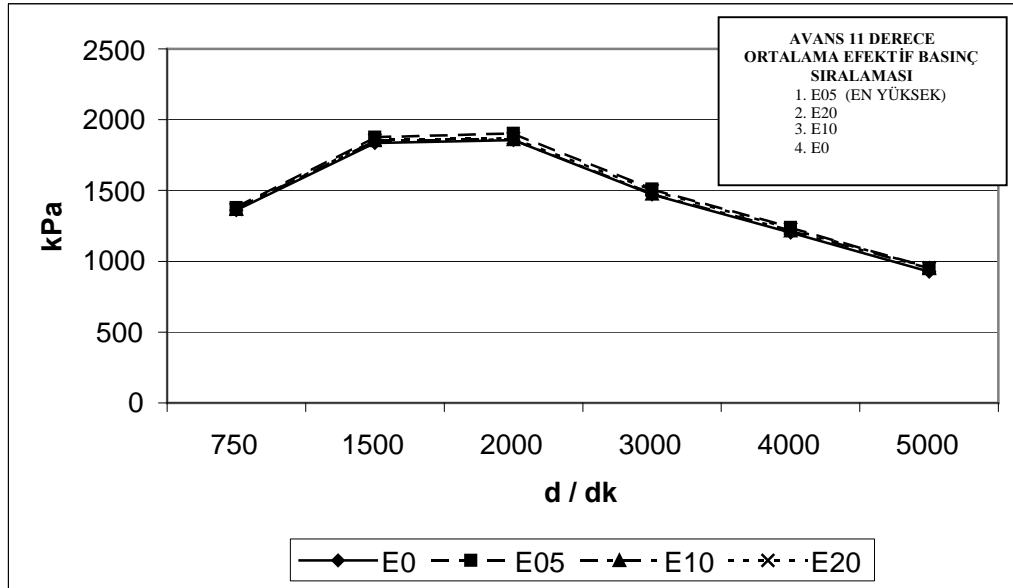
- Motor avansı 11 derece iken, en yüksek ortalama efektif basınç motor devri 2000 d/dk’ da 1904 kPa ile E05’den elde edilmiştir. Aynı devirde en düşük ortalama efektif basınç 1856,25 kPa ile E0’dan elde edilmiştir. (Şekil 4.26)

- Motor avansı 7 derece iken, en yüksek ortalama efektif basınç motor devri 2000 d/dk’ da 1927,75 kPa ile E10’dan elde edilmiştir. Aynı devirde en düşük ortalama efektif basınç 1822,25 kPa ile E0’dan elde edilmiştir. (Şekil 4.27)

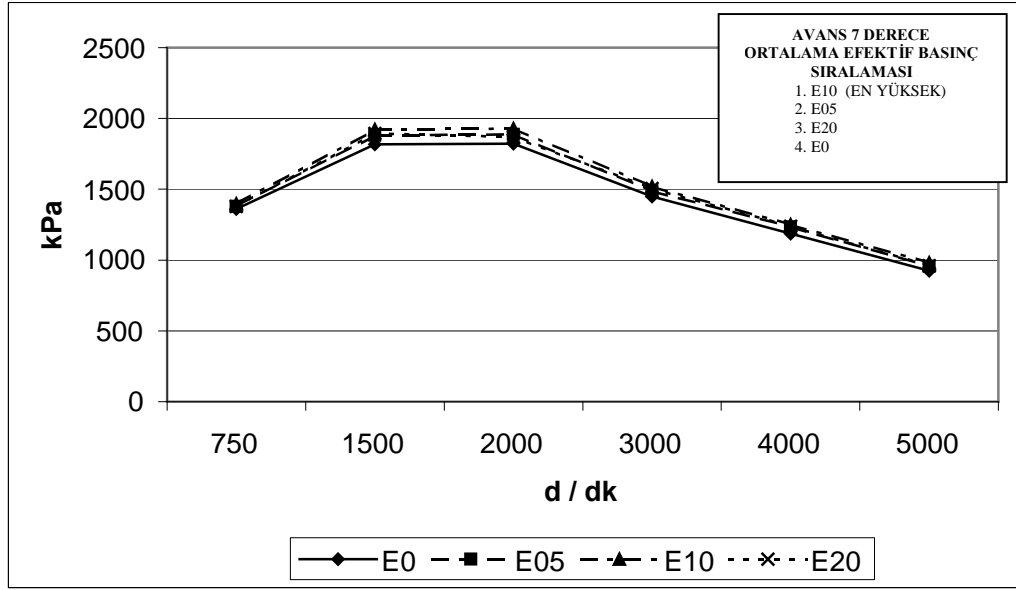
Ölçülen değerler incelendiğinde; alkol karışımlarında ortalama efektif basınç değerlerinin, volumetrik verimin artması ve yanmanın iyi olması ile yüksek olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.25 Ortalama Efektif Basınçların Karşılaştırılması (Avans 9 Derece)



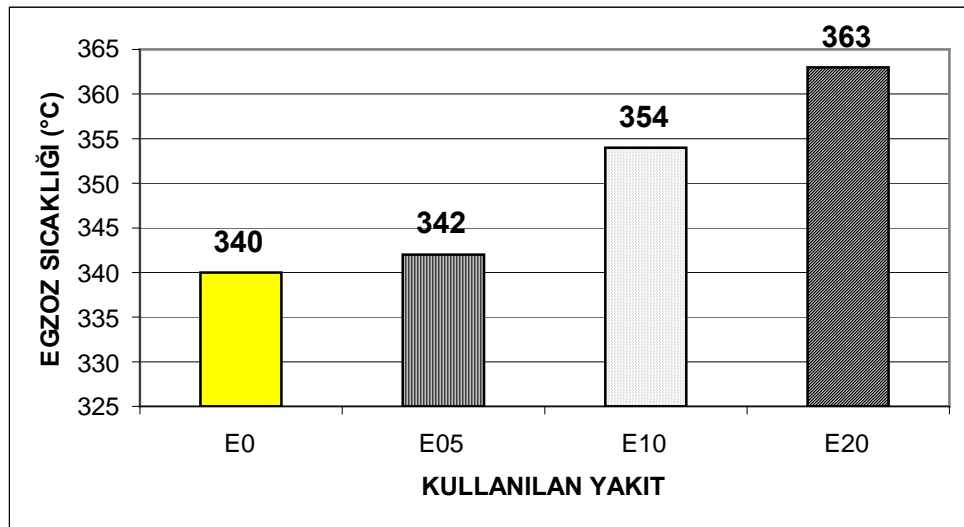
Şekil 4.26 Ortalama Efektif Basınçların Karşılaştırılması (Avans 11 Derece)



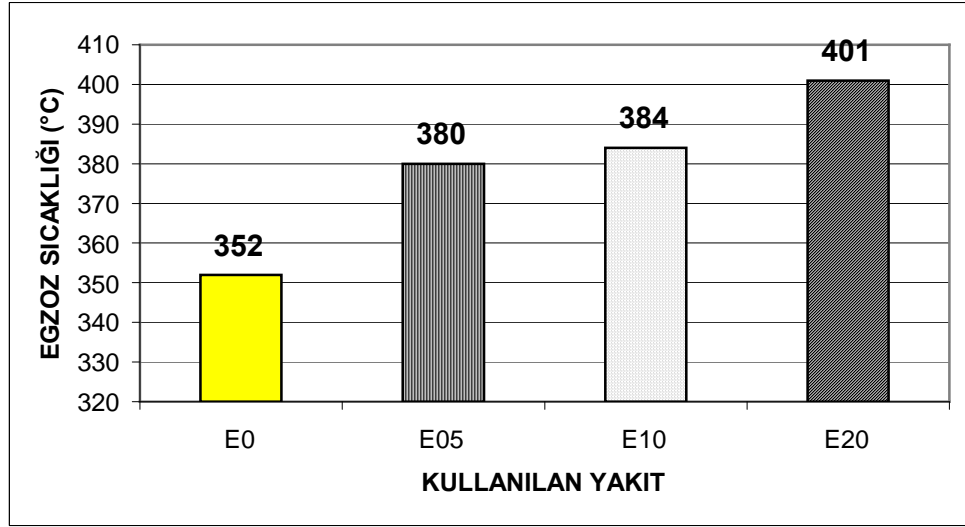
Şekil 4.27 Ortalama Efektif Basınçların Karşılaştırılması (Avans 7 Derece)

#### 4.7 Egzoz Sıcaklıkları Yönüyle Karşılaştırılması

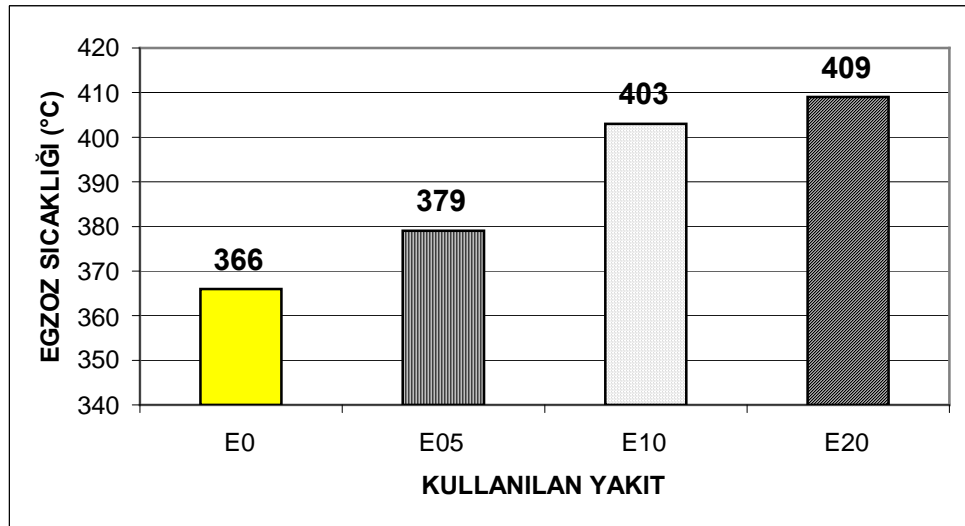
Kullanılan yakıtların test esnasında 4000 d/dk' da egzoz sıcaklıkları tespit edilerek Şekil 4.28, 4.29 ve 4.30' da görülen grafikler elde edilmiştir. Buna göre kullanılan etanol oranı artırıldıkça yanmanın daha iyi olması nedeniyle egzoz sıcaklığının arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.28 Egzoz Sıcaklığı Değişimi (Avans 9 Derece)



Şekil 4.29 Egzoz Sıcaklığı Değişimi (Avans 11 Derece)



Şekil 4.30 Egzoz Sıcaklığı Değişimi (Avans 7 Derece)

## SONUÇ VE ÖNERİ

Sunulan çalışmada; bir buji-ateşlemeli motorda, benzin ve benzin-etanol karışımı yakıtlarının kullanılması durumunda motor performans özelliklerinin motor dinamometresinde, egzoz emisyonlarının da egzoz emisyon test cihazında uygulamalı olarak sonuçlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

Uygulamaların birinci aşamasında; kullanılacak yakıtlar hazırlanmıştır. Bunun için; % 0, % 5, % 10 ve % 20 oranlarında benzin-etanol karışımı piyasadan temin edilerek hazırlanmıştır.

Uygulamaların ikinci aşamasında; hazırlanan yakıt karışımları 2,5 lt.'lik benzinli bir Land Rover motorunda sırasıyla teste tabi tutulmuştur. Testlere başlamadan önce motor ile ilgili ayarlar yapılmış, TS 1231 standardında da belirtildiği gibi çalışma sıcaklığına getirilmiş ve ardından testlere geçilmiştir. Her yakıt için önce motor relanti devrinde çalışırken egzoz emisyonları ölçülmüş, sonra tam yük değişken devir testi yapılarak motor karakteristik değerleri elde edilmiştir. Yapılan testler motorun değişik avans değerlerinde nasıl bir etki göstereceğini tespit etmek amacıyla önce motor katalog değeri olan 9 derece avansta, sonrada 11 ve 7 derece avanslarda aynı teste tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre gerekli matematiksel hesaplamalar ile de motor verimi, ortalama efektif basınç değerleri de tespit edilmiştir. Değerler grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Buna göre elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir:

1. En yüksek efektif güç, aradaki farklar çok az olmakla beraber; avans 9 ve 7 derecede iken E10 ile elde edilmiştir. Avans 11 derece olduğunda ise E05 değeri yüksek çıkmıştır. Sadece benzin kullanılması durumunda yapılan testlerde değerler benzin-etanol karışımlarına göre düşük çıkmıştır. En yüksek değer E10 yakıtı ile 4000 d/dk' da ve 9 derece avansta 74 HP olarak elde edilmiştir.

2. En yüksek tork değeri, yine aradaki farklar son derece az olmakla birlikte; motor avansı 9 ve 7 derecede E10, 11 derecede E05 ile elde edilmiştir. En yüksek değer E10 yakıtı ile 2000 d/dk' da ve 9 derece avansta 176,96 Nm olarak elde edilmiştir.

3. Özgül yakıt tüketimleri değerlendirildiğinde ise, etanol ile çalışan motorun özgül yakıt tüketimi yüksek elde edilmiştir. Fakat etanolün litre fiyatının benzine göre yarı yarıya düşük olması ve aynı zamanda gelecekte kendi yakıtımızı kendimizin üreteceği düşünüldüğünde bu olumsuzluk göz ardı edilebilecektir. Bu durumda, etanolün motorlarda yaygın olarak kullanılabilmesi için ucuz yöntemlerle bol miktarlarda üretilmesi gerekmektedir. En düşük özgül yakıt tüketimi benzin ile elde edilmiştir.

4. Egzoz emisyonları yönüyle yapılan değerlendirmede çok bariz olarak, benzine etanol karıştırıldığında, CO ve HC değerleri düşük çıkmıştır. Bunda etanolün kimyasal yapısı içerisinde yer alan oksijenin ( $C_2H_5OH$ ) bu duruma etkisinin olumlu yönde olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda  $CO_2$  değeri de buna bağlı olarak yüksek çıkmıştır. Buda yanmanın iyi olduğunun ve yanma odası sıcaklığının yüksek olduğunun göstergesidir.

5. Motor verimleri yönüyle değerlendirildiğinde, E10 yakıtında motor devri 3000 d/dk' da en yüksek verim elde edilmiştir. En düşük verim aynı devirde E0 yakıtı ile elde edilmiştir. Bu durum karışım oluşturulduğunda elde edilen yakıtın verdiği ısı enerjisinin düşmesinden ve volümetrik verimin artmasından kaynaklanmaktadır.

6. Ortalama efektif basınç değerleri yönüyle değerlendirildiğinde, E10 yakıtında motor devri 2000 d/dk' da ve motor avansı 9 derecede 1944,75 kPa ile en yüksek basınç değeri elde edilmiştir. En düşük ortalama efektif basınç değeri ise aynı devirde E0 yakıtı ile elde edilmiştir. Yanmanın iyi olması neticesinde alkol karışımları ortalama efektif basınç değerlerinin yükselmesine neden olmuştur.



7. Motor egzoz sıcaklığı 4000 d/dk' da yapılan ölçümlerde, etanol oranı artırıldıkça yükseldiği gözlenmiştir. Bu durumun özellikle yanmanın iyi olması, etanol içerisindeki oksijenin yanmaya olumlu etkisinden kaynaklandığı ve NOx değerlerinin azalmasına olumlu etki edeceği yönüyle değerlendirilmiştir.

8. Aynı zamanda etanolün oktan sayısını artırıcı özelliğinin olması, bu yakıtlar için daha yüksek sıkıştırma oranlarının seçilmesine olanak sağlayabilir. Bu durumda benzin-etanol karışımı veya sadece etanol ile çalışan motor tasarımları yapılarak motorların verimleri arttırılabilir ve yakıt tüketimleri iyileştirilebilir. Aynı zamanda etanolün teorik yakıt/hava oranı benzininkinden daha yüksek olduğu için, etanol yakıtlı motorlarda daha düşük ekivalans oranlarının seçilmesine olanak sağlayabilir.

9. Genel olarak özetlenecek olursa: günümüz benzinli taşıt motorlarında, hiçbir yapısal değişiklik yapılmaksızın etanol-benzin ile en uygun % 10 oranında karıştırılarak kullanılabilir. Bu yakıt karışımının motor gücüne veya torkuna önemsenecek derecede bir katkısı olmamakla birlikte, egzoz emisyonları açısından önemli bir avantaj oluşturmaktadır. Üretim yönüyle değerlendirildiğinde etanol bugün şeker üreten fabrikalarda rahatlıkla elde edilebilmektedir. Aynı zamanda ülkemiz gibi tarım toplumu olan yerlerde üretilen mısır, şeker pancarı, şeker kamışı, patates, buğday gibi ürünlerden biyoetanol elde edilmesi aynı zamanda ülke ekonomisine de büyük yararlar sağlayacaktır. Bu durumda etanolün litre fiyatı düşecek ve çevreci bir yakıt olması ile beraber petrole bağımlı olmayan bir toplum haline gelinebilecektir.

**EK A**

**Çizelge A.1 Motor Gücü Test Değerleri (HP)**

AVANS 9°	MOTOR DEVRİ (d/dk)					
	750	1500	2000	3000	4000	5000
<b>E0</b>	15,2	38	55,5	68	72,7	69
<b>E05</b>	15,3	40	56,1	69,2	73,1	70,1
<b>E10</b>	16	42,2	57,2	70,1	74	72,1
<b>E20</b>	15,3	41,1	56,5	69,4	73,2	71,9
AVANS 11°	MOTOR DEVRİ (d/dk)					
	750	1500	2000	3000	4000	5000
<b>E0</b>	15	40,5	54,6	64,9	70,8	68,2
<b>E05</b>	15,2	41,4	56	66,6	72,9	70,2
<b>E10</b>	15,1	40,9	54,7	65,1	71,6	69,8
<b>E20</b>	15,1	41	55	66,2	72,3	70,2
AVANS 7°	MOTOR DEVRİ (d/dk)					
	750	1500	2000	3000	4000	5000
<b>E0</b>	15	40,1	53,6	63,9	69,8	68
<b>E05</b>	15,2	41,5	55,3	65,6	72,6	70,3
<b>E10</b>	15,4	42,4	56,7	67	73,6	72,2
<b>E20</b>	15,2	41,8	55	66,4	72,9	70,6

**Çizelge A.2 Motor Torku Test Değerleri (Nm)**

AVANS 9°	MOTOR DEVRİ (d/dk)					
	750	1500	2000	3000	4000	5000
<b>E0</b>	85,2	151,4	175	171,51	155,12	130,25
<b>E05</b>	86,3	151,4	175	171,55	154,6	131
<b>E10</b>	86,8	152,9	176,96	172,35	156,7	132
<b>E20</b>	85	150,44	173,03	170,45	152	130
AVANS 11°	MOTOR DEVRİ (d/dk)					
	750	1500	2000	3000	4000	5000
<b>E0</b>	84,8	150,7	172	170,32	151,7	129,5
<b>E05</b>	85	154,4	173,03	171,4	150,1	130
<b>E10</b>	84	150	171	168,6	149,6	129,1
<b>E20</b>	84,1	151,4	171	168,5	149,5	129,1
AVANS 7°	MOTOR DEVRİ (d/dk)					
	750	1500	2000	3000	4000	5000
<b>E0</b>	85,2	154,2	173,4	171,4	151,5	130,3
<b>E05</b>	84,8	150,71	172,06	170,4	150,9	129,5
<b>E10</b>	85,4	155,2	174,02	171,5	152	130,5
<b>E20</b>	85,1	155	173,03	171,4	151,2	130,1

**EK B**

Çizelge B.1 Motor Özgül Yakıt Tüketimi Test Değerleri (g/kWh)

AVANS 9°	MOTOR DEVRİ (d/dk)					
	750	1500	2000	3000	4000	5000
<b>E0</b>	2738,58	1108,08	582,35	367,2	410,85	725,13
<b>E05</b>	2936	1138,38	637,09	410,37	455,44	765,77
<b>E10</b>	2642,85	1032,88	590,72	377,18	423,45	722,92
<b>E20</b>	2904	1095,96	623,97	402,19	448,16	744,83
AVANS 11°	MOTOR DEVRİ (d/dk)					
	750	1500	2000	3000	4000	5000
<b>E0</b>	2818,67	1052,06	600,89	392,28	428,82	738,49
<b>E05</b>	3060,87	1135,34	664,56	448,43	476,86	785,93
<b>E10</b>	2827,02	1053,54	608,65	398,66	430,85	733,12
<b>E20</b>	3378,37	1254,14	756,67	517,77	541,76	848,71
AVANS 7°	MOTOR DEVRİ (d/dk)					
	750	1500	2000	3000	4000	5000
<b>E0</b>	2851,31	1074,62	621,16	406,13	441,93	747,2
<b>E05</b>	3028,64	1120,94	664,04	447,85	472,08	778,06
<b>E10</b>	2752,65	1016,36	587,19	387,33	419,06	715,44
<b>E20</b>	2867,5	1054,34	623,14	405,57	436,56	740,93

Çizelge B.2 Motor Verimi Değerleri (%)

AVANS 9°	MOTOR DEVRİ (d/dk)					
	750	1500	2000	3000	4000	5000
<b>E0</b>	0,03	0,074	0,142	0,225	0,201	0,114
<b>E05</b>	0,028	0,074	0,132	0,206	0,185	0,110
<b>E10</b>	0,032	0,083	0,145	0,228	0,203	0,120
<b>E20</b>	0,030	0,081	0,143	0,223	0,200	0,120
AVANS 11°	MOTOR DEVRİ (d/dk)					
	750	1500	2000	3000	4000	5000
<b>E0</b>	0,029	0,078	0,138	0,211	0,193	0,112
<b>E05</b>	0,027	0,074	0,127	0,188	0,177	0,107
<b>E10</b>	0,031	0,081	0,141	0,216	0,200	0,117
<b>E20</b>	0,026	0,071	0,118	0,173	0,165	0,105
AVANS 7°	MOTOR DEVRİ (d/dk)					
	750	1500	2000	3000	4000	5000
<b>E0</b>	0,029	0,077	0,133	0,204	0,187	0,111
<b>E05</b>	0,027	0,075	0,127	0,188	0,179	0,108
<b>E10</b>	0,031	0,085	0,146	0,222	0,206	0,121
<b>E20</b>	0,031	0,084	0,144	0,221	0,205	0,120

**EK C**

**Çizelge C.1 Motor Ortalama Efektif Basınç Değerleri (kPa)**

AVANS 9°	MOTOR DEVRİ (d/dk)					
	750	1500	2000	3000	4000	5000
<b>E0</b>	1378	1722,67	1887	1541,33	1235,87	938,4
<b>E05</b>	1386,67	1813,33	1907,25	1568,5	1242,63	953,3
<b>E10</b>	1450,67	1913	1944,75	1588,83	1258	980,5
<b>E20</b>	1386,67	1863	1921	1573	1244,38	977,8
AVANS 11°	MOTOR DEVRİ (d/dk)					
	750	1500	2000	3000	4000	5000
<b>E0</b>	1360	1836	1856,25	1471	1203,5	927,5
<b>E05</b>	1378	1876,67	1904	1509,5	1239,25	954,7
<b>E10</b>	1368,67	1854	1859,75	1475,5	1217,13	949,2
<b>E20</b>	1368,67	1858,66	1870	1500,5	1229	954,7
AVANS 7°	MOTOR DEVRİ (d/dk)					
	750	1500	2000	3000	4000	5000
<b>E0</b>	1360	1817,67	1822,25	1448,33	1186,5	924,8
<b>E05</b>	1378	1881,33	1888	1486,83	1234,13	956
<b>E10</b>	1396	1922	1927,75	1518,67	1251,13	981,9
<b>E20</b>	1378	1894,67	1870	1505	1239,25	960,1

## KAYNAKLAR

- [1] Yamık, H., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2002).
- [2] Aytaç, Ş., “Küçük Güçlü Bir Dizel Motorunda Motorin ve Bitkisel Yağların Oransal Karışımlarının Yakıt Olarak Kullanılmasında Bazı Performans Değerlerinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma”, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, (1997).
- [3] Topgül, T., Yücesu, S., Çınar, C., “Etanol Benzin Karışımlarının Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak Belirlenmesi”, 345, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi 8nci Uluslararası Yanma Sempozyumu, Ankara, (2004).
- [4] Hsieh, W., Chen, R., Wu, T. and Lin, T., 2002, “Engine Performance and Pollutant Emission of an SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blended Fuels”, Atmospheric Environment, Vol: 36, Issue:3.
- [5] Guerrieri, D. A., Caffrey, P. J. and Rao, V., 1995, “Investigation into the Vehicle Exhaust Emissions of High Percentage Ethanol Blends”, SAE Paper, No:950777.
- [6] Acaroğlu, M., Oğuz, H., Ünalı, M., “Türkiye İçin Alternatif Bir Yakıt: Biyoetanol, Yakıt Olarak Kullanımı ve Emisyon Değerleri”, Biyoenerji Sempozyumu, İzmir, (2004).
- [7] Kisenyi, S. M., Savage, C. A. and Simmonds, A. C., 1994, “The Impact of Oxygenates on Exhaust Emissions of Six European Cars”, SAE Paper, No: 940929.
- [8] Taylor, A. B., Moran, D. P., Bell, A. J., Hodgson, N. G., Myburgh, I. S. and Botha, J. J., 1996, “Gasoline/Alcohol Blends: Exhaust Emissions, Performance and Burn-Rate in a Multi-Valve Production Engine”, SAE Paper, No: 961988.
- [9] Cowart, J. S., Boruta, W. E., Dalton, J. D., Dona, R. F., Rivard II, F. L., Furby, R. S., Piontkowski, J. A., Seiter, R. E. and Takai, R. M., 1995, “Powertrain Development of the 1996 Ford Flexible Fuel Taurus”, SAE Paper, No: 952751.

- [10] Wicker, R. B., Hutchison, P. A., Acosta, O. A. and Matthews, R. D., 1999, "Practical Considerations for an E85-Fueled Vehicle Conversion", SAE 1999-01-3517.
- [11] Kavalcı, D., "Bitkisel Kökenli Alternatif Yakıtların Dizel Motorlarında Kullanılma Olanakları Üzerine Bir Araştırma", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2001).
- [12] <http://www.geocities.com/uludagmak>, KES, A., Yıldız Teknik Üniversitesi Otomotiv Ana Bilim Dalı, "Yakıtlar".
- [13] <http://www.meteor.gov.tr/2005/arastirma/yenienerji/yenilenebilir.pdf>, "Yenilenebilir Enerji Kaynakları", AKGÜN, N.
- [14] Yıldız, R., Karataş, H., Tekin, E., Aktaş, A., Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği Programı, "Buji Ateşlemeli Motorlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar", Zonguldak, (2003).
- [15] Acaroğlu, M., Alternatif Enerji Kaynakları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, (1993), 93-211.
- [16] Türkiye Genç İşadamları Derneği, "Türkiye'nin Enerji Sorunları ve Çözüm Önerileri", TÜGİAD, İstanbul, (2002).
- [17] National Renewable Energy Laboratory, "Bioethanol Fueling Sustainable Transportation", DOE/GO-102000-0907, DOE, Colorado, (2000).
- [18] National Renewable Energy Laboratory (NREL), "Bioethanol-Movin In to Marketplace", DOE/GO-102001-1436,NREL, Colorado, (2001).
- [19] [http://www.ekoses.com/ekolojikyasantportali/bpg/publication\\_view.asp?](http://www.ekoses.com/ekolojikyasantportali/bpg/publication_view.asp?) "Biyokütle Çevrim Teknolojileri".
- [20] [http://www.kimyamuhendisi.com/arsiv/kat\\_asp?kid=40&name=Enerji](http://www.kimyamuhendisi.com/arsiv/kat_asp?kid=40&name=Enerji), "Biyokütle Enerjisi".
- [21] <http://www.poas.com.tr/www/html/benzin.asp>, "Yurtsever Kurşunsuz Benzin Biobenzin".
- [22] <http://www.eea.eu.int/enquiries>, "Taşımacılıkta Kullanılan Biyoyakıtlar".
- [23] <http://www.tv8.com.tr/detail.asp.htm>. "Biyoyakıt Dönemi".

- [24] Çağlar, M., “Türkiye’de Biyodizel Konusunda Yasal Altyapı, Yatırım ve Dünya Perspektifi”, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ankara, (2006).  
[http://www.pal.metu.edu.tr/sunum/m\\_caglar.pdf](http://www.pal.metu.edu.tr/sunum/m_caglar.pdf) .
- [25] U.S.Department of Energy General Motors Corporation Natural Resources, “Ethanol Vehicle Challenge”, Canada, (1998).
- [26] <http://www.aof.edu.tr/kitap/EHSM/1222/unite15.pdf> “Organik Kimya-II Heteroatomlu Bileşikler”.
- [27] Alma, M.H., Fidan, M.,S., Ertaş, M., Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, “Alternatif Enerji Kaynağı Biyoetanolin Üretimi ve Önemi”, Kahramanmaraş, (2004).
- [28] [http://permanent.access.gpo.gov/websites/www.ott.doe.gov/biofuels/advanced\\_bioethanol.html](http://permanent.access.gpo.gov/websites/www.ott.doe.gov/biofuels/advanced_bioethanol.html). “Advanced Bioethanol Technology”.
- [29] McAloon, A., Taylor, F., Yee, W., “Determining The Cost Of Producing Ethanol From Corn Starch And Lignocellulosic Feedstocks”, NREL/TP-580-28893, U.S.Department of Agriculture and U.S.Department of Energy, Colorado, (2000).
- [30] <http://www.abengoabioenergy.com/bioethanol/index.cfm?page=0&lang=1>, “What is Bioethanol”.
- [31] [http://tapdk.gov.tr/alkol/dokuman/easpd\\_guvenlik\\_bilgi\\_formu.doc](http://tapdk.gov.tr/alkol/dokuman/easpd_guvenlik_bilgi_formu.doc) “Etil Alkol Güvenlik Bilgi Formu”.
- [32] <http://www.odevlerim.com/tezler/oseller/tez0063.doc> “Alternatif Yakıtlar”.
- [33] [http://www.epa.gov/omswww/California\\_Air\\_Resources\\_Board/Motor\\_Fuels\\_Tch\\_Rvw\\_comp.pdf](http://www.epa.gov/omswww/California_Air_Resources_Board/Motor_Fuels_Tch_Rvw_comp.pdf), “Oxygenated Gasoline”.
- [34] Downstream Alternatives Inc., “Fuel Specifications And Fuel Property Issues And Their Potential Impact On The Use Of Ethanol As A Transportation Fuel”, Subcontract No: 4500010570, Downstream Alternatives Inc., South Bend, (2002).
- [35] U.S.Department of Energy (DOE), “The DOE Bioethanol Pilot Plant”, DOE/GO-102000-1114, DOE, Colorado, (2000).
- [36] Shapouri, H., Duffield, J., A., Wang, M., “The Energy Balance Of Corn Ethanol: An Update”, Report No:813, USDA, Colorado, (2002).

- [37] <http://www.futura-petroleum.com/bioethanol2.htm>, “Tomorrow’s Fuels Today”
- [38] Bayraktar, H., Durgun, O., Karadeniz Teknik Üniversitesi Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü, “Buji-Ateşlemeli Motorlar İçin Alternatif Yakıtların Teorik Değerlendirilmesi ve Pratik Kullanılabilirliği, Trabzon, (2004). [http://www.mmo.org.tr/haziran2004/makale\\_buji](http://www.mmo.org.tr/haziran2004/makale_buji).
- [39] Orbital Engine Company, “Market Barriers To The Uptake Of Biofuels Study”, Tender No:34/2002, OEC, Australia, (2002).
- [40] Clark, C., Zhang, Y., Varde, K., “Investigation Of Combustion And Emissions From Gasoline-Ethanol Fueled Engine”, Michigan University, Dearborn, (2004).
- [41] [http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/web\\_sites/0203/biofuels/what\\_bioethanol.htm#bio\\_production](http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/web_sites/0203/biofuels/what_bioethanol.htm#bio_production), “Biomass Program-Biomass Benefits-Biomass Today”.
- [42] Varde, K.,S., “Control Of Exhaust Emissions From Small Engines Using E-10 And E-85 Fuels”, Department Of Mechanical Engineering, Michigan, (2002).
- [43] California Energy Commission, “Ethanol Fuel Incentives Applied in the U.S.”, P600-04-001, CEC, California, (2004).  
[http://www.energy.ca.gov/reports/2004-02-03\\_600-04-001.pdf](http://www.energy.ca.gov/reports/2004-02-03_600-04-001.pdf).
- [44] Saab Automobile AB Corporate And Product, “New Ethanol FFV For Saab 9-5 Range”, Reg.No: 556258-8912, İsveç, (2004).
- [45] Dambach, E., Han, A., Henthorn, B., “Ethanol As Fuel For Recreational Boats”, The Thayer School Of Engineering At Dartmouth College, (2004).  
<http://www.dartmouth.edu/~ethanolboat>
- [46] Tan, E., Shabe, A., Wakahoi, D., Hirasawa, K., Luna, G., Minnesota State University Automotive Engineering Technology, “The Creed Project:2003 Toyota Prius Ethanol-Hybrid”, AET/MSU : 489-35, Minnesota, (2004).
- [47] Brusstar, M., “Ethanol-Gasoline Blends: Fuel Economy and Emissions Benefits”, U.S.EPA Presented at the SAE Government and Industry Meeting, Washington, (2003).
- [48] Türk Standartları Enstitüsü, “TS 1231 İçten Yanmalı Motorlar Muayene ve Deney Esasları”, UDK 621.43.018, TSE, Ankara, (1991).