

14195

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALKOLLÜ BENZİNLERİN ALTERNATİF MOTOR YAKITI
OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Y.Müh. Filiz KARAOSMANOĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 10 Ekim 1990

Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Kasım 1990

Tez Danışmanı : Prof.Dr.H. Ayşe AKSOY

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Oğuz BORAT

Prof.Dr. Oğuz RECEPOĞLU

Y. G.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

KASIM 1990

ÖNSÖZ

Yaşamımızda, enerjinin yeri ve önemi çok büyüktür ve dünya enerji tüketimi içinde büyük bir bölüm taşıtlar için kullanılmaktadır. Günümüzde alışlagelmiş enerji kaynaklarının yanısıra, yeni-yenilenebilir enerji kaynakları da gündemdedir. Benzin motorları için alternatif motor yakıtı arayışları içinde ise, alkollü benzinlerin yakıt olarak değerlendirilmesi geçmişte olduğu gibi günümüzde de önemini sürekli korumaktadır. Bu konu üzerinde tez çalışması yapmak benim için büyük bir zevk ve mutluluk idi. Çalışmalarım süresince gösterdikleri sonsuz destek ve anlayış için;

Sayın Hocam Prof.Dr.H.Ayşe AKSOY'a saygı ve sevgiler ile teşekkür ederim. Akademik yaşamımı her zaman içtenlikle destekleyip, sabır ve özveri gösteren;

Sevgili Eşim Kim.Müh.Semih KARAOSMANOĞLU'na, Annem ve Babam Sa-diye-Fevzi ATAMAN'a, Can Dostum Kim.Yük.Müh. Aslı-IŞİĞİGÖR-TUNA'ya şükranla teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım için gösterdikleri yardım ve ilgiden ötürü;

Sayın, Prof.Dr.H.CİVELEKOĞLU, Prof.Dr.B. SAFGÖNÖL, Prof.Dr.O. BORAT, Doç.Dr.C. SORUŞBAY ve İ.T.Ü. Makina Müh. Bölümü Otomotiv Ana-bilim Dalı Elemanları, İ.T.Ü. Metalurji Müh. Bölümü Korozyon Bilim Dalı Elemanları, Sevgili Arkadaşlarım Kim.Yük.Müh. H.C. YATMAZ ve Mimar B. ERİM, TOPRAŞ İzmit ve İzmir Rafineri Müdürlüğü, Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. İstanbul İl Müdürlüğü, Kavala Şirketler Grubu Çevre Hizmetleri ve Ürünleri Bölümü ile tezimi özenle daktilo eden Sekreter Sayın Z.ŞERMET'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Kim.Yük.Müh. Filiz KARAOSMANOĞLU
Eylül 1990, İstanbul

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR VE SEMBOLLER	iv
ÖZET	v
SUMMARY	vi
BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
BÖLÜM 2. TEORİK BÖLÜM	9
2.1. Konunun Tarihçesi	9
2.2. Benzin, Etanol, Metanol ve Füzel Yağı Üzerine Genel Bilgi	11
2.3. Kaynak Tarama	14
BÖLÜM 3. DENEYSEL BÖLÜM	26
3.1. Alkollü Benzinlerde Faz Ayırımı	26
3.1.1. Metanollü Benzinlerde Faz Ayırımı Sıcaklıklarının Saptanması	28
3.1.2. Etanollü Benzinlerde Faz Ayırımı Sıcaklıklarının Saptanması	29
3.1.3. Füzel Yağı Katkılı Alkollü Benzinlerde Faz Ayırımı Sıcaklıklarının Saptanması	33
3.1.3.1. Füzel Yağı Fraksiyonunun Tanımlanması	33
3.1.3.2. Füzel Yağı Fraksiyonunun Katkı Maddesi Olarak Kullanımı	38
3.1.4. Benzin Bileşiminin Alkollü Benzinlerin Faz Ayırımı Sıcaklığı Üzerine Etkisi	43
3.1.5. Alkollü Benzinlerde Su Kaldırabilirlik	49
3.1.5.1. Füzel Yağı Fraksiyonu Katkılı Alkollü Benzinlerde Su Kaldırabilirlik Değerlerinin Saptanması	49
3.1.5.2. Alkollü Benzinlerde Su Kaldırabilirliğin Ortam Sıcaklığına Bağımlılığı	50
3.1.5.3. Benzin Bileşiminin Alkollü Benzinlerin Su Kaldırabilirliği Üzerine Etkisi	50
3.1.6. Alkollü Benzinlerde Su İçeriğine Bağlı Olarak Faz Ayırımı Sıcaklıklarının Değişimi	56
3.1.7. Faz Ayrışmasında Etanol ve Metanolün Etkisinin Karşılaştırılması	58
3.2. Alkollü Benzinlerin Yakıt Özellikleri	59
3.2.1. Yakıtların Yoğunlukları	61
3.2.2. Yakıtların Reid Buhar Basınçları	62
3.2.3. Yakıtların ASTM Distilasyon Eğrileri	63
3.2.4. Yakıtların Oktan Sayıları	66
3.2.5. Yakıtlarda Korozyon Testleri	69
3.3. Motor Deneyleri	69
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	107
KAYNAKLAR	110
ÖZGEÇMİŞ	118

KISALTMALAR VE SEMBOLLER

TEP	: Ton eşdeğer petrol
Twh	: Milyar kwh-Bin Gwh
MeOH	: Metanol
EtOH	: Etanol-su azeotropu
IPA	: isopropanol
NPA	: n-propanol
IBA	: isobutanol
NBA	: n-butanol
IAA	: isoamilalkol
NAA	: n-amilalkol
FY	: Füzel yağı
FYF	: Füzel yağı fraksiyonu
d	: Yoğunluk
AOS	: Araştırma oktan sayısı
MOS	: Motor oktan sayısı
T _B	: Ticari normal benzin
GKA	: Gaz kelebek açıklığı
P	: Terazî kuvveti
t	: Süre
N _e	: Güç
M _d	: Moment
n	: Dönme sayısı
b _e	: Özgül yakıt tüketimi
n	: Isıl verim
V _y	: Hacim
HC	: Hidrokarbon emisyonu
NO _x	: Azotoksitleri emisyonu
EGS	: Egzoz gazı sıcaklığı
λ	: Hava fazlalık katsayısı
k.n.	: Kaynama noktası
FAS	: Faz ayırımı sıcaklığı
SKD	: Su kaldırabilirlik değeri

ÖZET

Günümüzde, artan nüfus ve endüstriyel gelişmelerle birlikte, enerji gereksinimi sürekli, hızlı bir artış gösterirken; kömür, petrol, doğal gaz gibi rezervleri sınırlı fosil kaynaklı enerjiler yanında, yeni-yenilenebilir enerji kaynakları da büyük önem kazanmaktadır. Yeni enerji kaynakları arasında biokütle en büyük potansiyele sahiptir. Biokütle kaynaklarının enerji amaçlı en önemli değerlendirilme alanlarından biri alkollerin alternatif motor yakıtı olarak kullanımıdır. Bu çalışmada da, günümüz benzin motorlarında tasarım değişikliği gerektirmeyecek şekilde, benzine katılabilecek maksimum alkol miktarı olarak önerilen %20 (hacimsel) oranı gözönüne alınarak, hazırlanan metanollü ve etanollü benzinlerin alternatif motor yakıtı olarak değerlendirilebilirliği incelenmiştir. Deneysel çalışmaların, ilk bölümünde, isopropanol, n-propanol, isobutanol, n-butanol, isoamilalkol, n-amilalkol ve füzel yağı kullanılarak, alkol-benzin karışımlarında faz ayrışma sorunu çözümlenmiş, karışımların faz ayrışma olayı geniş olarak incelenmiştir. İkinci bölümde ise füzel yağı katkılı alkollü benzinlerin ASTM yöntemlerine göre yakıt özellikleri belirlenerek, elde edilen sonuçların benzin özellikleri ile uyum gösterdiği saptanmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise Renault 12 test motorunda yapılan çalışmalar ile alkollü benzinlerin motor karakteristikleri ve egzoz gazı emisyonları belirlenmiştir.

EVALUATION OF ALCOHOL-GASOLINE BLENDS AS ENGINE FUEL ALTERNATIVE

SUMMARY

Energy is one of the most important milestones of human life. Supply-demand irregularities, consecutive oil crisis followed by fluctuations and rise in oil prices led countries to search for new energy sources. As a result, besides the conventional fossil fuels like coal, petroleum, natural gas evaluation of alternative energy sources like the sun, wind, geothermal, hydrolic, hydrogen and biomass were taken into consideration in order to meet the increasing energy demand.

Biomass sources have an important place in new and renewable energy sources. World potential of the new and renewable energy sources are given in Table 1 as TOE (tons oil equivalent). Although the new energy sources are used in a limited manner today, these sources seem to gain importance within the world's energy supply in future. One of the ways of evaluating the biomass sources in the field of energy is converting them to alcohols by biotechnological methods which than can be used as engine fuel. Gasolines that contain alcohol up to 20 vol % can safely be used in today's Otto engines without any need for a design change.

Table 1- World Production Potential of the New and Renewable Energy Sources, Million TOE/Year •

Energy Sources	Technical Potential	Possible Potential
Biomass	5600	3570
Hydrolic	2100	1050
Geothermal	1400	700
Sun	-	630
Wind	2100	700
Other	700	350

The positive results due to the evaluation of alcohol-gasoline blends as engine fuel alternatives can be summarized as follows: Alcohol-gasoline blends are the first step proposed in the evaluation of new and renewable energy sources in Otto engines, so using them as engine fuels will mean an improvement in the introduction of the new energy sources and evaluation possibilities of biomass potential will thus increase. Addition of alcohol to gasoline will decrease the overall gasoline consumption. This is an important point for Turkey as 90% of the oil consumed in the country is provided through imports. According to the 1988 figures gasoline makes up 2 174 082 tons of the civil petroleum products consumption which is 20 147 354 tons. It can easily be observed that the gasoline consumption is foreign dependant and the import expenses are quite a heavy burden to the country's

economy. Besides a reduced gasoline consumption is important for the petrochemical industry whose raw material is dependant on crude petroleum. Due to the addition of alcohols which have high octane numbers to gasoline and their continuous use as alternative engine fuel will cease the environmental pollution caused by lead and eventually positive decrease will also be observed in the other exhaust emissions. In adapting the alcohol-gasoline blends into everyday use in Turkey benefits for the country's economy must be evaluated while scientific research strengthening the idea must also be put forward.

Alcohol-gasoline blends are in fact a three component system of gasoline-alcohol and water due to the hygroscopic character of the alcohols. The most important problem in using such blends as engine fuel is their separation possibility into two liquid phases due to several factors. When such a two phased system is tried to be used in an engine several serious problems occur. Therefore, in the evaluation of alcohol-gasoline blends as engine fuel the first step should be solving the phase separation problem hence obtaining a homogenous mixture.

Therefore in this work the phase separation problem in gasolines blended with methanol or ethanol was solved by adding special additives to the blends and due to the positive results obtained from the fuel property and engine tests the stable blend fuels were proposed as a fuel alternative for today's Otto Engines.

Mixtures used in the research were prepared by adding Merck grade pure methanol and distilled (b.p. 78.15°C) ethanol containing 4.4 weight % water to the four unleaded gasoline samples of different composition provided from TÜPRAŞ İzmit Refinery. The alcohol ratio in the mixtures is 5, 10, 15, and 20 % by volume. Research work was realized in three steps:

1. Solving the phase separation problem of the alcohol-gasoline blends.
2. Determining the fuel properties of alcohol-gasoline blends
3. Engine tests, engine characteristics and exhaust emission values of alcohol-gasoline blends.

The phase separation problem of gasoline-alcohol blends is solved by using isopropanol, n-propanol, isobutanol, n-butanol, isoamyl-alcohol, n-amylalcohol and fusel oil fraction as additives. The fraction of molasses fusel oil which contains 0.1 vol % water and which boils above 120°C was used in the experiments. According to the results of the GLC analysis fermentation amylalcohols make up 86.5 % by weight of this fraction.

According to the results obtained, the additives mentioned can effectively solve the phase separation problem and they all have approximately the same effect on the phase separation temperature of the alcohol-gasoline blends. The chemical composition of the gasoline used, environmental temperature, alcohol content and water tolerance of the blend, using ethanol or methanol as the alcohol component all are factors that influence the phase separation in alcohol-gasoline blends.

Fusel oil which is one of the additives used in the experiments is a by-product of ethanol production. Using fusel oil and its already defined fraction as an additive is a new way of evaluating the by-product and it is proposed for the first time in this research work. The essential results concerning the change in phase separation temperatures of fusel oil added alcohol-gasoline blends are as follows:

1. An increase in the amount of the fusel oil fraction within the alcohol-gasoline blends of known alcohol and water content increases the water tolerance values and decreases the phase separation temperatures.

2. The chemical composition of the gasoline used is very important for the alcohol-gasoline blends. An increase in the aromatic character of the gasoline increases the phase separation temperatures of the blends.

3. In a gasoline-alcohol-water and fusel oil fraction system environmental temperature is vitally important for the stability of the blend. An increase in temperature means an increase in the water tolerance of the blend while the amount of additive needed for a stable blend decreases.

4. Using ethanol or methanol in alcohol gasoline blends causes some differences in the phase separation temperatures. This fact is due to their solubility differences in the hydrocarbons; for instance solubility of ethanol is independant of the type of the hydrocarbon. Therefore, same phase separation temperatures were observed for alcohol-gasoline blends prepared with gasolines rich in aromatics and saturates. On the contrary, solubility of methanol in aromatic hydrocarbons is higher compared to other hydrocarbons; therefore, in methanol-gasoline blends prepared with gasoline rich in saturates different phase separation temperature change is observed than the ethanol-gasoline blends.

Ethanol-gasoline blends are more water tolerable than methanol-gasoline blends. Therefore, ethanol-gasoline blends prepared with the same gasoline and containing same amounts of water, alcohol and fusel oil fraction had lower phase separation temperatures than methanol-gasoline blends.

In the second part of the research ASTM fuel properties of the

fuel oil fraction added stable blends were compared with those properties of their component gasolines and a general accordance between the results was observed. The fuel property tests and their ASTM numbers are as follows:

- 1- Density (ASTM D 1298)
- 2- Distillation Test (ASTM D 86)
- 3- Reid vapor pressure Test (ASTM D 323)
- 4- Octane number
Research method (ASTM D 2699)
Motor method (ASTM D 2700)
- 5- Corrosion Test
This test was applied in two different ways:
 - a) Copper corrosion test (ASTM D 130)
 - b) Test proposed for gasohol (gasoline containing 10 vol % pure ethanol) by The American Society for Testing and Materials.
This test was both applied to alcohol-gasoline blends and to the same blends containing 10 vol % water. The materials tested according to ASTM D 665 were aluminium, zinc, magnesium, lead, zinc coated steel and PVC.

Engine tests were realized in a Renault 12 (1200 cc.) laboratory test engine at 21°C, 80% humidity, 101.3 kPa. CO and hydrocarbon emissions were continuously measured with a Hamilton Analyzer throughout the test period. Nitrogen oxides were determined according to VDI 2456 method. Important results obtained from the engine and exhaust emission tests using the blend fuels, component gasolines and commercial gasoline can be summarized as follows:

1. Results of the engine tests and engine characteristic values determined through these tests using alcohol blends and plain gasoline all are in accordance within themselves. In alcohol-gasoline blends an increase in specific fuel consumption and thermal efficiency was observed when compared with gasoline itself while power and moment values decreased. It must be noted that these tests could only be carried out under some predetermined conditions. Engine characteristic values under different conditions such as different spark advances, compression ratios and throttle opening positions must be determined and engine performance maps for alcohol-gasoline blends must be constituted.

2. Using alcohol-gasoline blends as engine fuel has positive effects from the exhaust emissions' point of view. In the experiments carried out at 1/3 and 2/3 throttle opening positions a rapid decrease in CO emission values was observed while nitrogen oxides emitted were approximately at the same level with those in the case of gasoline. On the other hand, in the 1/3 position hydrocarbon emissions were higher compared to gasoline while in the 2/2 position they were approximately the same or lower than the values obtained for gasoline. With a more detailed investigation on engine characteristics as mentioned above it will also be possible to comment on the general tendency of the exhaust emissions. The blends used in the experiments were all prepared with unleaded gasoline, therefore

the deformation of the seat material during long term engine tests using blend fuels must be thoroughly investigated and the most convenient seat material must be selected accordingly.



1. GİRİŞ

Enerji, yaşantımızın temel öğelerinden biridir. Dünya nüfusu artışı, hızlı kentleşme ve endüstriyel gelişmeler ile enerjinin önemi de sürekli artmaktadır. Bu artışların yanısıra; hammadde rezervlerinin sınırlı oluşu, enerji alanındaki arz talep dengesizlikleri, ard arda gelen petrol krizleri ve bunlara bağlı fiyat artışları ülkeleri çeşitli önlemlerin yanında yeni-yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir.

1972 yılında 1.9 Dolar/Varil olan petrol fiyatı, 1. petrol krizi ile 9.8 Dolar/Varil değerine, 2. petrol krizi ile ise 32.5 Dolar/Varil değerine ulaşmıştır [1]. Oluşan fiyat artışları ve arz kısıtlamaları karşısında petrol ithal eden ülkeler, çeşitli teknik, ekonomik, politik önlemler alarak Uluslararası Enerji Ajansı adı altında birleşerek dünya petrol piyasasında OPEC etkisini azaltmışlardır. Böylece 1987 yılında bir varil petrolün değeri 6 Dolara düşmüştür. Bu başarının nedenleri, yerli enerji kaynaklarının geliştirilmesi, verimliliğin arttırılması, rasyonel fiyat politikası izlenmesi, yeni enerji teknolojilerinin uygulanması ile yeni-yenilenebilir enerji kaynakları geliştirilmesi ve ticari hale getirilmesi çabalarıdır. Fakat petrol fiyatlarındaki bu düşüş sürekli olmamıştır. OPEC ülkelerinin aldığı önlemler ile üretim azaltılarak Şubat 1988 de, varil başına 4 dolar fiyat artışı gerçekleştirilmiştir [2]. Bu dalgalanmalar ve arz-talep dengesizlikleri, uzun vadeli enerji programlarının; petrol fiyatlarının artacağı gözönüne alınarak ve enerji tasarrufu, verimliliği konuları ile yeni-yenilenebilir enerji kaynaklarını da kapsayacak şekilde yapılması fikrini ortaya koymaktadır. Rasyonel enerji kullanımı ve tasarrufu çalışmaları ile yeni-yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi çalışmaları ikinci plana atıldığı takdirde, gelecekte ortaya çıkacak yeni enerji krizleri karşısında çaresiz kalınacaktır.

Dünya enerji kaynakları iki ana grupta incelenebilir.

1. Yenilenemeyen kaynaklar;

Kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kaynaklı alışıl gelmiş enerji kaynakları

2. Yeni-yenilenebilir kaynaklar;

Güneş, rüzgar, nükleer, dalga, jeotermal, hidrolik, hidrojen ve biokütle kaynaklar.

Dünya fosil yakıt rezervlerinin, $123.8 \cdot 10^3$ milyar kg'ını petrol, 111.9 trilyon m^3 'ünün doğal gaz ve $1022.7 \cdot 10^3$ milyar kg'ının ise kömür rezervlerinden oluştuğu bilinmektedir [3]. Bu bilgilere göre fosil yakıt rezervlerinin %70.4 nü katı yakıtlar, %16.3 ünü petrol, %13.3 ünü ise doğal gaz sağlamaktadır [3]. Elde edilen son değerlendirmelere göre, linyitin 240 yıl, petrolün 41 yıl, doğal gazın ise 51 yıllık ömrü bulunmaktadır [4, 3]. Dünya enerji rezervlerinin sınırlı olması yeni kaynakların değerlendirilmesi gerekliliğini gündeme getirmektedir. Bu kaynakların dünya potansiyeli Tablo 1-1 de görülmektedir [5].

Tablo 1-1 Yeni-Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Teknik Olarak Kullanılabilen Dünya Enerji Üretim Potansiyeli, Milyon TEP/Yıl

Enerji Kaynağı	Teknik Potansiyel	Mümkün Potansiyel
Biokütle	5600	3570
Hidrolik	2100	1050
Jeotermal	1400	700
Güneş	-	630
Rüzgar	2100	700

Günümüzde yeni enerji kaynaklarının kullanımları gözardı edilebilecek düzeyde olmasına karşın bu kaynaklar 2000'li yıllarda önem kazanacaktır. (bkz. Tablo 1-2) [6].

Tablo 1-2 Dünya Enerji Arzı Tahminlerinin Yıllara Göre Değişimi, Milyon TEP.

Enerji Kaynağı	1980	2000	2020	2040	2060
Kömür	1830	2930	4605	5835	6970
Petrol	3100	3415	3175	2880	2300
Doğal gaz	1301	1885	2570	3015	3435
Nükleer	156	845	1730	2310	2805
Hidrolik	383	650	1050	1425	1930
Yeni enerjiler	-	285	845	1545	2560
Ticari olmayan enerji	768	1095	1140	1045	745
Toplam	7538	11105	15115	18055	20745

Türkiye'de, taşkömürü, linyit, asfaltit, petrol, doğal gaz, hidrolik, jeotermal, odun, hayvan, bitki artıkları ile güneş enerjisi gibi birincil enerji kaynakları yanında elektrik enerjisi, kok, briket, havagazı gibi ikincil enerji kaynakları da değerlendirilmektedir. Yeniyenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan hidrolik ve jeotermal enerjinin yakın gelecekte kullanımının arttırılması, nükleer ve rüzgar enerjilerinin kullanımına geçilmesi, daha uzun vadeli programlarda ise bitümlü şist ve biokütle kaynaklardan yararlanılması düşünülmektedir [7]. Türkiye enerji kaynakları durumu Tablo 1-3 de verilmiştir [8].

Türkiye'de son 15 yıllık dönemde enerji tüketimindeki en önemli artış %14.5 değeri ile petrol tüketiminde olmuştur [9]. Ülkemizde tüketilen toplam enerjinin %40-45'i ham petrole bağımlıdır [10]. Türkiye, ham petrol; üretim, tüketim ve ithalat değerleri Tablo 1-4'de görülmektedir [11, 12]. 1988 yılı bilgilerine göre petrol tüketiminin %96.4'ü ithalat ile sağlanmıştır. En fazla tüketilen petrol ürünleri motor yakıtlarıdır. Türkiye sivil petrol ürünleri tüketimi içindeki motor yakıtlarının durumunu ise Tablo 1-5 de görebiliriz [12]. Tablodan da görüldüğü gibi sivil petrol ürünlerinin yaklaşık %45'i benzin ve dizel motorlarında kullanılmaktadır. İhracat gelirlerinin büyük bir kısmı petrol için kullanılan ülkemizde, genel ödemeler değerinde belli bir denge sağlanması ve yeterli bir ulusal kalkınma hızı için kesinlikle petrol gerektirmeyen durumlarda başka enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve yerli alternatif motor yakıtlarına önem verilmesi gereklidir. Alternatif motor yakıtlarının önemli bir bölümü biokütleden üretilir. Biokütle kolay elde edilebilen bir enerji kaynağıdır ve özellikle enerji kaynakları sınırlı, tarımın ağırlık taşıdığı ülkelerde büyük önem kazanmaktadır.

Biokütle hayvansal ve bitkisel kökenli olabilir. Örneğin; çeşitli bitkiler, hayvan dışkıları, katı atıklar, endüstriyel atık ve artıklar, atık sular alternatif yakıtların üretilebileceği biokütlelerden bazılarıdır [13, 14, 15, 16]. Biokütlenin enerji üretiminde kullanılmasına örnek olarak, tarım artıkları ve odunun yakılması ile ısı, buhar, elektrik üretimi, şekerli bitki, çeşitli tahıl ve artıklardan alkol üretimi, biogaz üretimi ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı verilebilir [14, 17, 18]. Biokütlenin genel kullanım alanları ve biokütleden alternatif motor yakıtları üretimi Şekil 1-1 de verilmektedir [18, 19]. Bu yakıtların alternatif motor yakıtı olarak

Tablo 1-3 Ekim 1989 Verilerine Göre Türkiye Enerji Kaynakları Genel Görünümü

Enerji Kaynağı	Toplam Rezerv*	1988 Yılı Üretim, Bin TEP	1988 Yılı Tüketim, Bin TEP	2000 Yılı Üretim Tahmini	2000 Yılı Talep Tahmini
Taşkömürü	1355 milyar kg	1946	4860	7300 milyon kg	37896 milyon kg
Linyit	8050 milyar kg	8638	8036	88614 milyon kg	88614 milyon kg
Asfaltit	76 milyar kg	268	268	700 milyon kg	700 milyon kg
Ham petrol	37 milyar kg	2692	21967	1128 milyon kg	31654 milyon kg
Doğal gaz	13 milyar m ³	90	1115	460 milyon kg	10440 milyon m ³
Bitümler	1534 milyar kg	-	-	-	-
Nükleer	46.4 milyon kg	-	-	-	-
Hidrolik	121 Twh/yıl	6467	6467	62168 Gwh	62168 Gwh
Jeotermal	35500 Mw/yıl	15	15	Elektrik:210 Gwh	Elektrik:210 Gwh
Güneş	35.1 milyon TEP	5	5	Isı:2208 bin TEP	Isı:2208 Bin TEP
Diğer Yeni Enerjiler	-	-	-	558 Bin TEP	558 Bin TEP

* Görünür, olası ve mümkün rezervlerini toplamıdır.

Tablo 1-4 Türkiye, Ham Petrol, Üretim, İthalat ve Tüketim Değerleri, Milyon kg.

Yıl	Üretim	İthalat	Tüketim
1982	2333	13906	16127
1983	2203	14162	16705
1984	2087	15590	16898
1985	2110	15532	17235
1986	2390	16850	18680
1987	2630	20102	21425
1988	2564	21673	20588
1989	2876	18617	-

Tablo 1-5 Türkiye Sivil Petrol Ürünleri Tüketimi, Milyon kg.

Ürün	1985	1986	1987	1988	1989
Benzin	1546	1763	1996	2174	2340
Gazyağı+Dizel	5736	6296	6949	6989	7079
Fuel oil	6552	6505	6857	6173	6671
Diğerleri	2932	3626	4560	4811	4694

değerlendirilebilme seçenekleri ise şu şekilde özetlenebilir:

Benzinli motorlarda,

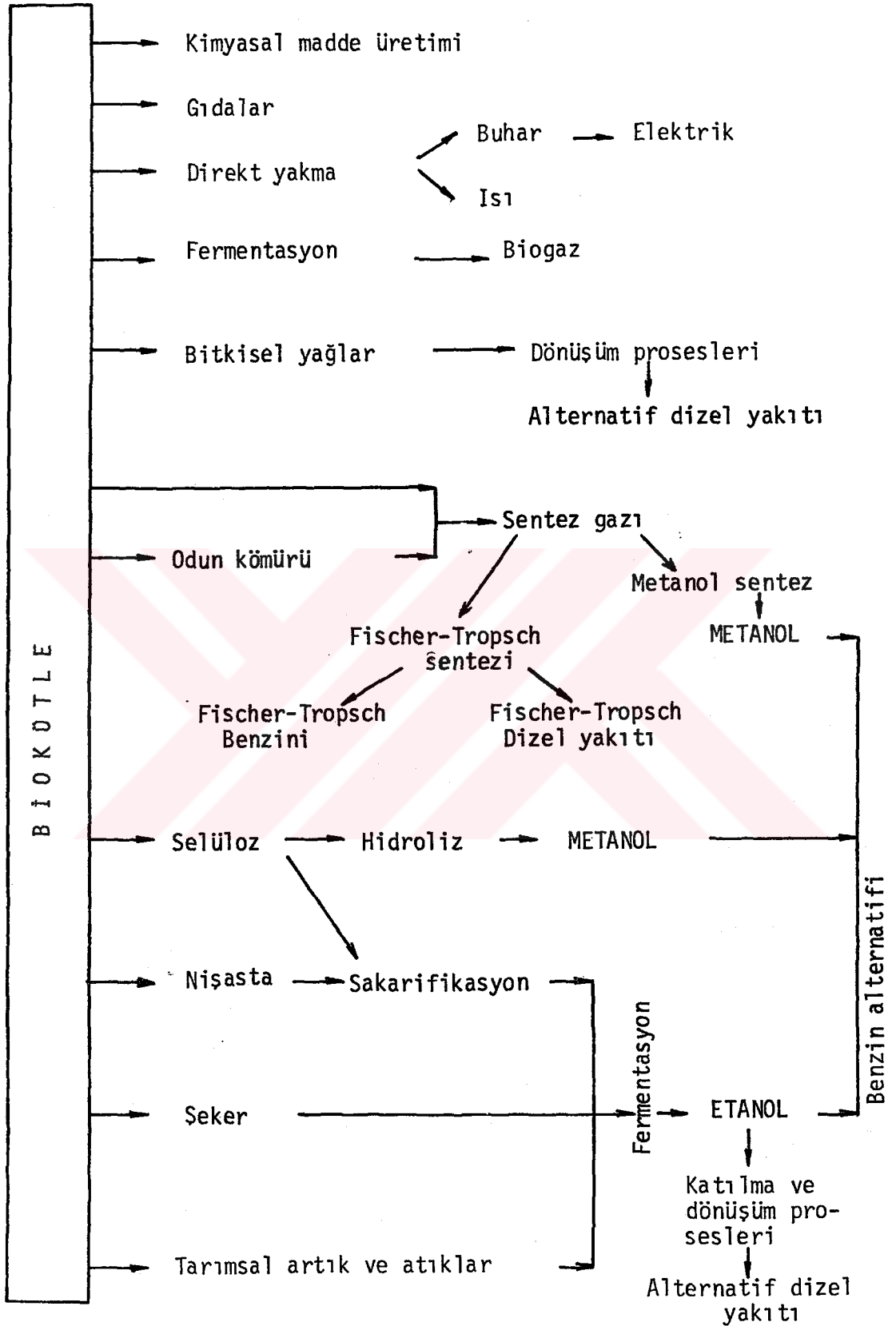
1. Alkol-benzin karışımları,
2. Alkol
3. Metan kullanımı.

Dizel motorlarında,

1. Alkol-dizel yakıtı karışımları,
2. Bitkisel yağ-dizel yakıtı karışımları ve
3. Bitkisel yağın yakıt olarak kullanımı.

Yukarıda açıklanan yakıt alternatifleri arasında, günümüzde alternatif motor yakıtı olarak değerlendirilen en önemli yakıtlar alkol ve alkol-benzin karışımlarıdır. Bu yakıtlardan, metanol, etanol ve etanollü benzinler, Amerika ve Brezilya'da kullanılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından, alkol-benzin karışımlarının Türkiye'de alternatif motor yakıtı olarak kullanımı yeni enerji kaynaklarına geçişte olumlu bir gelişme sağlayacak ve Türkiye biokütle potansiyeli değerlendirme alanı bulacaktır. Ayrıca alkollü



Şekil 1-1 Biokütlenin Kullanım Alanları ve Biokütleden Alternatif Yakıtlara Geçiş

benzinlerin kullanımı ile benzin tüketimi belli oranda azalacaktır. Bu durum, petrol tüketiminin çok büyük bir kısmını ithalat ile sağlayan petrol endüstrisi ve ilkel maddeleri açısından ham petrole bağımlı olan ülkemiz petrokimya endüstrisi için de önemlidir. Alkollü benzinlerin kullanımında egzoz gazı emisyonları da azalmaktadır. Benzin motorlarının da, egzoz gazı ile atmosfere karışan ana kirleticiler karbonmonoksit, azot oksitler, hidrokarbonlar ve katı maddelerdir. Benzin kullanımında havaya yayılan zararlı maddelerden biri de kurşun halojenürlerdir. Kurşun halojenürler, benzine oktan sayısını yükseltmek için katılan, kurşuntetraetil, kurşuntetrametil gibi kurşunaalkil bileşiklerinden oluşur [20]. Hava kirliliğinde taşıtların payı oldukça önemli miktardadır. Örneğin, 1977 yılında İstanbul'da hava kirliliğinde ulaştırma araçlarından kaynaklanan kirliliklerin payı aşağıdaki gibidir: %91.87 CO, %1.09 SO_x, %58.12 NO_x, %83.76 CH₄, %53.29 HCHO, %8.50 katı maddelerdir [21]. TOBITAK-NATO Araştırma sonuçlarına göre 1969 yılında 45000 motorlu taşıtın bulunduğu Ankara'da saptanan kirlilik değerleri ile aynı şehirde 1990 yılında 225000 taşıt bulunacağı varsayımından beklenen kirlilik değerleri Tablo 1-6'da verilmiştir. [22]. 1969 yılında toplam kirlilikte ulaşımın payı %65 iken bu payın 1990 yılında %77'ye çıkacağı tahmin edilmektedir [23].

Tablo 1-6 Ankara'da Egzoz Gazlarından Kaynaklanan Kirletici Emisyon Miktarları, Bin kg/Yıl.

Yıl	CO	HC	NO _x	SO ₂	Katı Madde	Toplam
1969	56000	9700	4900	200	230	11030
1990 tahmini	311650	54000	25290	870	1160	392970

Benzine oktan sayısını yükseltmek için konulan kurşun bileşiklerinin oluşturduğu çevre sorununun insan sağlığına etkisi oldukça önemlidir. Endüstride kurşunla çalışan işçilerin kanında bulunan 5.10^{-4} kg/m³ kurşun miktarı zehirlenme olarak kabul edilirken, büyük şehirlerde yaşayan kişilerin kan kurşun düzeyleri $(3-3.5)10^{-4}$ kg/m³ gibi yüksek değerdedir [24]. Ülkemizde 1988 yılı bilgilerine göre benzine katılan kurşunaalkil miktarı; süper benzin için 0.4, normal benzin için ise 0.18 kg/m³ Pb'a eşdeğer miktardadır [25]. Günümüzde pekçok Avrupa ülkesinde ve ABD de kurşunsuz benzin kullanımına geçilmiştir. Türkiye'de ise 1989 da bazı turistik yörelerde kurşunsuz benzin satışı başlamıştır. Kurşunsuz benzin kullanımına

geçilmesinin en önemli nedeni kurşundan ileri gelen çevre kirliliğidir. Ayrıca egzoz gazı emisyonlarını ortadan kaldırmak için kullanılan katalitik son yakma sistemleri de kurşunsuz benzin kullanımını gerektirmektedir. Günümüz rafineri teknolojisinde değişiklik yapmadan kısa vade çözümü olarak, benzine yüksek oktan sayılı alkollerin katılması ile elde edilen alternatif motor yakıtlarının kullanımına geçilmesi egzoz emisyonlarında da olumlu düşüslere neden olacaktır.

Alkol katkılı benzinler alkollerin higroskopik özelliğinden dolayı, benzin-alkol-su'dan oluşan üçlü bir karışım halinde bulunur. Bu karışımın motor yakıtı olarak değerlendirilmesindeki en önemli sorun, daima homogen olması gereken üçlü sistemde çeşitli faktörlere bağlı olarak iki ayrı sıvı fazın oluşmasıdır. Faz ayrışması yapmış karışım motorda kullanıldığında, teklemeler, sarsıntılar, ilk hareketin gerçekleşmemesi ve motor durması gibi önemli problemler oluşur. Alkollü benzinlerin alternatif motor yakıtı olarak değerlendirilmesinde öncelikle karışımların faz ayırımı sorunu çözümlenmelidir.

Bu amaçla, bu çalışmada, metanol veya etanol içeren alkollü benzinlerde faz ayırımı sorunu çeşitli katkı maddeleri kullanılarak çözümlenmiş, elde edilen stabil karışımların yakıt özellikleri belirlenip, motor testleri yapılarak, günümüz benzin motorları için çeşitli alternatif motor yakıtları öneri olarak sunulmuştur.

2. TEORİK BÖLÜM

2.1. Konunun Tarihçesi [18, 26, 27, 28, 29]

Alkollerin motor yakıtı olarak değerlendirilmesi düşüncesi içten yanmalı motorların tarihi kadar eskidir. N.A. Otto 1897 de motor çalışmalarında alkol kullanmış, Henry Ford ise ilk oto tasarımıını alkolü de yakacak şekilde gerçekleştirmiştir. 20. Yüzyıl başlarında benzinli motorlarda alkol ve alkol-benzin karışımlarının kullanılması uygulamaları başlamıştır. Konuya ilişkin bilimsel çalışmalar ise ikinci Dünya Savaşı yıllarından başlayarak yoğunlaşmıştır.

Ulusal kaynaklardan yararlanma, tarımsal potansiyeli değerlendirme, döviz tasarrufu sağlama, yaşanan enerji krizleri ve gelecekte olası enerji krizlerine hazırlıklı olma nedenleri ile çeşitli ülkelerde alkollerin yakıt olarak değerlendirilmesi gündeme gelmiştir. A.B.D., Federal Almanya, Sovyetler Birliği, Brezilya, Yeni Zelanda, Küba, Güney Afrika Cumhuriyeti, İsveç konunun uygulamasının ve çalışmaların yoğun olduğu ülkeler arasında sayılabilir.

Motor yakıtı olarak alkollerin kullanımı 1. ve 2. Dünya Savaşları sırasında en üst düzeye ulaşmıştır. Bunun nedeni, alkol üretiminin artması, içmek için tüketilen alkol miktarının azalması ve savaş stratejileridir. Bu savaşlar sırasında 11 Avrupa ülkesinde ve diğer 12 dünya ülkesinde alkol ve alkollü benzinler pazarlanmış ve bu 23 ülkenin 15'inde zorunlu olarak benzine alkol katılmıştır. Diğer ülkelerde ise vergi indirimleri ile devlet alkol değerlendirilmesini desteklemiştir. Heriki durumda da devlet yardımlarının maliyeti ve kayıp vergiler artan tahıl üretiminden elde edilecek yarardan daha fazla olmuştur. Bu nedenlerle 2. Dünya Savaşı'ndan sonra hemen hemen tüm ülkeler alkol kullanımından vazgeçmişlerdir. Ancak yetmişli yıllarda ard arda yaşanan 1. ve 2. petrol krizleri ile bu konu tekrar güncellenmiş olup günümüzde de çeşitli uygulamalar ve bilimsel çalışmalar ile önemini sürekli korumaktadır.

Alkol ve alkol-benzin karışımlarının yakıt olarak değerlendirilmesi üzerinde en önemli atılımlar Brezilya'da gerçekleştirilmiştir ve Brezilya konunun öncülüğünü yapmaktadır. Günümüzde bu ülkede otomobiller, benzin-etanol ya da direkt etanolle çalışmaktadır. "Brezilya Ulusal Alkol Programı", ülkenin petrol ithalatını şeker kamışı ve diğer bitkilerden üretilen etanolle ikame etmeyi amaçlayan büyük bir sanayi-hükümet programı durumundadır. Bu program 1978-1979 döneminde şeker fiyatlarının düşük olması ve petrol fiyatlarındaki artış ile büyük bir patlama yapmıştır. Brezilya'nın tüm kaynaklardan elde ettiği etanol miktarı 1980 yılı benzin tüketiminin %20 sini rahatlıkla karşılayabilmekte ve 1990 yılı sonuna kadar ülkenin toplam benzin ihtiyacının %40-50 sinin etanolle karşılanması planlanmaktadır. Bu ülkede üretilen etanolün maliyetinin benzinden daha yüksek olmasına karşın, devlet alkolü benzinden %30 daha ucuz satmaktadır. Brezilya da benzin alternatifi olarak metanolün değerlendirilmesi konusunda ise henüz bir gelişme bulunmamaktadır.

A.B.D. de alkollerin yakıt olarak kullanımı yüzyılımız başlarına dayanmaktadır. İlk uygulamalarda çiftlik makinalarında etanol-benzin karışımlarının kullanımı denenmiş, fakat büyük petrol şirketleri ile alkol sanayi rekabet edememiştir. Savaş yıllarında ise torpido ve denizaltılarda alkol kullanılmıştır. 1950 ve 1960'larda yarış otolarında alkol kullanımı uygulanmıştır. Petrol krizleri sonrası ise ülkenin tarımsal kaynaklarından etanol eldesi ve benzine katkısı gündeme gelmiş, Gasohol (%10 susuz etanol-benzin karışımı) adı altında alkollü benzinlerin değerlendirilme uygulaması başlamıştır. Bu uygulama devlet tarafından vergi indirimleri ile teşvik edilmiştir. 1980-1982 döneminde 1000'den fazla benzin istasyonunda gasohol pazarlanmıştır. A.B.D. de metanolün değerlendirilmesi ise geniş çaplı bilimsel çalışmalar ve pilot uygulamalar ile sürmektedir.

Federal Almanya alkollerin yakıt olarak kullanımında en eski, yaygın uygulamayı gerçekleştiren ülkedir. 1. Dünya Savaşı sırasında, savaş araçlarında %75-80 oranına kadar etanol kullanılmıştır. 70'li yıllarda ise bu ülkede metanol ön plana çıkmıştır. Metanolün direkt veya benzine katkı olarak kullanımı üzerinde büyük otomobil firmalarının ve devletin çabaları ile gerçekleştirilen bilimsel ve pilot çalışmalar olumlu sonuçlara ulaşmıştır.

Türkiye'de alternatif yakıt konusu Cumhuriyetin ilk yıllarında gündeme gelmiştir. 1931 yılında yapılan Ziraat kongresinde alkolle-
rin yakıt olarak değerlendirilmesi üzerinde durulmuştur. 1936 da i-
se Atatürk'ün hazırlattığı 2. Beş Yıllık Kalkınma Planında 23.bölüm
sentetik benzin endüstrisine ayrılmıştır. Bu plan, yakıtların itha-
lat ile sağlanmamasını, ülkenin hammadde kaynaklarından sentetik ben-
zin üretimi yapılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Fakat Atatürk'-
ün ölümü ve ortaya çıkan 2. Dünya Savaşı planın uygulanmasını engel-
lemiştir. Ancak 1942 yılında orduda kullanılan benzine %20 etanol
katılmıştır. Savaş sonrası ise ham petrol üretiminin artması, fiyat-
ların düşmesi ve çeşitli politik nedenlerden konuya ilgi duraklamış-
tır. Buna karşın 1973'den sonra petrol fiyatlarının artması ve ener-
ji krizleri sonucu konu tekrar önem kazanmış ve çeşitli girişimlere
başlanmıştır. Bu sırada Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. "Yakıt Amaçlı
Alkol Üretim" projesini yatırım planına almış ve bu amaca uygun ola-
rak yakıt amaçlı alkol fabrikalarının kurulması planlanmış ve kurulu
fabrikalarda kapasite arttırım çalışmaları başlatılmış fakat bu çaba-
lar sürdürülememiştir. Sürekli olarak ülkemiz Beş Yıllık Kalkınma
Planları kapsamında olan konu, bilimsel çalışmalar ve küçük çaplı uy-
gulamalar ile günümüze değin ulaşmıştır.

2.2. Benzin, Metanol, Etanol ve Füzel Yağı Üzerine Genel Bilgi

Benzin, ham petrolün 200°C'ye kadar distillenen, normal sıcak-
lıkta sıvı olan bir fraksiyonudur. Bu fraksiyona "Straight Run ben-
zin" adı verilmektedir. Ayrıca yaş doğal gazlardan absorbsiyon veya
adsorbsiyon yöntemi ile "Doğal gaz benzini", ve kömürün gazlaştırıl-
ması ile "Sentetik benzin", elde edilmektedir [30, 31, 32].

Metanol, renksiz, saydam, hafif kokulu, toksik, higroskopik bir
sıvıdır. Metanol, sentez gazı olarak isimlendirilen $CO + H_2$ (1:2)
karışımından yüksek basınçlarda katalitik olarak üretilir. Sentez
gazı ise katı yakıtlardan ve doğal gazdan üretilmektedir. Günümüzde,
metanol üretimi, modern tesislerde doğal gaza dayanmaktadır. Ayrıca
biyoteknolojik yöntemlerle metanol üretimi de gittikçe önem kazanmak-
tadır. Biokütle kaynaklarından, evsel ve endüstriyel atık ve

artıklardan biyoteknolojik yöntemlerle metanol elde edilmektedir [14, 33, 34].

Etanol, renksiz, saydam, hafif kokulu, higroskopik bir sıvıdır. Etilenin hidratlanması ve şekerli bitkilerin fermantasyonu ile endüstriyel ölçüde üretilmektedir. Metanol üretiminde olduğu gibi çeşitli biokütle kaynakları, tarımsal artıklar ile evsel ve endüstriyel artık ve atıklar da etanol eldesi için kullanılabilir [14, 35, 36, 37]. Benzin, etanol ve metanolün özellikleri Tablo 2-1 de verilmiştir [38, 39, 40].

Tablo 2-1 Benzin, Metanol ve Etanolün Özellikleri

Özellik	Benzin (i-oktan)	Benzin	Metanol	Etanol
Kimyasal formül	C_8H_{18}	-	CH_3OH	C_2H_5OH
Mol ağırlığı (kg/mol kg)	114.20	-	32.04	46.07
Element miktarları (ağ.%si)				
Hidrojen	15.9	14.6	12.6	13.1
Karbon	84.1	85.4	37.5	52.1
Oksijen	0.0	-	49.9	34.8
Yoğunluk, 20°C, (kg/m ³)	702.0	-	791.4	789.0
Kırılma indisi, 20°C	-	-	1.3286	-
	25°C	-	-	1.3594
Kaynama noktası, 0.1 MPa, (°C)	125	-	64.5	78.5
Donma noktası, 0.1 MPa, (°C)	216.5	-	175.5	158.9
Alevlenme noktası, açık kap, (°C)	-	-	15.6	15.6
Havada patlama sınırı, (hac.%si)	-	-	6.0-36.5	3.3-19.0
Tutuşma sınırları, (hac.%si)	1-6	-	7 -36	4.3-18
Buhar basıncı, 38°C, (kPa)	80	23*	32	21
Alt ısı değeri, (MJ/kg)	44.2	-	20.0	27.0
Gizli buharlaşma ısısı, (kJ/kg)	302.4	-	1167.7	921.1
Stokiyometrik Hava/ Yakıt oranı	15.10	-	6.44	8.96
Oktan sayısı				
Araştırma oktan sayısı	100	-	110	108
Motor oktan sayısı	100	-	94	94

* 27°C

Şekerli tarım ürünlerinin fermantasyonu ile etanol üretimi sırasında, etanol yanısıra yüksek alkoller de ortaya çıkar. Ayrıca

yüksek alkoller yanında fermentasyon yapılan hammaddeden kaynaklanan, kaynama noktaları yüksek, suda çözünmeyen çeşitli bileşikler de değişik miktarlarda etanol distillenirken ve saflaştırılırken yan ürün olarak ele geçmektedir. Bu sıvı karışım "füzel yağı" olarak isimlendirilmektedir. Füzel yağı sarıdan kahverengiye kadar rengi olan öksürtücü kokulu, 20°C'deki yoğunluğu 840-880 kg/m³ arasında değişen, etanol, eter ve kloroformda çözünebilen 80-132°C kaynama aralığına sahip sulu bir karışımdır. Bileşiminde gaz-sıvı kromatografisi yöntemleri ile 50 ye yakın madde tanımlanabilmiştir. Füzel yağı yapısında az miktarda etanol, 1- propanol, 2-butanol ve daha az oranda 1-butanol bulunmaktadır ve ana bileşenleri ise fermentasyon amilalkolleridir. Bu bileşikler 2-metil-1-butanol (optikçe aktif sekonder butil karbinol) ve 3-metil-1-butanol (isobutil karbinol) şeklinde iki izomer olarak bulunur. Ayrıca alkoller yanında daha az miktarda esterler, eser miktarda yağ asitleri, piridin, terpenler, amonyak ve aminler de füzel yağında bulunmaktadır. Füzel yağının yapısındaki yüksek alkollerin miktarı etanol üretimi ilkel maddesine bağlı olarak değişmektedir [41, 42]. Füzel yağının genel değerlendirme alanları, vernik sanayi, şekerleme, limonata ve likör gibi içecekler, ilaç sanayi, fosforik asit rafinasyonu, etanol üretiminde denaturasyon ve melas köpük söndürücü olarak kullanımıdır [43].

1988 yılı bilgilerine göre 20 147 354.10³ kg olan Türkiye sivil petrol ürünleri tüketiminin 2 174 082 tonunu benzine karşılamaktadır [12]. Aynı yıl Türkiye ham petrol arzı 24 237 076 10³ kg olup bu miktarın ancak %10.5 u yerli üretimle karşılanabilmiştir [12]. Görüldüğü gibi benzine tüketimimiz tamamen dışa bağımlıdır ve petrol ithalat giderleri ödemeler dengesini büyük ölçüde etkilemektedir.

Türkiye'de 4250 sayılı İspirto ve İspirtolu İçkiler Hakkındaki Kanun'un 1. maddesine göre alkol üretimi ve satışı devletin denetimi altındadır ve Tekel Genel Müdürlüğü bu kanun uyarınca ülkemiz alkol ihtiyacını karşılamaktadır. Toplam ihtiyacın bir kısmı Tekel'in kendisi tarafından karşılanmakta olup, ihtiyacın en büyük kısmı ise ilgili kanunun 4. maddesi gereği Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. nin ürettiği alkolün Tekel tarafından satın alınması ile sağlanmaktadır [26]. 25 adet şeker fabrikasından Malatya, Eskişehir, Turhal ve Erzurum da alkol üretim tesisleri bulunmaktadır. 56 bin m³/300 gün

kurulu kapasiteye sahip bu tesisler ~40 milyon litre/300 gün kapasite ile çalışmaktadır [44]. Yıllık alkol üretimi tek alıcı konumunda olan Tekel'in talebine uygun olarak planlanmaktadır ve ilgili tesislerde alkol üretimi gerçekleşmektedir. Bu fabrikalar yanısıra Tekel'e ait Paşabahçe'de 4.8 bin m³/yıl kapasiteli bir ispirto Fabrikası ve Tarış'e ait İzmir'de 1.2 milyon litre/yıl kapasiteli bir incir ispirto fabrikası da bulunmaktadır [26]. Etanol üretimi sırasında yılda 10 260 m³ füzel yağ elde edilmektedir [44].

Metanol Türkiye de üretilmemektedir. Ülke ihtiyacı ithalat ile sağlanmaktadır. 1988 yılında 72 911 687 kg, 1989 yılının ilk 8 ayında ise 61 757 253 kg metanol ithal edilmiştir [45].

2.3. Kaynak Tarama

Benzinli motorlarda, etanol ve metanolün yakıt olarak değerlendirilmesinde alkollerin bazı özelliklerinin benzinden farklı olmasından kaynaklanan, soğukta ilk hareket problemi, motorda yüksek sıkıştırma oranlarında çalışma zorunluluğu, korozyon ile çevre kirliliği sorunlarından ötürü yeni tip motor tasarımları gerekmektedir. Buna karşın günümüzde kullanılan motorlarda hacmen %20 ye kadar alkol içeren benzinler hiçbir değişiklik gerekmesizin kullanılabilir [26, 27, 29, 46, 47, 48, 49, 50, 51].

Alkollü benzinlerin motor yakıtı olarak değerlendirilebilmesi için yakıtların hazırlanması, depolama ve taşıma şartları belirlenerek, yakıt analizleri yapıp, motor testleri gerçekleştirilmelidir. Bu amaçla bu bölümde konuya ilişkin günümüze değin gerçekleştirilen çeşitli çalışmalar incelenerek genel bir değerlendirme yapılmıştır.

Saf metanol ve etanol ortam sıcaklığında benzinle kolayca karışabilmektedir. Ancak alkollerin higroskopik özelliklerinden ötürü alkol/benzin karışımları benzin, alkol ve sudan oluşan üçlü bir sistem şeklinde bulunur ve belirli koşullarda faz ayırımı oluşur. Bu nedenle alkollerin su içeriği ve yakıt depolarında bulunabilecek su miktarı çok önemlidir. Homogen bir karışım için, karışım sudan izole

edilmeli, ortam neminden ise hem tutucu malzemelerle korunmalıdır. Örneğin, bu amaçla yakıt deposu kapağına egzoz gazı sıcaklığı ile rejenere edilebilen nem tutucu bir madde konabilir [48].

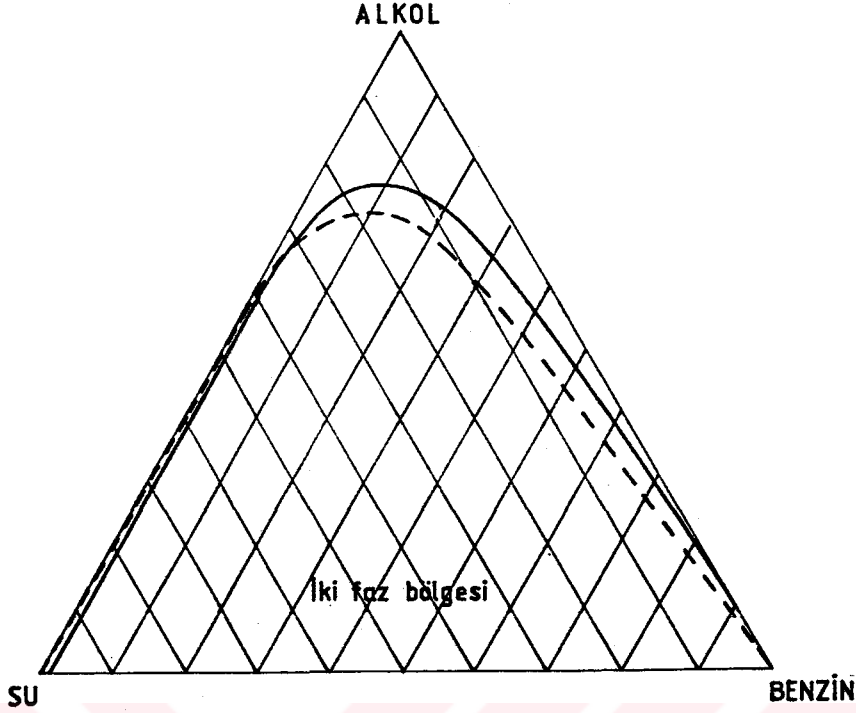
Alkollü benzinlerin hazırlanmasında karşılaşılan bir diğer sorun, metanol ve etanolün saf olarak depolanmasında sıvı faz üzerinde oluşan doymuş buharın alev alma özelliğine sahip olmasıdır. Alkollerin yüksek iletkenliği statik kıvılcımların oluşumunu azaltırsa da yabancı bir kıvılcım ile patlama riski benzine oranla çok daha fazladır. Alkollere bazı uçucu hidrokarbonların eklenmesi ile patlama riski azaltılabilmektedir. Örneğin, metanole %5 pentan katılmasıyla patlama riski -20°C altına düşmektedir [52].

Gerek bu problem gerekse metanolün toksik özelliği alkollü benzinlerin motor yakıtı olarak değerlendirilmesinde çeşitli güvenlik ve eğitim önlemlerinin alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Motor yakıtı olarak alkol/benzin karışımlarının değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmaların sonuçları arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılığın en büyük nedenleri çalışmalarda kullanılan benzin bileşimlerinin aynı olmaması ve benzer koşullarda motor ve yol testlerinin yapılmamasıdır.

Benzin-alkol-su sisteminde karışımı oluşturan bileşenlerin oranlarına bağlı olarak normal bir sıcaklıkta homogen bir fazın dayanıklı olduğu bölgenin sınırları kesin olarak bellidir. Şekil 2-2-1 alkol-benzin-su sistemine ait çözünürlük diyagramını göstermektedir [53]. Metanollü ve etanollü benzinlerde herbir eğrinin içinde kalan bölgede heterogen faz, eğrilerin dışında kalan bölgedeki bileşimlere sahip sistemde ise homogen faz bulunmaktadır. Etanol ve metanolün çözünürlük eğrileri karşılaştırıldığında, aynı benzin miktarı için metanolün çözünürlüğünün daha fazla, aynı alkol miktarında ise etanolün daha fazla su ile karışabildiği görülmektedir.

Alkollerin benzinde çözünürlüğü, benzinin kimyasal yapısı ve fiziksel özelliklerine, sıcaklık ile su miktarına bağlıdır [20]. Metanol ve etanolün hidrokarbonlarda çözünürlük davranışı farklılık göstermektedir. Metanol aromatik hidrokarbonlarda oldukça iyi



Şekil 2-2-1 Alkol-Benzin-Su Sistemi Çözünürlük Diyagramı

---: Etanol

—: Metanol

çözünürken, alifatik hidrokarbonlarda daha düşük oranda çözünmektedir. Buna karşın etanol hidrokarbonlarda, hidrokarbonun türüne bağlı olmaksızın iyi bir çözünürlük göstermektedir [20, 49]. Örneğin; sıvı metanol 15.6°C de aromatik benzinde her oranda, normal benzinde %13, Straight Run benzinde ise %4 oranında karışmaktadır. -17.7°C de normal benzindeki çözünürlük %4'e, karışıma %0.03 su katılması ile ise %0.5'e düşmektedir [29].

Benzin-alkol karışımlarında, sistemin çözünürlük davranışının doğal bir sonucu olarak, karışımdaki alkol, su miktarı, ortam sıcaklığı ve karışımı oluşturan benzinin kimyasal yapısına bağlı olarak faz ayırımı oluşur. İki ayrı sıvı faz oluştuğunda, hacmen daha fazla ve suya göre daha düşük yoğunlukta olan alt faz alkol, üst faz ise benzince zengindir. Benzini oluşturan bileşiklerden ise parafinik yapıları olanlar üst fazda, aromatik bileşikler ise alt fazda bulunmaktadır [53]. Faz ayrışması yapmış karışım motorda kullanıldığında, teklemeler, sarsıntılar, ilk hareket zorlukları ve motorun durmasına neden olacak kadar önemli problemler oluşur [48]. Bu nedenle alkolü benzinlerde öncelikle faz ayrışma problemi çözümlenmelidir.

Literatürde alkollü benzinlerin faz ayırma probleminin çözümü için genel öneri katkı maddesi kullanımıdır. Katkı maddesi olarak çeşitli aromatik bileşikler ve yüksek alifatik alkollerin kullanımı üzerine çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

1982 yılında A.B.D. de W. Osten ve N.J. Sell tarafından yapılan çalışmada, %5-20 metanol ve %0.0-0.3 su içeren benzin sisteminin faz ayırımı sıcaklıkları saptanmıştır [54]. Ayrıca %2-7 arasında isopropanol ve tersiyer butanol katkısıyla faz ayırımı sıcaklıklarındaki düşüş izlenerek her iki katkı maddesinin etkisi karşılaştırılmıştır. Elde ettikleri sonuca göre en çok %12 metanol içeriği sınırına kadar isopropanol tersiyer butanolden daha etkin bir katkı maddesidir. Bu çalışmaya göre metanol miktarı %10-15'i aşmadığı sürece %5 gibi az miktarda katkı maddesi eklenmesi ile faz ayırımı sıcaklıklarını kış aylarında da geçerli, çok düşük değerlere indirmek mümkündür. Çalışmada ayrıca, deney sonuçlarından regresyon analizi ile, benzindeki metanol, katkı maddesi, su miktarına bağlı olarak faz ayırımı sıcaklıklarının hesaplanmasını sağlayan iki eşitlik de bulunmaktadır.

Isopropanol, katkı maddesi olarak iki ayrı çalışmada daha önerilmektedir [4, 55]. Metanollü benzinlerde yürütülen çalışmada %10 IPA katkısı ile parafinik yapılu benzin-metanol karışımlarında, -65.0 °C'den düşük faz ayırımı sıcaklıkları elde edilerek, faz ayırımı sıcaklığının, karışımın alkol, su miktarı ile kullanılan benzinin kimyasal yapısına bağlılığı gösterilmiştir [55]. Benzer sonuçların etanollü benzinlerde de elde edildiği ise diğer çalışmada öne sürülmektedir [4].

Sovyetler Birliği'nde yapılan bir çalışmada ise benzin-metanol sistemi için siklohegzanol katkı maddesi olarak önerilmektedir [56]. Bu çalışmada V.F. Alekseev yöntemine göre, benzin-metanol-su-siklohegzanol sisteminin faz ayırımı sıcaklıkları, saptanmıştır. Karışımların faz ayırımı sıcaklıklarının değişimi ise metanol, su, siklohegzanol miktarları değiştirilerek incelenmiş, benzin-alkol sisteminde, su miktarı azalması ya da siklohegzanol miktarının artması ile faz ayırımı sıcaklıklarının düşürülebildiği, katkı maddesi olarak kullanılan siklohegzanolün üretiminin ekonomik ve katkı maddesi etkisinin isobutanole benzediği de belirtilmektedir.

Siklohegzanolün katkı maddesi olarak kullanıldığı bir diğer çalışmada ise benzin-etanol-su sistemi incelenmiştir [57]. Çalışmada susuz alkol üretiminin maliyeti gözönüne alınarak alkol olarak etanol-su azeotropu kullanılmıştır. Çalışmada siklohegzanol yanında, siklohegzanon, isopropanol, fenol, n-butanol gibi o güne değin üzerinde durulmuş çeşitli katkı maddelerinin kullanımı, ortam sıcaklığına bağlı olarak değişen katkı maddesi miktarları üzerinde durularak, sözü edilen katkı maddeleri-benzin-etanol azeotropu sistemine ait faz diyagramları çıkarılmıştır. Bu sistemler için ortam sıcaklığı önemlidir ve düşük sıcaklıklarda sistemin homogenliği için daha büyük miktarlarda katkı maddesi gerekmektedir.

B.A. Englin ve çalışma grubu ise, isopropanol, isobutanol, n-butanol, n-amilalkol ve alkollerin ikili karışımlarını farklı kimyasal yapıya sahip benzinlerde katkı maddesi olarak kullanmıştır [58]. Çalışmanın sonuçlarına göre, en etkin katkı maddesi n-butanoldür ve alkollü benzinlerin faz ayırımı sıcaklıkları benzin bileşimine bağlıdır. Benzinin aromatik karakterinin artması faz ayırımı sıcaklıklarını olumlu yönde etkilemektedir.

Kaynak tarama çalışmalarımıza göre, katkı maddesi olarak en çok üzerinde durulan bileşikler butil alkolün izomerleri olarak saptanmıştır. Keller ve arkadaşları isobutanol ve n-butanolün, V.S. Chelliah ve grubu ile L.G.G. Svahn isobutanolün, B. Nierhauve ile M. Mueller ve M.J. Majunke tersiyer butanolün, alkollü benzinlerde faz ayırımı sıcaklığını düşürücü yönde etki eden uygun katkı maddeleri olduğunu ve katkı alkollerin benzin-alkol karışımlarının yakıt ve motor özelliklerini olumsuz yönde etkilemediğini öne sürmüşlerdir [59, 52, 60, 61, 52]. Ayrıca API tarafından verilen bir araştırmanın sonuçlarında, isobutanolün etkisi, isopropanol ve benzen ile karşılaştırılmış ve isobutanol en etkin katkı maddesi olarak öne sürülmüştür [29]. A.W. Crowley ve çalışma grubu ise tersiyer butil alkol ve isopropanolü metanollü benzinler için uygun katkı maddesi olarak önermektedirler [63].

Alkol-benzin karışımlarının suya karşı duyarlılıkları da faz ayırımı olayı ile doğrudan ilgilidir. Karışımlarda, alkol, su, katkı maddesi, ortam sıcaklığı ve benzin bileşimine göre su kaldırabilirlik

değerleri artar veya azalır. Alkollü benzinlerde, alkol ve katkı maddesi miktarı ve ortam sıcaklığı artışı ile su kaldırabilirlik miktarı artar. Ayrıca benzinin aromatik bileşik miktarının artması haze (hafif bulanıklık) oluşumuna kadar alkollü benzinin alacağı suyun miktarını arttırmaktadır [27, 29, 52, 60]. Bunun yanında alkollerin hidrokarbonlardaki çözünürlüğü, hidrokarbonun molekül ağırlığına da bağlıdır ve molekül arttıkça çözünürlük, dolayısı ile su kaldırabilirlik artmaktadır [64].

G. Terzoni ve çalışma arkadaşlarının yürüttüğü bir çalışmada ise etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarında su kaldırabilirliğin değişimi incelemiştir. -18, 0, 20°C sıcaklıklarda, isooktan/ ve toluen benzinini karakterize eden alifatik ve aromatik hidrokarbonlara örnek olarak alınarak faz diyagramları çıkarılmış, ikili faz bölgeleri belirlenmiştir [65]. Elde edilen sonuçlara göre, sıcaklık artışı ve karışımların toluen miktarı artışı su kaldırabilirliği arttırmaktadır. Aynı sıcaklık ve bileşimlerde etanol metanolden daha fazla su kaldırabilirliğe sahiptir. Çalışmada ayrıca ikili faz oluşumunda alt ve üst fazların bileşimi de incelenmiştir. Buna göre üst faz miktarca daha fazla ve isooktan yönünden zengin, alt faz ise alkol ve toluen yönünden zengindir. Aynı sonuç E.M. Goodger tarafından da verilmektedir [53].

Alkollü benzinlerin faz ayırımı probleminin çözümü için katkı maddesi kullanımı dışında, literatürde farklı bir tek çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmada iki ayrı sıvı faza ayrılmış alkollü karışımın ince bir emülsiyon şeklinde karbüratör veya yakıt enjektörüne gönderildiği, çalışmanın olumlu sonuçlar verdiği belirtilmektedir [66].

Hacmen %20'ye kadar alkol içeren benzinlerin yakıt özellikleri, ASTM yöntemlerine göre saptanan benzin özellikleri ile uyum göstermektedir. Çeşitli kaynaklarda alkollü benzinlerin özellikle, yoğunluk, viskozite, oktan sayısı, Reid buhar basıncı, distilasyon özellikleri ve korozyon testleri üzerinde çalışmalara rastlanmıştır.

%0 ile %100 değişen hacimsel oranlarında etanol içeren benzinlerle yürütülen çalışmada, karışımların yoğunluk ve viskozite değerlerinin, etanol miktarı ve sıcaklığa bağlı olarak lineer bir şekilde arttığı saptanmıştır [67]. Bu çalışmada ayrıca, karışımın etanol

miktarı ve sıcaklığa bağılı olarak yoğunluk ve viskozite değerlerini veren iki eşitlik türetilmiştir.

Metanolün araştırma oktan sayısı 112, motor oktan sayısı 91, etanol için ise bu değerler sırası ile 111 ve 92 dir [27]. Benzine alkol katılması ile birlikte, karışımın alkol miktarına bağılı olarak oktan sayıları yükselmektedir. [29, 47, 48, 50, 52, 60, 67, 68, 69, 70]. Literatür değerlerine göre benzine %2.5 (hacmen) oranında alkol katkısı, oktan sayısını yaklaşık olarak 1 sayı kadar yükseltmektedir [47, 71]. Ancak alkollü benzinlerin oktan sayıları karışımın alkol miktarı yanı sıra, karışımı oluşturan benzinin bileşimi ve karışımdaki suyun miktarına bağılıdır. Yapılan araştırmalara göre parafinik bileşiklerce zengin benzin ile hazırlanan alkollü benzinlerin oktan sayıları daha az miktardaki alkol katkısı ile artmakta ve karışıma alkol ile gelen su miktarı arttığında karışımın oktan sayısı daha fazla yükselmektedir [47, 62, 71].

Benzin-alkol karışımlarında, karışımın alkol içeriğine bağılı olarak Reid buhar basıncı da yükselir [20, 22, 32, 46, 48, 55, 58, 65, 68]. Saf metanol 32 kPa, etanol ise 21 kPa Reid buhar basıncına sahiptir [39, 68]. Alkollü benzinlerde Reid buhar basıncının artması, dolayısı ile kaynama noktasının düşmesi, alkollerin benzin içindeki bazı hidrokarbonlarla yaptığı azeotroplara bağılıdır. Etanol ve metanol C_5 ve diğer yüksek hidrokarbonlar ile benzin bileşenlerinden daha düşük kaynama noktalı azeotroplar yapar [52]. Bu durum alkollü benzinlerin ASTM distilasyon eğrilerinden de izlenmektedir [19, 27, 52, 58, 67, 70, 74]. Tablo 2-3-1 de alkollü benzinlerin buhar basınçları ve belirli fraksiyonlarına karşılık gelen kaynama sıcaklıkları değişimi, karışımı oluşturan benzinin özellikleri ile karşılaştırmalı olarak görülmektedir [29, 74]. Bu tablodan da görüldüğü gibi metanolü benzinlerin kaynama noktalarındaki düşüş etanolü benzinlere göre daha fazladır [29, 52, 74]. Alkollü benzinlerde, kaynama noktalarındaki bu düşüş, dolayısı ile Reid buhar basınçlarındaki yükselme, karışımların yakıt olarak kullanımında, yüksek ortam sıcaklıklarında buhar tıkaçı oluşarak motorun durmasına ya da ilk hareket güçlüğüne neden olmaktadır. Çok düşük ortam sıcaklıklarında da motorun çalışması yine olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu sorun benzinin düşük kaynama noktalı bileşenlerinin miktarının azaltılması ile çözümlenebilmektedir [52].

Tablo 2-3-1 Alkollü Benzinlerde Distilasyon ve Reid Buhar Basıncı Özelliklerinin, Karışımları Oluşturan Benzinin Özellikleri ile Karşılaştırılması.

	Metanollü benzin		Etanollü benzin	
	Benzin	%10 meta-nollü b.	Benzin	%25 etanollü b.
Distilasyon testi:				
Hacmen %10'unun kazanıldığı sıcaklık, (°C)	52	44	54	53
Hacmen %20'sinin kazanıldığı sıcaklık, (°C)	64	49	64	60
Hacmen %30'unun kazanıldığı sıcaklık, (°C)	76	52	75	65
Hacmen %50'sinin kazanıldığı sıcaklık, (°C)	102	96	97	72
FIA analizi, (%ağ. %si)				
Aromatik hidrokarbonlar	22			
Olefinik hidrokarbonlar	11	-	-	-
Doymuş hidrokarbonlar	67			
Reid buhar basıncı, (kPa)	65.6	88.5	64.1	66.9

A.W. Crowley ve çalışma grubu metanollü benzinlerdeki buhar tıkaçı olayını 6 adet 1974 model otoda geniş anlamda incelemiştir [63]. Metanollü benzinlerle çalışan otoların buhar tıkaçı olayını, benzin ile çalışan otolarla karşılaştırmak amacı ile yapılan deneylerde, trafiğe kapalı alanda $32 \pm 5^{\circ}\text{C}$ de, CRC tam gaz konumu buhar tıkaçı tekniği kullanılarak deneyler sürdürülmüştür. Deneyler sonunda metanollü karışımların, aynı uçuculuk özelliklerine sahip benzine göre daha yüksek buhar tıkaçı eğilimi gösterdikleri gözlenmiştir.

Benzin-alkol karışımlarının korozyif etkilerinin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmaların sonuçları arasında farklılıklar bulunmaktadır [27, 29, 47, 52, 59, 60, 61, 63, 67, 69, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82]. İncelenen bazı çalışmalarda alkollü benzinlerin motor ve yakıt donanım parçalarında (Pb, Mg, Al, terne, zamak, bazı plastikler gibi) malzeme sorunları oluşturduğu belirtilmekte olup, yeni tip malzeme ya korozyon inhibitörleri kullanımı önerilmektedir [49, 60, 61, 67, 69, 76, 82]. Bazı çalışmalarda ise hiçbir malzeme problemine rastlanılmadığı belirtilmektedir [52, 59, 70, 81]. Alkollü benzinlerin korozyon özelliklerinin belirlenmesi amacı ile, benzin için geliştirilmiş ve sürekli uygulanmakta olan bakır korozyon testi (ASTM D 130) yanısıra daha geniş anlamda korozyon testi yapılmalıdır.

Bu konuda geçerli standart bir yöntem henüz bulunmamaktadır. Ancak bu yakıtlar için "The American Society for Testing and Materials" çalışmaları kapsamında 1980 yılında gerçekleştirilen ve gasohol için geliştirilen bir korozyon testi önerilmektedir [51, 83]. Kaynak taraması sırasında bu yöntemin uygulandığı bir çalışma bulunmamıştır. E.M. Hobbs ve V.L. Kersey ise çeşitli benzinler ve gasohol üzerine gerçekleştirdikleri çalışmalarda, gasoholün NACE TM-01-72 yöntemine göre yapılan korozyon testlerinin sonuçlarını vermektedir [69].

Alkollü benzinlerin, kurşunsuz benzin ile hazırlanmasında da süpap oturma yüzeylerinde aşınma olacağı G.A. Schoonveld tarafından ileri sürülmektedir [84].

Etanol ve metanolün motor yakıtı olarak değerlendirilmesinde elde edilecek sonuçlar, benzin ile karşılaştırılarak Tablo 2-3-2 de verilmiştir [85]. Alkollerin motor yakıtı olarak gösterdiği bu özellikler konuya ilişkin günümüze kadar gerçekleştirilen araştırma

Tablo 2-3-2 Alkollerin Motor Yakıtı Özelliklerinin Benzine Göre Değerlendirilmesi

Özellik	Metanol	Etanol
Isıl verim	++	++
Soğuk start	-	--
Vuruntu dayanımı	++	++
Erken ateşleme	-	0
Malzeme dayanımı	--	-
Kirletici salınımı	++	+
Özgül motor gücü	++	++
Otomobilin sürülebilmesi	0	0
++: Çok iyi --: Çok kötü 0: Eşit +: İyi -: Daha kötü		

ve uygulamaların genel bir özeti olarak kabul edilebilir. Buna karşın benzin/alkol karışımları ile gerçekleştirilen motor testi çalışmalarından elde edilen sonuçlar arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bazı çalışmalarda, alkol katkılı benzinlerin benzine eşdeğer motor yakıtı özellikleri gösterdiği belirtilirken, diğerlerinde benzinden olumlu ya da olumsuz sonuçların görüldüğü belirtilmektedir [19, 27, 46, 47-52, 59-61, 63, 68-74, 76-78, 80-82, 85-95]!. Burada sözü

edilen bu çalışmalardan bazı tipik örnekler verilecektir.

American Petroleum Institute (API) tarafından yapılan bir derlemeden alınan sonuçlara göre, %14 metanollü benzin ile, 1971 Model Volvo model otomobilde yapılan testler sonucunda (soğuk start çalışması) benzine göre, metanollü benzinlerin özgül yakıt tüketim değerlerinde artma, egzoz emisyonu ölçümlerine göre ise hidrokarbon emisyonlarında artış, karbonmonoksit ve azotoksit emisyonlarında azalma saptanmıştır [27]. API tarafından verilen bir diğer derleme de ise %10, 20, 30 oranlarında etanol içeren benzinlerle yürütülen çalışmada özgül yakıt tüketimlerinin arttığı, 1956-1970 yılları arasındaki çeşitli araştırmalarda, metanollü ve etanollü benzinlerin, benzine oranla egzoz ölçümlerindeki artma veya azalmaların farklılık gösterdiği belirtilmektedir [29].

A. Szwarc ve G.M. Branco'nun çalışması Brezilya'daki çalışmalar için genel bir değerlendirme özelliği taşımaktadır [46]. Bu çalışmada, susuz etanol-benzin (kurşunlu ve kurşunsuz) ile etanol için elde edilen sonuçlar verilerek, alkollü benzinlerin kullanılmasında herhangi bir sorun olmadığı gibi karbonmonooksit, hidrokarbon ve azotoksit emisyonlarının azaldığı, aldehit emisyonlarının ise bir miktar arttığı belirtilmektedir.

A.B.D. de gerçekleştirilen bir çalışmada, çeşitli bileşimlere sahip benzinler ile hazırlanan metanol/benzin karışımlarının yanma karakteristikleri incelenmiştir [50]. 10 yeni model taşıtta, çeşitli ortam sıcaklıklarında egzoz gazı emisyonu ve yakıt ekonomilerinin belirlendiği bu çalışmada %5 ve %10 metanollü benzinlerin kullanılması önerilmekte ve 5 000 millik çalışma sonunda motorlarda herhangi bir arıza ve karışımlarda faz ayırımı görülmediği açıklanmaktadır. Bu çalışmada egzoz gazı bileşiminden hesaplanarak elde edilen yakıt ekonomisi değerlerinin, karışıma eklenen metanol miktarı ile ters orantılı olduğu, metanollü benzinler ile benzinle çalışan taşıtlar arasında gözle görülebilir fakat itiraz edilemeyecek bir sürülebilirlik farkı olduğu, emisyonlardaki artma veya azalmanın da karışımın metanol miktarı ile hava/yakıt oranına bağlı olduğu saptanmıştır.

İsveç'te yapılan bir araştırmada ise %7 etanol ve (%3.5 metanol + %3.5 isobutanol) içeren benzinlerle yapılan çalışma sonunda, bu yakıtların ülkeleri için sınır değer yakıt ve motor test özellikleri taşıdığı araştırmacı tarafından belirtilmektedir [60].

A.W. Crowley ve grubu ise %20 metanol içeren benzin ile isopropanol ve tersiyer butanolün de katkı maddesi olarak etkisini araştırarak, 50 000 millik test programında, soğuk ve sıcak start durumlarını incelemişler, egzoz emisyonu değerlerini saptamışlardır [63].

Gasohol ile yapılan bir araştırmada da, benzine göre, daha az yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarında azalma olduğu, yaz ve kış koşullarında üç farklı taşıt için 2000 millik test programı içinde hiçbir probleme rastlanılmadığı öne sürülmektedir [70].

J.C. Ingamells'in çalışmasında ise %10 metanollü benzin için kullanılacak motorda modifikasyon önerilmektedir [73].

Türkiye'de gerçekleştirilen bu konuya ilişkin çalışmalardan birinde, benzin ve %10, %20, %30 etanol içeren benzinin motor karakteristikleri karşılaştırılmaktadır [82]. Elde edilen sonuçlara göre, karışımın alkol miktarının artması ile dönme sayısına bağlı olarak güçte ve momentte azalma, özgül yakıt tüketiminde artış olmaktadır. Etanollü benzinlerde yürütülen bir diğer çalışmada %20 etanol içeren benzin önerilerek, etanollü benzinle yapılan çalışmalar, etanol ve etanol-su karışımları ile yürütülen deneylerle karşılaştırılmaktadır [85]. Maksimum %20'ye kadar etanol içeren çeşitli alkol-benzin karışımları ile yapılan diğer bir araştırmada ise, sıkıştırma oranı değiştirilerek deneyler sürdürülmüştür [92]. Alınan sonuçlara göre; özellikle yüksek sıkıştırma oranlarında motor karakteristiklerinin olumlu yönde etkilendiği belirtilmektedir. Aynı araştırmacının isopropanol katkılı etanollü benzinlerle yürüttüğü bir diğer çalışmada da etanollü benzinlere çok yakın sonuçlar alınmıştır [93]. O. Borat tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise metanol ve %15 metanollü benzinde motor testlerinde, farklı hız, farklı gaz keleşbeği açıklığı ve farklı yüklerde çalışıldığı ve olayda emme manifoldunun ısıtılmasının etkisi olduğu belirtilmektedir 48 . Çalışma sonunda %15 metanollü karışımın günümüz motorlarında değişiklik gerekmeden kullanılabileceği

belirtilmektedir. Ülkemizde metanol üzerinde yapılan en son çalışmada ise, metanolün yüksek hızlı hafif hizmet dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği incelenmiştir [96].



3. DENEYSEL BÖLÜM*

Deneyisel çalışmalarda %5 , %10 , %15 , %20 alkol içeren benzin örnekleri kullanılmıştır. %20 alkol miktarı, günümüz benzin motorları için tasarım değişikliği gerektirmeyen alkol miktarı gözönüne alınarak, çalışmamızda kullanılacak maksimum alkol miktarı olarak seçilmiştir (bkz. Bölüm 2.3). Alkollü benzinlerin hazırlanmasında TÜPRAŞ İzmit Rafineri'sinden sağlanan dört farklı kimyasal bileşime sahip benzin örnekleri kullanılmıştır. Benzin örneklerinin ASTM standartlarına göre saptanan özellikleri Tablo 3-1 de verilmiştir [97]. Karışımlarda alkol bileşeni olarak Merck marka saf metanol (MeOH) ve Tekel'den alınan etanol (EtOH) kullanılmıştır. EtOH aşırı higroskopik özelliğinden ötürü, karışımlar hazırlanmadan önce normal basınçta distillenmiştir. Taze distillenmiş EtOH, k.n. 78.15°C, ağırlıkça %44 su içeren alkol-su azeotropudur [98]. Tüm karışımların su içerikleri Karl Fischer yöntemine göre (ASTM D 1744) saptanmıştır [97]. Deneyisel bölüm üç aşamada gerçekleştirilmiştir:

- 1- Alkollü benzinlerde faz ayrışma sorununun çözümü,
- 2- Alkollü benzinlerin yakıt özelliklerinin belirlenmesi ve
- 3- Alkollü benzinlerde motor testleri ve egzoz gazı emisyonlarının saptanması.

3.1. Alkollü Benzinlerde Faz Ayırımı

Bu çalışmada, etanollü ve metanollü benzinlerde çeşitli katkı maddeleri kullanılarak karışımlarda faz ayrışma sorununun çözülmesi amaçlanmıştır. Katkı maddesi olarak Merck marka saf n-propanol (NPA), isopropanol (IPA), n-butanol (NBA), isobutanol (IBA),

*Belirtilmediği durumlarda tüm % bileşimler hac. %si olarak verilmektedir.

Tablo 3-1 Kurşunsuz Benzin Örneklerinin Özellikleri.

Özellik	Benzin (B ₁)	Benzin (B ₂)	Benzin (B ₃)	Benzin (B ₄)	Yöntem [97]
Renk	Sarı	Sarı	Sarı	Sarı	ASTM D 1298
Yoğunluk, 15.6°C, (kg/m ³)	72,10	762,5	795,2	734,6	ASTM D 86
Distilasyon testi:					
%10'unun geri kazanıldığı sıcaklık (°C)					
%50'sinin "	50	52	78	57	
%90'nin "	89	121	132	99	
%10'unun geri kazanıldığı sıcaklık (°C)	143	159	162	155	
Bakiye, (%)	0.5	0.5	0.5	1.0	
Kayıp, (%)	0.5	1.0	1.0	1.0	
Bileşim, (ağır. %si)					
Aromatik bileşikler	39.02	48.80	59.94	27.20	ASTM D 1319
Olefinik bileşikler	0.97	1.50	1.10	0.60	
Doymuş bileşikler	60.01	49.70	38.96	72.20	
Su içeriği, (%)	0.3700	0.2504	0.1508	0.1227	
Kükürt, (ağ. %si)	-	0.0029	0.0020	-	ASTM D 1744
Kükürt(kg/m ³)	8.10-3	4.10-3	6.10-3	28.10-3	ASTM D 1266
Reid buhar basıncı (kPa)	63.8	77.0	48.6	56.7	ASTM D 381
Korozyon, (Cu şerit, 50°C)	No.1A	No.1A	No.1A	No.1A	ASTM D 323
Oktan sayısı:					ASTM D 130
Araştırma yöntemi	85.0	96.6	97.5	82.0	ASTM D 2699
Motor yöntemi	74.5	86.5	86.6	76.0	ASTM D 2700

n-amilalkol (NAA), $C_5H_{12}O$ izomer karışımı olan isoamilalkol (IAA) ve Eskişehir Şeker Fabrikasından sağlanan melas kökenli füzel yağı kullanılmıştır. Faz ayırımı sıcaklıkları (FAS) alkol-benzin karışımlarına değişen oranlarda katkı maddeleri katılarak DIN 51 583'e göre saptanmış ve FAS'nın çeşitli etkenlere bağlı olarak değişimi incelenmiştir [99]. FAS'ları $-120^{\circ}C$ ile $40^{\circ}C$ arasında ölçüm yapılabilen alkollü termometre ile saptanmıştır. FAS'ı saptanması için gerekli düşük sıcaklıklar ise termostatlı bir soğutucu veya aseton-kurubuz karışımı ile sağlanmıştır. Bu karışım ile ulaşılabilen en düşük sıcaklık $-77^{\circ}C$ dir [100]. FAS değerlerinin ölçümünde daha düşük sıcaklıklarda çalışma olanağı bulunamadığından bu sıcaklık altındaki FAS'ları ilgili grafiklerde (o) işareti ile gösterilmiştir. Ayrıca oda sıcaklığı üstündeki FAS'na sahip karışımlarda, örnekler önce $39^{\circ}C$ 'a ısıtılmış, daha sonra soğutulularak FAS'ları saptanmıştır [54]. Benzinin yüksek buhar basıncı nedeni ile daha yüksek sıcaklıklara ısıtılması sakinliği olduğundan $39^{\circ}C$ 'nin üstündeki FAS'ları da ilgili grafiklerde (o) işareti ile gösterilmiştir.

3.1.1. Metanollü Benzinlerde Faz Ayırımı Sıcaklıklarının Saptanması

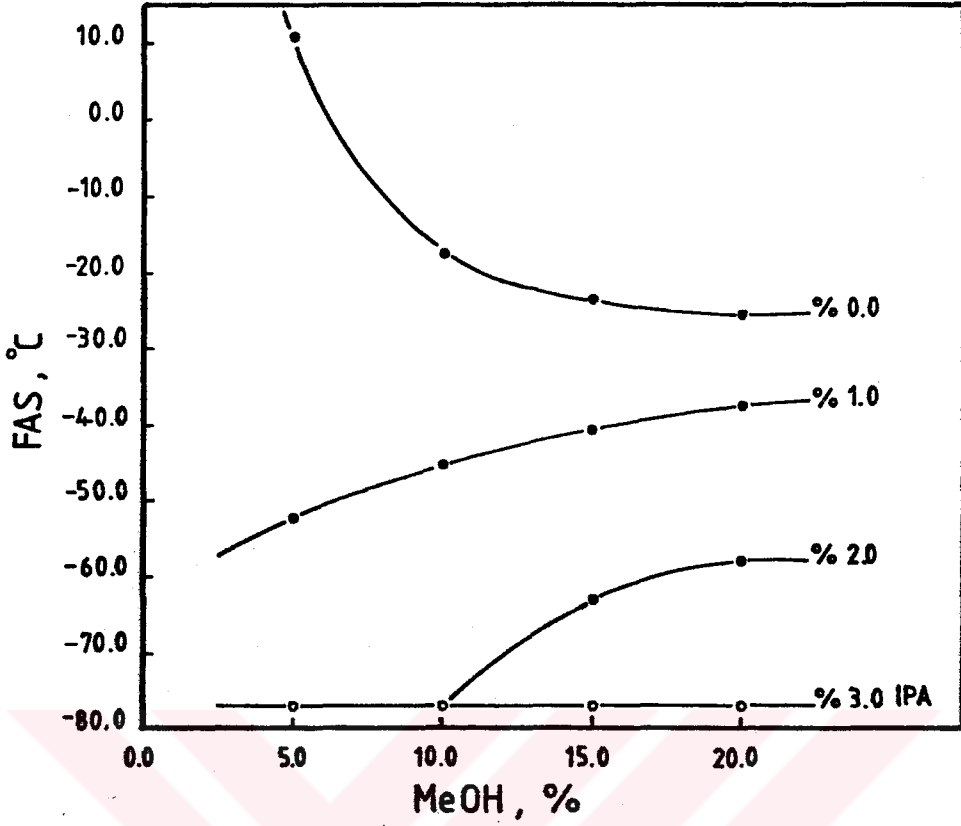
MeOH-benzin karışımlarında sırası ile IPA, NPA, IBA, NBA, IAA, NAA katkı maddesi olarak kullanılarak karışımların FAS değerleri saptanmıştır. %0.1 sulu, B₃ benzini ile hazırlanan karışımlarda Şekil 3-1-1 de IPA, Şekil 3-1-2 de NPA, Şekil 3-1-3 de IBA, Şekil 3-1-4 de NBA, Şekil 3-1-5 de IAA, Şekil 3-1-6 da ise NAA katkılı karışımların FAS değerlerinin değişimi görülmektedir. Bu grafiklerin tümü incelendiğinde; IPA, NPA, IBA, NBA, IAA ve NAA'ün metanollü benzinlerde FAS'ını düşürmek amacı ile kullanılabilecek etkin katkı maddeleri olduğu görülmektedir. Katkı maddesi içermeyen metanollü benzinlerde, karışımın MeOH miktarının artması ile FAS'ı düşmektedir. %5 alkol içeren karışım $11^{\circ}C$ de faz ayrışması verirken, bu sıcaklık %10 alkol miktarı için $-17.5^{\circ}C$ 'ye, %15 ve %20 MeOH miktarlarında ise sırası ile $-21.5^{\circ}C$ ve $-25.5^{\circ}C$ 'a düşmektedir. Grafiklerin tümünde katkı maddesi olarak kullanılan alkollerin benzer etkiye neden oldukları gözükmemektedir. Katkılı metanollü benzinlerde, aynı katkı maddesi miktarı için karışımdaki MeOH miktarının artması ile FAS'ı da yükselmektedir. Örneğin, %1 IPA içeren %5 metanollü benzinin FAS'ı $-52^{\circ}C$

iken, MeOH miktarı %20 olduğunda FAS'ı -38°C 'e yükselmektedir. Benzer şekilde %1 NAA katkılı %5 MeOH içeren karışım -52°C de faz ayrışması gösterdiği halde %20 metanollü aynı karışım -45.5°C FAS değerine sahiptir. Aynı oranda MeOH içeren alkol-benzin karışımlarında, karışımın katkı maddesi miktarının artması FAS'ını hızla düşürmektedir. Örneğin, %15 MeOH içeren karışımın FAS'ı -23.5°C 'dir. Bu sıcaklık, %1.0 IAA katkısı ile -50°C 'ye, %1.5 IAA katkısı ile ise -77°C 'nin altına düşmektedir. %3 IPA, %3 NPA, %2 IBA, %2 NBA, %1.5 IAA, %1.5 NAA eklenmesi ile %5-20 oranlarında MeOH içeren %0.1 sulu benzinlerde -50°C 'nin altında, çok düşük FAS değerleri elde edilmiştir. Katkı maddesi olarak kullanılan alkollerin molekül yapıları ve karbon sayılarının değişiminin etkisi %1 katkı maddesi miktarı için karşılaştırıldığında şu sonuçlara ulaşılmaktadır.

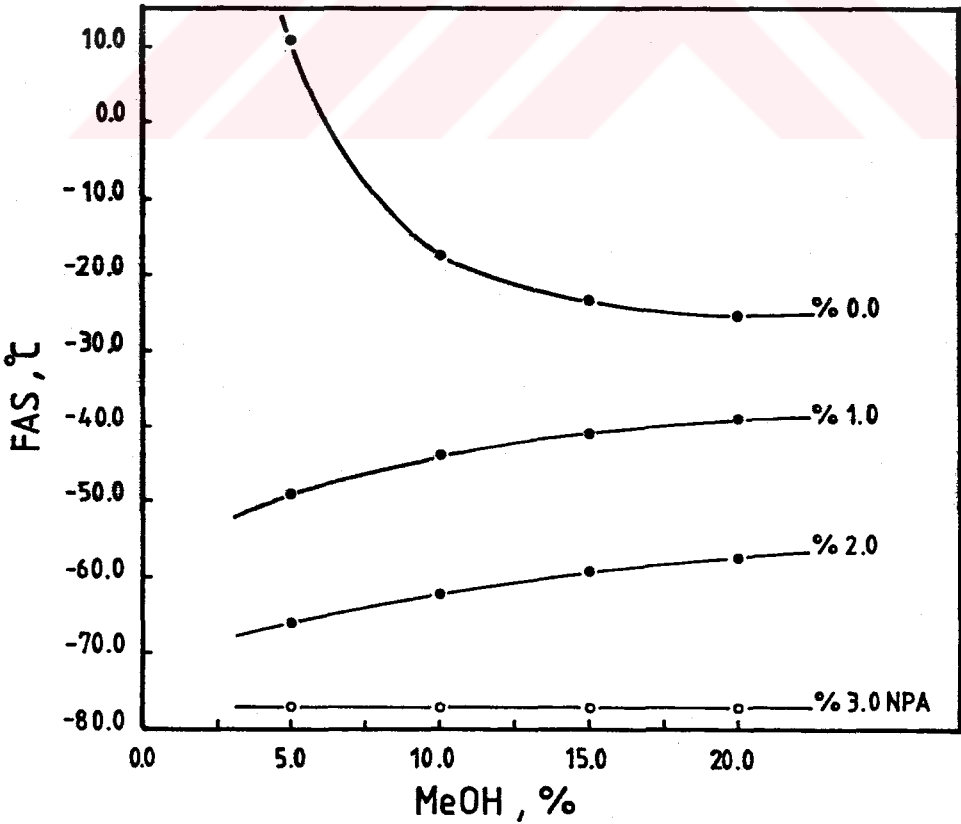
- 1- IPA, NPA, IBA, NBA, IAA ve NAA katkısı ile -38°C üzerinde daima stabil olan, homojen metanollü benzinler elde edilmiştir.
- 2- n-alkollerin karbon sayılarındaki artış, karışımların FAS'na belirgin olarak etki etmemektedir. Ancak i-alkollerde aynı miktarda MeOH içeren karışımlarda, katkı alkolün karbon sayısı artışı ile daha düşük FAS değerleri elde edilmiştir ve i-alkollerin karbon sayısı arttıkça FAS'ları hızla düşmektedir.
- 3- Aynı oranda MeOH içeren karışımlarda i-alkollerle aynı karbon sayılı n-alkollerden daha düşük FAS'ları elde edilmiştir.
- 4- IAA'ün metanollü benzinlerde kullanılan en etkin katkı maddesi olduğu saptanmıştır.

3.1.2. Etanollü Benzinlerde Faz Ayırımı Sıcaklıklarının Saptanması

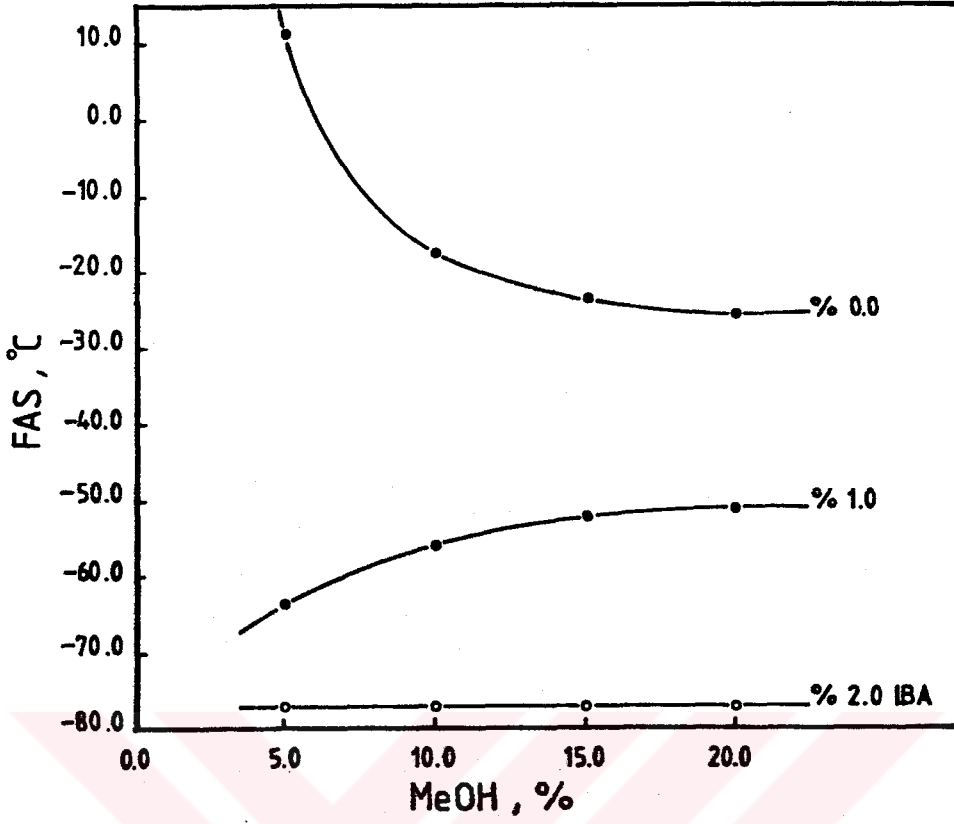
Etanollü benzinlerde, IPA, NPA, IBA, NBA, IAA ve NAA katkı maddesi olarak kullanılarak karışımların FAS değerleri saptanmıştır. EtOH-benzin karışımlarının su içerikleri karışımdaki alkol miktarına bağlı olarak değişmektedir. %5 EtOH içeren karışım %0.3, %10 EtOH içeren karışım %0.5, %15 EtOH içeren karışım %0.7, %20 etanollü benzin ise %0.9 oranında su içermektedir. B₃ benzini ile hazırlanan etanollü benzinlerde katkı maddelerinin FAS'ını etkiler Şekil 3-1-7, Şekil 3-1-8, Şekil 3-1-9, Şekil 3-1-10, Şekil 3-1-11 ve Şekil 3-1-13 de gösterilmiştir. Bu grafiklerden görüldüğü gibi karışımlarda %4



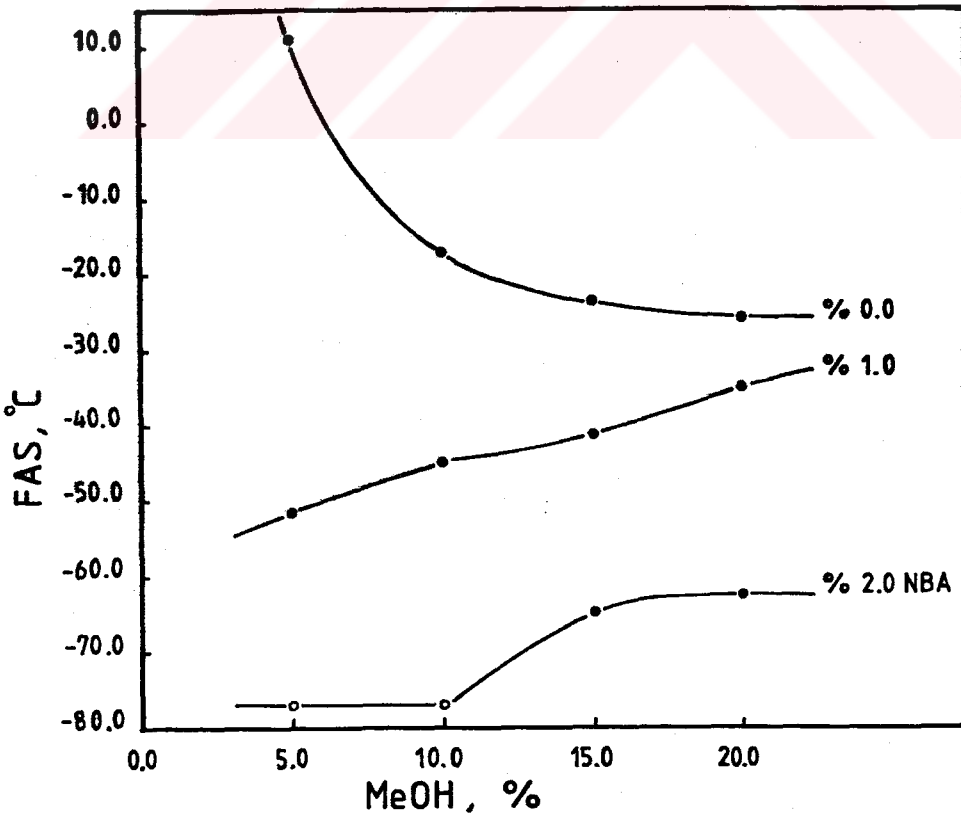
Şekil 3-1-1 Değişen IPA Miktarları İçin Metanollü Benzinlerin FAS'ının MeOH Miktarına Bağımlılığı.



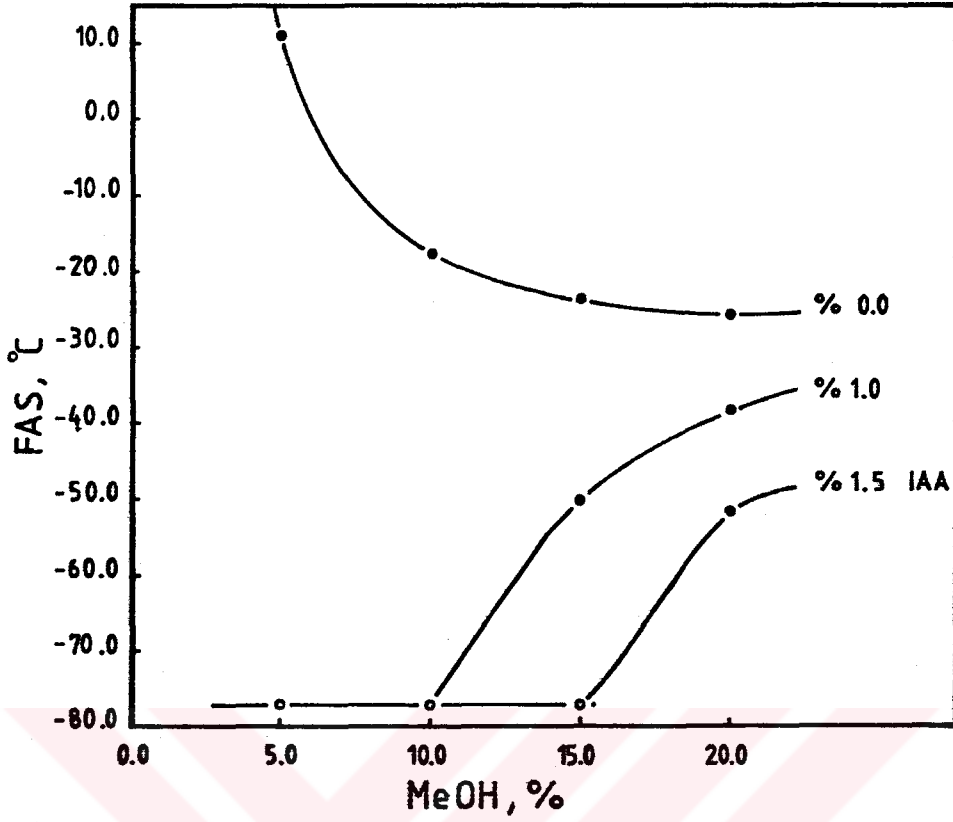
Şekil 3-1-2 Değişen NPA Miktarları İçin Metanollü Benzinlerin FAS'ının MeOH Miktarına Bağımlılığı.



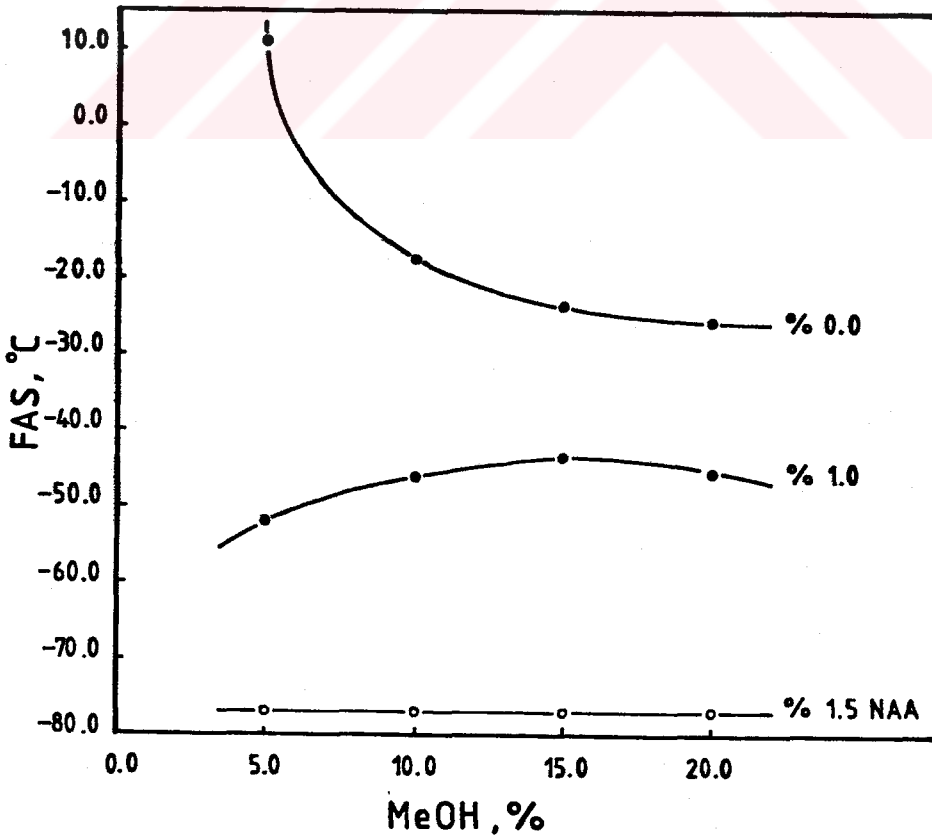
Şekil 3-1-3 Değişen IBA Miktarları İçin Metanollü Benzinlerin FAS'ının MeOH Miktarına Bağımlılığı.



Şekil 3-1-4 Değişen NBA Miktarları İçin Metanollü Benzinlerin FAS'ının MeOH Miktarına Bağımlılığı.



Şekil 3-1-5 Değişen IAA Miktarları İçin Metanollü Benzinlerin FAS'ının MeOH Miktarına Bağımlılığı.



Şekil 3-1-6 Değişen NAA Miktarları İçin Metanollü Benzinlerin FAS'ının MeOH Miktarına Bağımlılığı.

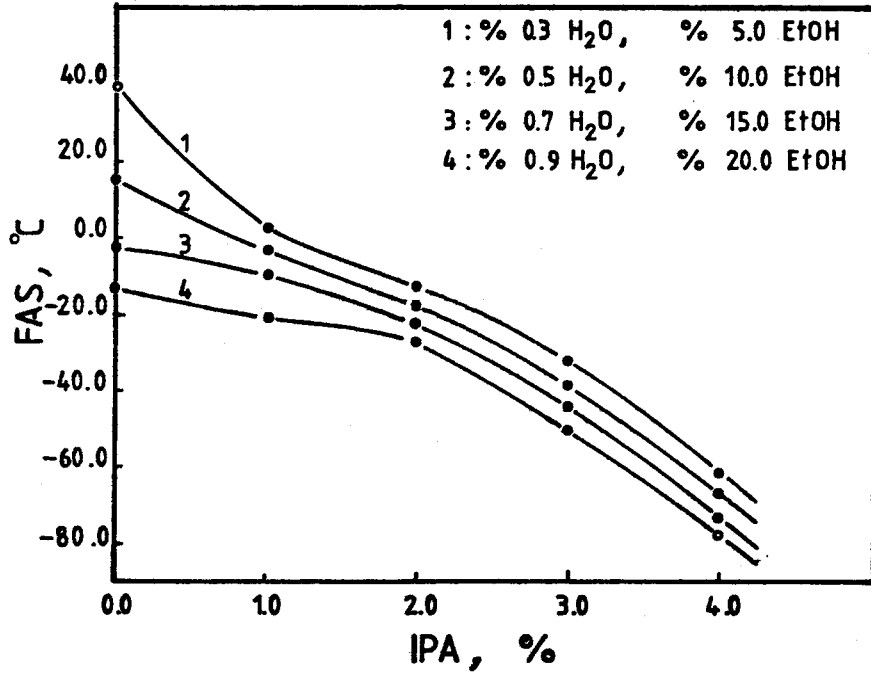
oranında katkı maddesi eklenmesi ile -57.5°C 'den daha düşük FAS'ları elde edilmiştir. Grafikler IPA, NPA, IBA, NBA, IAA ve NAA'ün benzer etki gösterdiklerini ortaya koymaktadır. Katkı alkol içermeyen etanollü benzinlerde, karışımdaki EtOH ve buna bağlı olarak su miktarının artması ile FAS'ı düşmektedir. Benzer şekilde katkı maddeli etanollü benzinlerde de karışımdaki EtOH ve su miktarının artışı ile FAS değerleri düşmektedir. Ayrıca belirli oranlarda EtOH ve su içeren etanollü benzinlerde karışıma katılan katkı maddesi artışı ile de FAS'ları grafiklerden görüldüğü gibi %1 ve %3 oranında katkı alkol içeren etanollü benzinlerde FAS'na etkisi karşılaştırıldığında aynı katkı maddesi miktarları için NPA'ün daha etkili olduğu ancak, dört ve beş karbonlu katkı alkollerde alkolün normal ya da iso alkol olmasının farklı bir etki yapmadığı ve incelenen tüm katkı alkoller içinde IBA ve NBA'ün en etkin katkı alkoller olduğu gözlenmiştir.

3.1.3. Füzel Yağı Katkılı Alkollü Benzinlerde Faz Ayırımı Sıcaklıklarının Saptanması

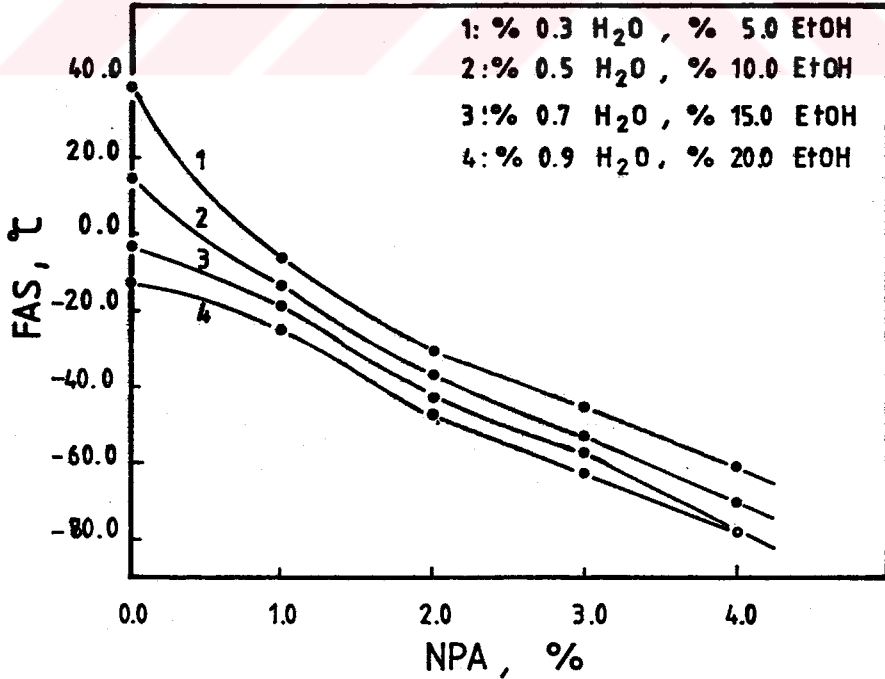
Bu bölümde metanollü ve etanollü benzinlerde faz oluşumunu önlemek amacı ile katkı maddesi olarak melas füzel yağının (FY) kullanılabilirliği incelenmiştir.

3.1.3.1. Füzel Yağının Tanımlanması

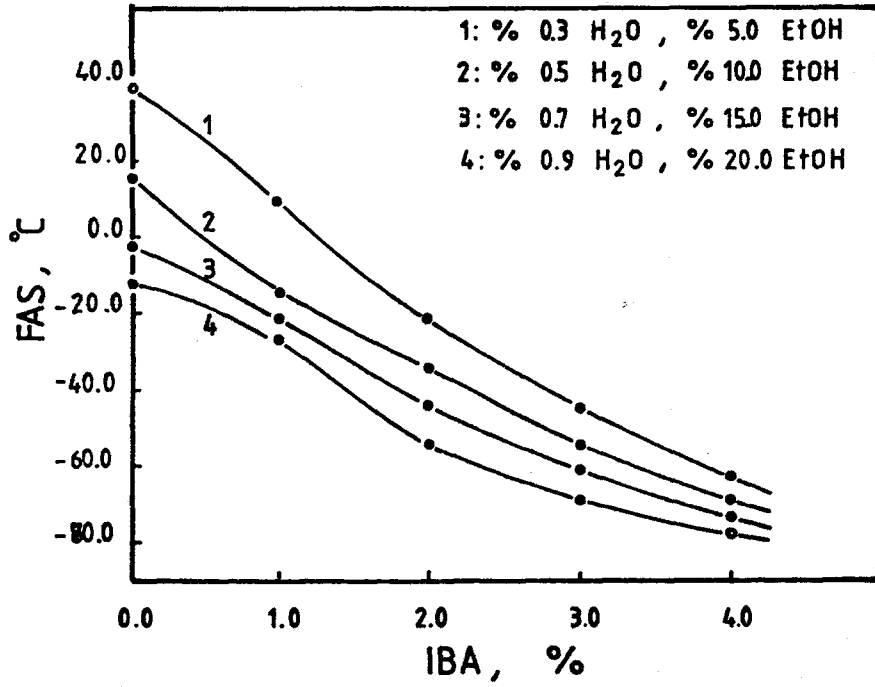
Çalışmada kullanılan melas füzel yağının yoğunluğu $d_{20^{\circ}\text{C}}=853.6 \text{ kg/m}^3$ içerdiği su miktarı ise %8.6'dır. Görüldüğü gibi FY oldukça yüksek oranda su içermektedir. Bu nedenle FY'nun alkollü benzinlerde katkı maddesi olarak kullanımında karışımların su içeriği artacaktır. Karışımların su içeriğinin artması ise yakıt özelliği için olumsuzluk yaratır. Ayrıca daha önce açıklandığı gibi yakıtın su içeriği FAS değişiminde önemli bir etkindir ve alkollü karışımların su içeriğinin artmasının FAS değerlerini yükselteceği de bilinmektedir (bkz. Bölüm 2.3). Bu nedenle su miktarı daha düşük bir füzel yağı fraksiyonu elde etmek amacı ile FY, Normschliff Gerätebau firması yapımı otomatik kontrollü fraksiyonlu distilasyon cihazında



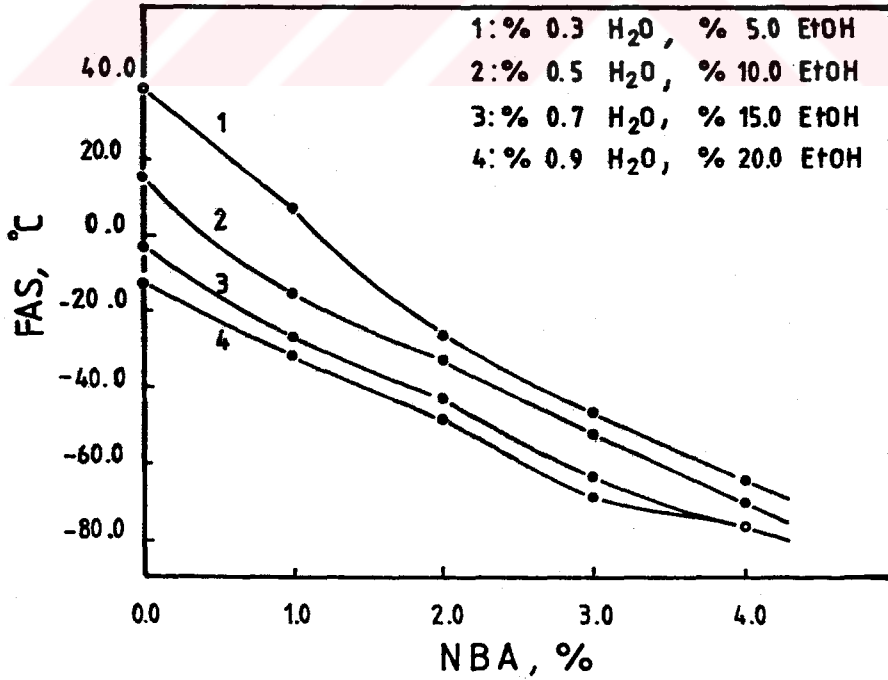
Şekil 3-1-7 Değişen EtOH ve Su Miktarları İçin Etanollü Benzinlerin FAS'ının IPA Miktarına Bağımlılığı.



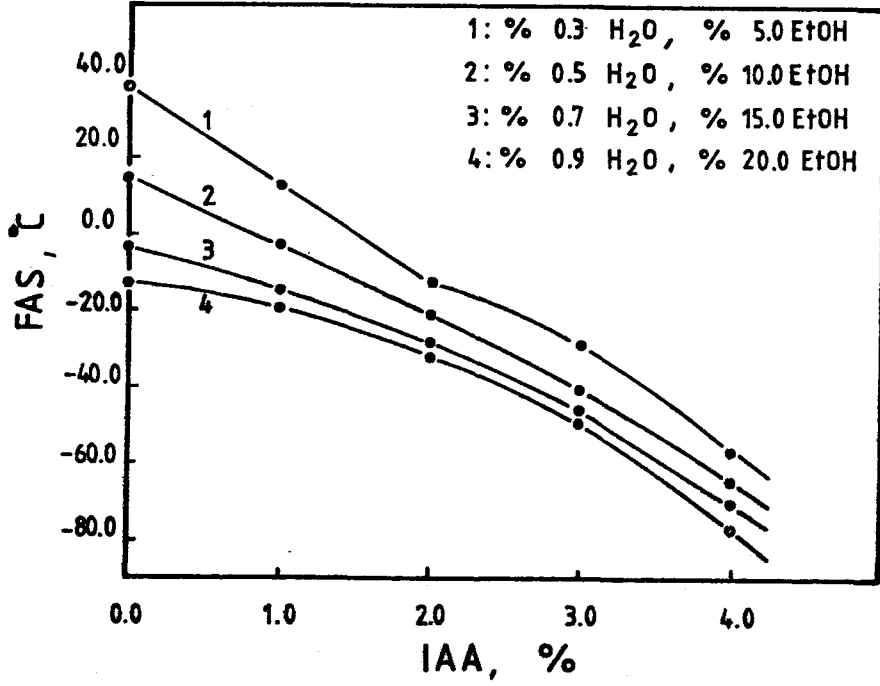
Şekil 3-1-8 Değişen EtOH ve Su Miktarları İçin Etanollü Benzinlerin FAS'ının NPA Miktarına Bağımlılığı.



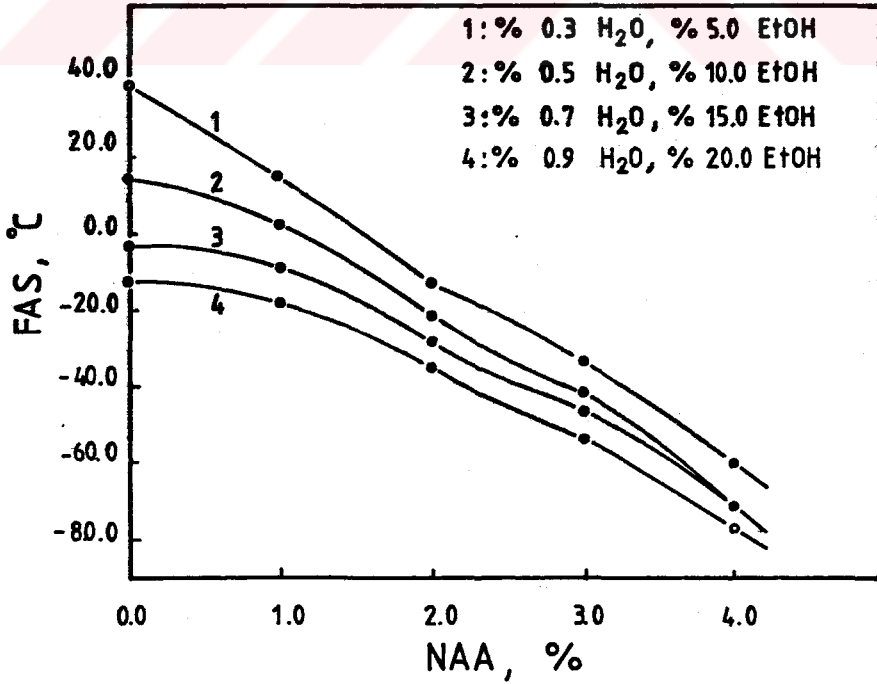
Şekil 3-1-9 Değişen EtOH ve Su Miktarları İçin Etanollü Benzinlerin FAS'nın IBA Miktarına Bağımlılığı.



Şekil 3-1-10 Değişen EtOH ve Su Miktarları İçin Etanollü Benzinlerin FAS'nın NBA Miktarına Bağımlılığı.

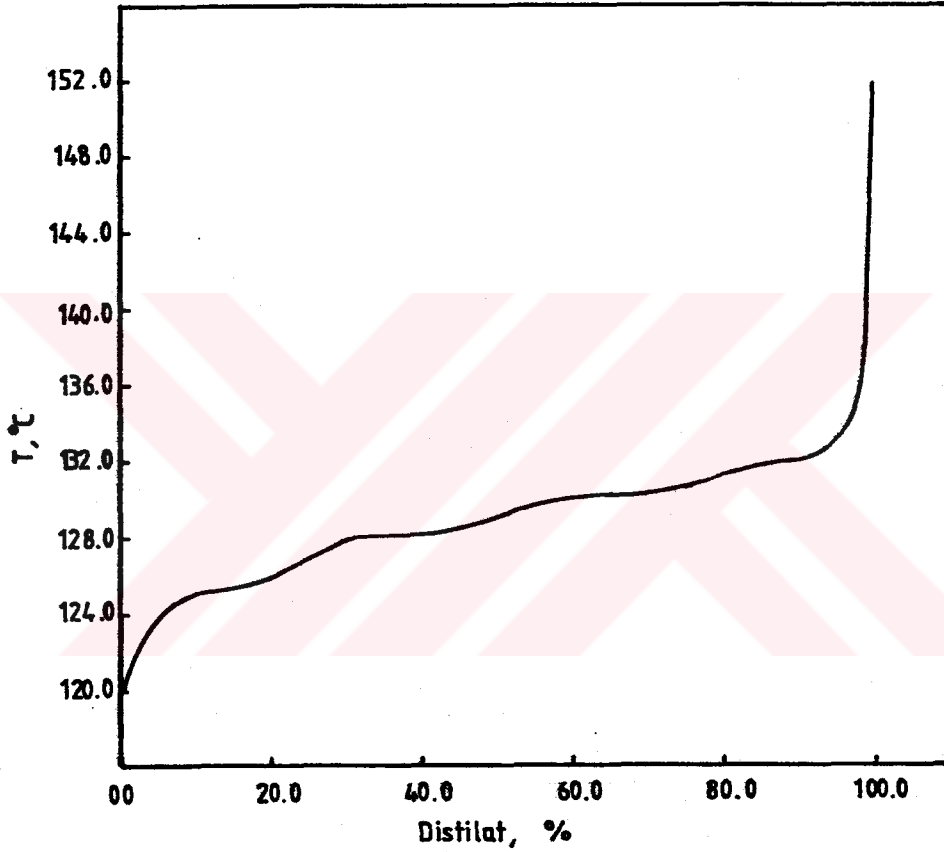


Şekil 3-1-11 Değişen EtOH ve Su Miktarları İçin Etanollü Benzinlerin FAS'ının IAA Miktarına Bağımlılığı.



Şekil 3-1-12 Değişen EtOH ve Su Miktarları İçin Etanollü Benzinlerin FAS'ının NAA Miktarına Bağımlılığı.

distillenmiş ve 120°C üstünde kaynayan, %0.1 sulu alkol karışımı elde edilmiştir. Bu karışım FY'nın %75'ini oluşturmaktadır ve bu çalışmada füzel yağı fraksiyonu FYF olarak adlandırılmıştır. Bir sıvı yakıtı karakterize eden en önemli özelliklerden biri distilasyon eğrisidir. FYF'nu tanımlamak için de ASTM D 86 standart yöntemi kullanılarak distilasyon eğrisi saptanmıştır [97]. Şekil 3-1-13'de FYF'nun ASTM distilasyon eğrisi görülmektedir.



Şekil 3-1-13 FYF ASTM Distilasyon Eğrisi

FY ve FYF'nun kimyasal bileşimi ise gaz-sıvı kromatografi tekniği ile saptanmıştır. Kromatografi çalışma koşulları aşağıda açıklanmıştır:

Cihaz	: United Technologies Packard model 437 A
Kolon	: 2 m paslanmaz çelik, 1/8" 55 Propak Q, 80-100 mesh
Kolon sıcaklığı	: 180°C, izotermal
Dedektör	: Alev iyonizasyon dedektörü

Dedektör sıcaklığı : 200°C
 Enjeksiyon sıcaklığı : 200°C
 Hava : $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$
 Hidrojen : $4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$

FY ve FYF'nun gaz-sıvı kromatografisi analiz sonuçları Tablo 3-1-2 de görülmektedir.

Tablo 3-1-2 FY ve FYF Bileşimi, (ağır. %si).

Bileşim	%8.6 sulu FY	%0.1 sulu FYF
EtOH	1.45	0.06
IPA	0.15	-
NPA	1.76	0.41
NBA	21.94	13.03
Fermantasyon alkolleri	74.70	86.50

3.1.3.2. Füzel Yağı Fraksiyonunun Katkı Maddesi Olarak Kullanımı

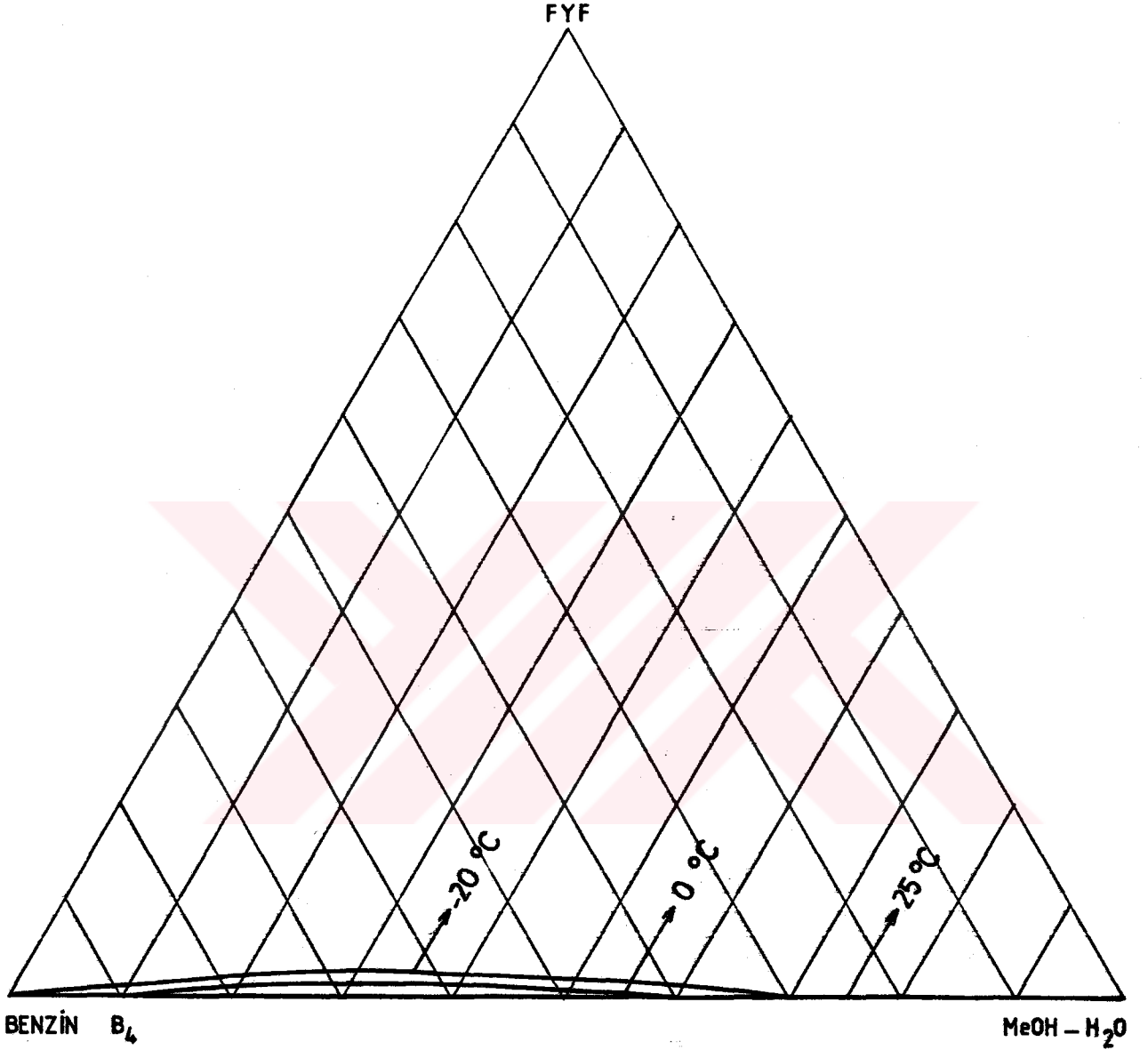
Benzin-alkol-su üçlü sisteminde, katkı maddesi olarak FYF kullanımı sistemin, sürekli homogen, tek faz olarak dengede bulunduğu bölgenin sınırları, bileşenlerin miktarına ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir (bkz. Bölüm 2.3). Bu çalışmada ise alkol-su-benzin katkı maddesi karışımı için alkol ve su tek bileşen olarak alınmış ve karışım üçlü bir sistem olarak değerlendirilerek karışımın denge diyagramı oluşturulmuştur. B₄ benzini ile hazırlanan etanollü ve metanollü benzinlerin -20, 0 ve 25°C de elde edilen denge diyagramları Şekil 3-1-14 ve Şekil 3-1-15 de görülmektedir. Bu diyagramlar alkol-benzin-su diyagramları ile karşılaştırılırsa; alkol-benzin-su sisteminde ikili faz bölgesinin çok geniş olduğu, FYF katkısı durumunda ise ikili faz bölgesinin çok dar bir alana indiği görülmektedir. İncelenen sistemde, üç ayrı sıcaklıkta da homogen bir karışım için %0.1 ile %3.5 arasında değişen oranlarda FYF katkısı gerektiği gözlenmiştir. Şekil 3-1-14 de görüldüğü gibi MeOH'li karışımda 25°C de katkı maddesi kullanılmadan daima homogen bir karışım elde edilmiştir. 0°C de ise ~ %10-%60 metanollü karışımlarda tek bir faz elde edebilmek için FYF kullanımı gereklidir. Bu değerler dışında sistem 0°C de

homogendir. -20°C de ise homogen bir karışım elde edebilmek için %70 MeOH miktarına kadar FYF kullanımı gereklidir. Bu sıcaklıkta homogen karışım için en fazla FYF katkısı gerektiren karışım %29.1 MeOH içeren alkollü benzin olup bu durumda gerekli FYF miktarı %3.1 dir. Etanollü benzinlerde ise %20 den daha fazla alkol içeren karışımlar 25°C de homogen ve tek faz halindedir. Bu değerin altında, örneğin, %10 EtOH miktarı için %0.1 FYF katkısı ile homogen tek bir faz elde edilebilmektedir. 0°C de ise %30 dan daha fazla EtOH içeren karışımlarda FYF kullanılmadan daima tek bir faz elde edilmiştir. %40 ve daha fazla EtOH içeren karışımlar ise -20°C de homogendir. Bu sıcaklıkta homogen bir karışım için en fazla FYF katkısı gereksinimi olan karışım %9.6 EtOH içeren alkollü benzin olup gerekli FYF miktarı %3.5'dur.

FYF katkılı alkollü benzinler, kimyasal bileşimleri farklı olan benzin örnekleri arasından aromatik bileşiklerce zengin B_3 ve doymuş bileşiklerce zengin B_4 benzini seçilerek hazırlanmıştır. Şekil 3-1-16 ve Şekil 3-1-18 B_3 benzini ile Şekil 3-1-17 ve Şekil 3-1-19 ise B_4 benzini ile hazırlanan alkollü benzinlerde FYF'nun faz ayrışmasına etkisini göstermektedir. Bu grafikler incelendiğinde heriki benzinle hazırlanan alkollü benzin karışımlarında da FYF katkısı ile çok düşük FAS'ları elde edildiği görülmektedir.

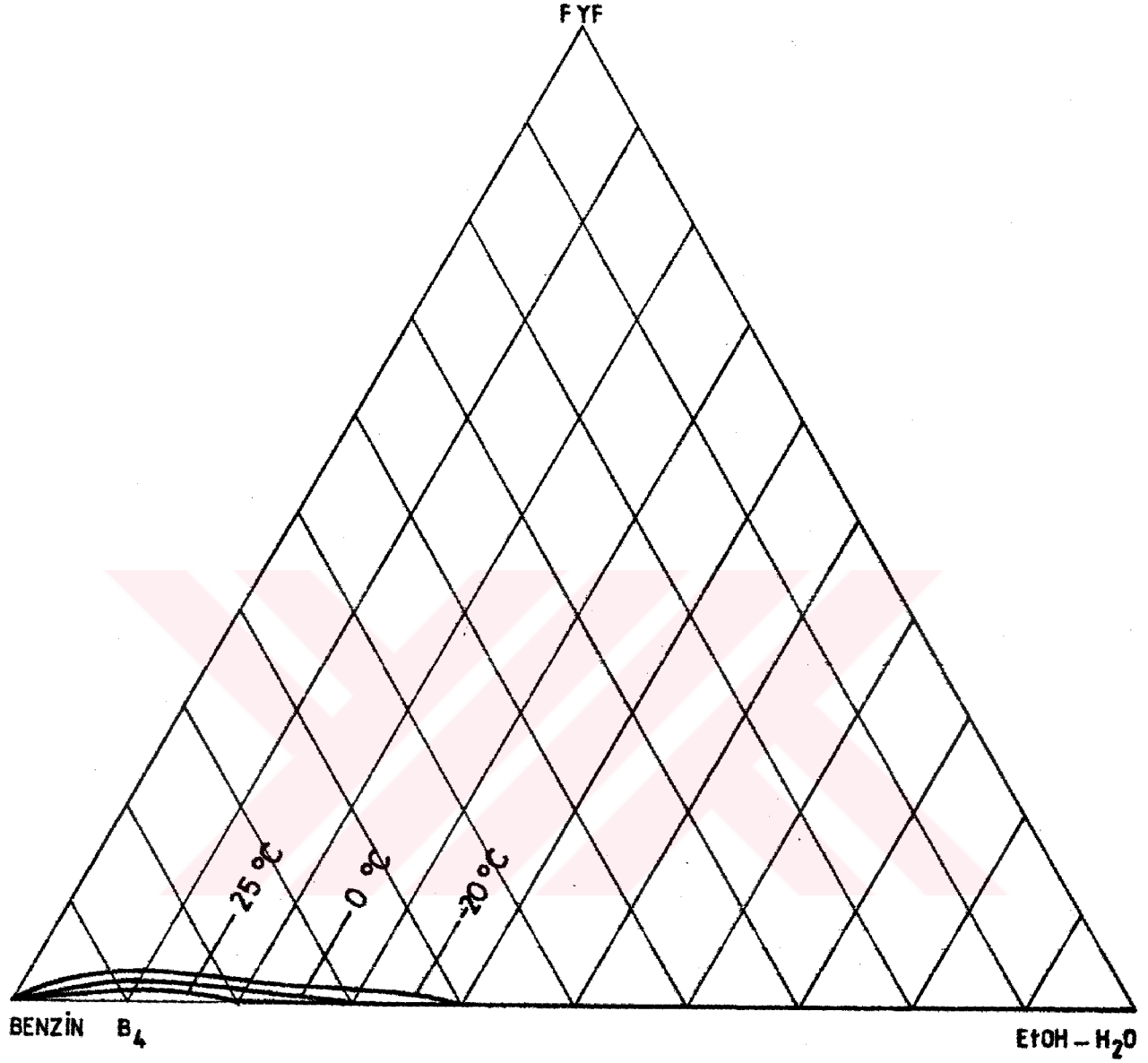
Şekil 3-1-16'dan görüldüğü gibi B_3 ile hazırlanan FYF katkılı ve katkısız metanollü benzinlerde FAS değerlerinin karışımın metanol miktarına bağlı olarak değişimi farklıdır. Karışımın MeOH miktarındaki artış, FYF kullanılmadığı durumlarda FAS değerlerinin düşmesine, FYF katkılı alkollü benzinlerde ise FAS'larının yükselmesine neden olmaktadır. Bu durum B_4 benzini ile hazırlanan karışımlarda farklıdır ve FYF katkılı ve katkısız metanollü benzinlerin alkol miktarının artışı FAS'larını arttırmaktadır. Şekil 3-1-16 ve Şekil 3-1-17 birlikte değerlendirildiğinde, aynı oranda MeOH içeren alkollü benzinlerde karışıma eklenen FYF artışına bağlı olarak FAS'ları düşmektedir. Belirli oranlarda FYF içeren metanollü benzinlerde ise MeOH miktarının artışı FAS'larında yükselmeye neden olmaktadır.

B_3 ve B_4 ile hazırlanan etanollü benzinler için elde edilen sonuçlar ise Şekil 3-1-18 ve Şekil 3-1-19'dan da görüldüğü gibi genel



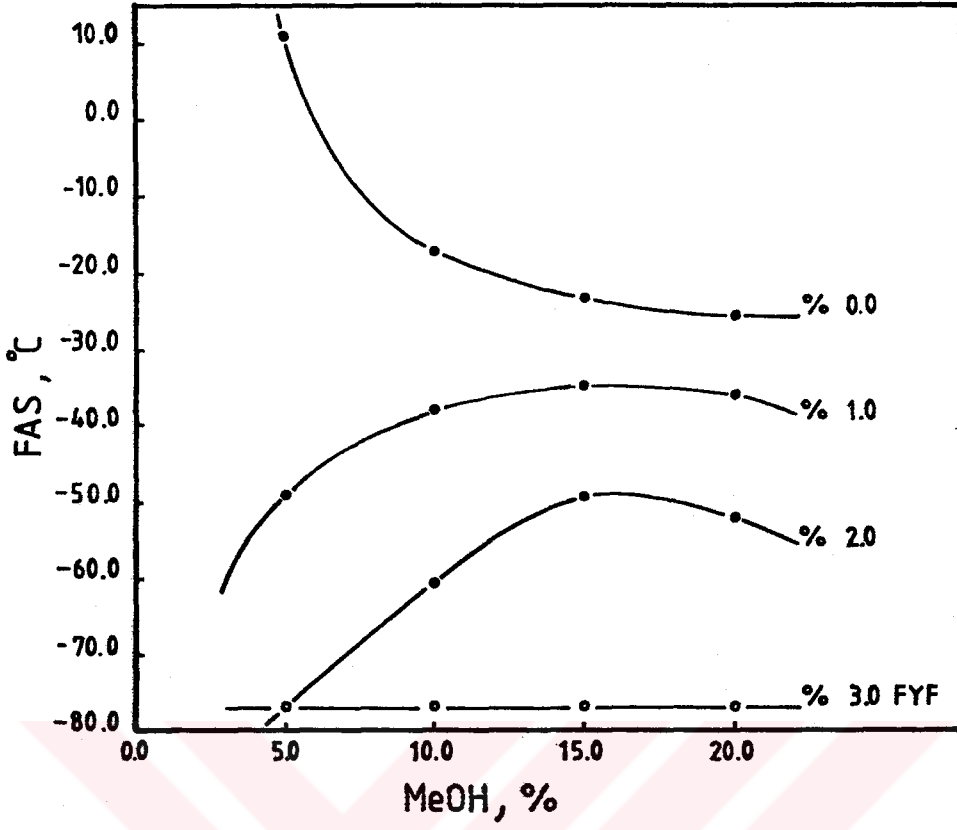
Şekil 3-1-14 B₄ Benzini-(MeOH-H₂O)-FYF Denge Diyagramı.

bir uyum göstermektedir. B₃ ile hazırlanmış karışımlarda %6 FYF, B₄ ile hazırlanmış etanollü benzinlerde ise %9 FYF katılması ile gözlenen FAS değerleri -77°C'nin altındadır. Her iki karışım için de belirli FYF miktarlarında karışımın EtOH miktarının artışı, belli EtOH miktarlarında ise karışımın FYF miktarı artışı ile FAS değerlerinde düşme gözlenmiştir.

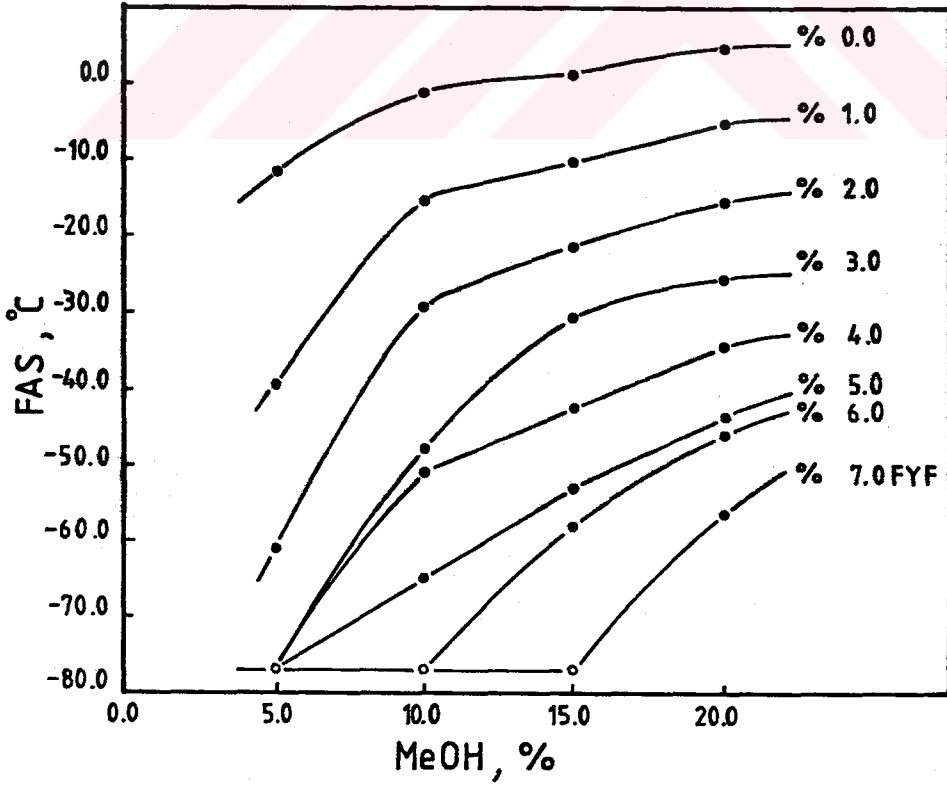


Şekil 3-1-15 B₄ Benzini-(EtOH-H₂O)-FYF Denge Diyagramı.

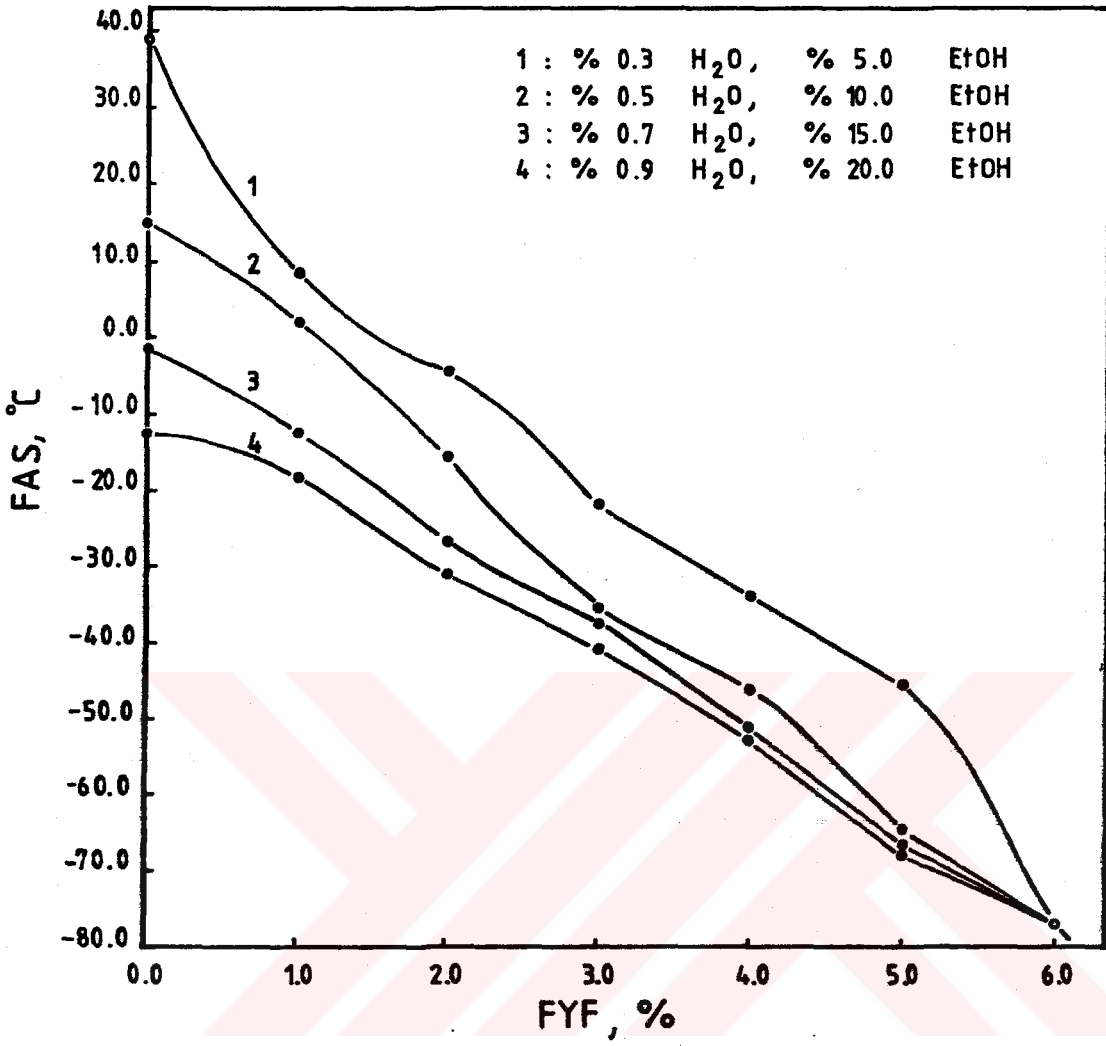
Şekil 3-1-16, Şekil 3-1-17, Şekil 3-1-18 ve Şekil 3-1-19 birlikte değerlendirildiğinde, alkollü benzinlerin hazırlanmasında kullanılan benzinin bileşiminin FAS'ları değişimi üzerinde etken olduğu görülmektedir. Bu etki Bölüm 3.1.4 de daha geniş olarak incelenerek sonuçlar verilmiştir.



Şekil 3-1-16 B₃ Benzini ile Hazırlanan Metanollü Benzinlerde FAS Değerlerinin Değişimi.



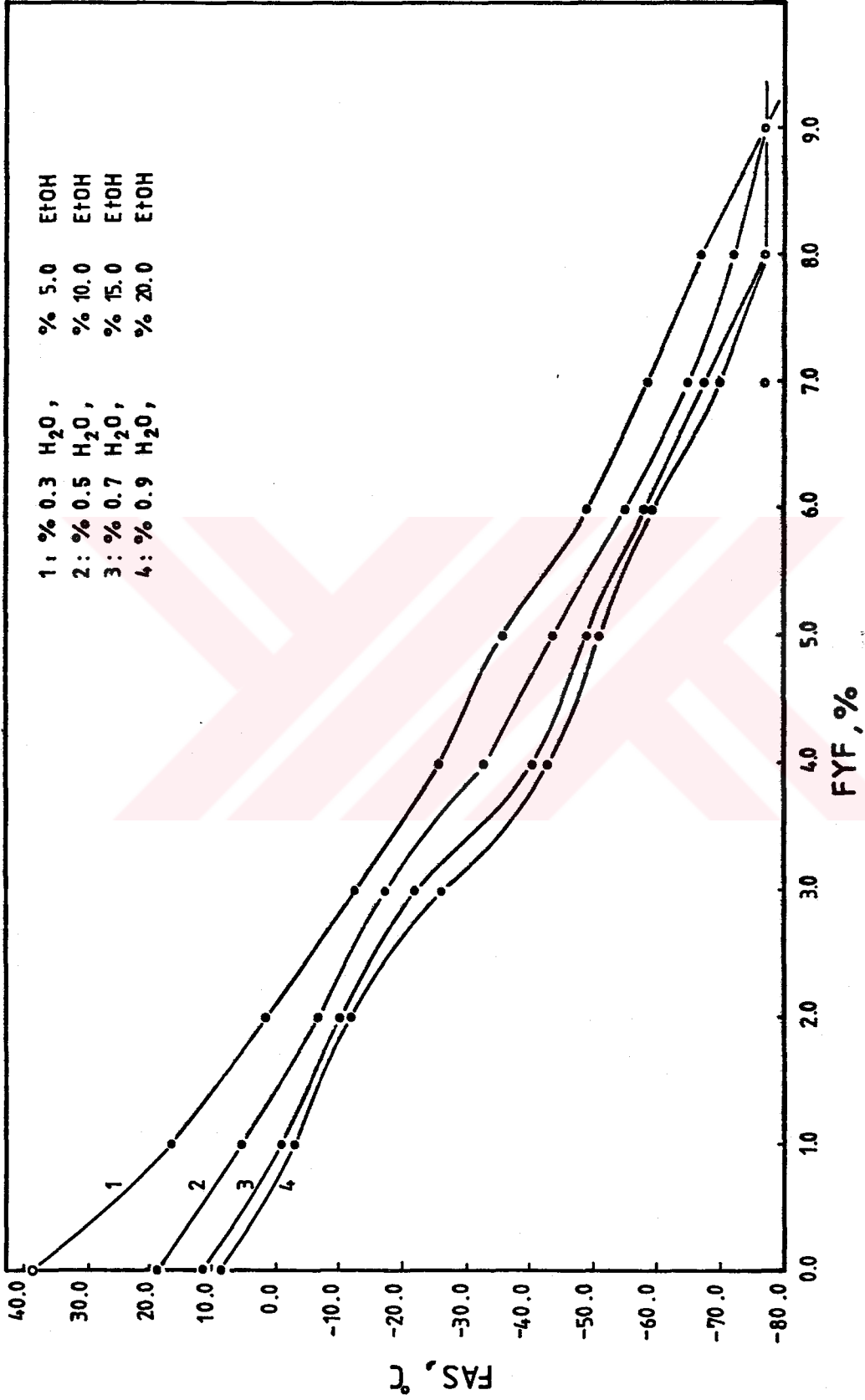
Şekil 3-1-17 B₄ Benzini ile Hazırlanan Metanollü Benzinlerde FAS Değerlerinin Değişimi.



Şekil 3-1-18 B₃ Benzini ile Hazırlanan Etanollü Benzinlerde FAS Değerlerinin Değişimi.

3.1.4. Benzin Bileşiminin Alkollü Benzinlerin Faz Ayırımı Sıcaklığı Üzerine Etkisi

Alkol-benzin karışımlarında, benzinin kimyasal yapısına göre FAS değerlerindeki değişimi gözlemek amacı ile dört farklı bileşimdeki benzin ile hazırlanan FYF katkılı alkollü benzinlerde faz ayrışma durumu incelenmiştir. B₃ benzini ile hazırlanan metanollü benzinlerde %3, etanollü benzinlerde, %6, B₄ benzini ile hazırlanan metanollü benzinlerde %7, etanollü benzinlerde ise %9 FYF katkısı ile -77°C den düşük FAS'ları elde edildiği için (bkz. Bölüm 3.1.3.2), etanollü



Şekil 3-1-19 B₄ Benzini ile Hazırlanan Etanolü Benzinde FAS Değerlerinin Değişimi.

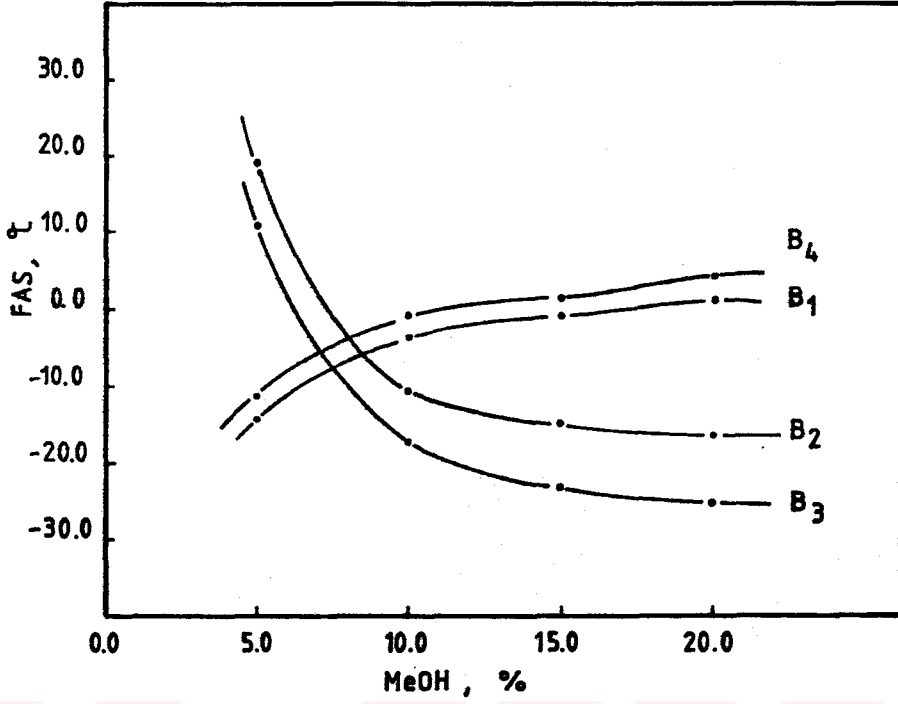
ve metanollü benzinleri aynı katkı maddesi miktarlarında karşılaştırma olanağı gözönüne alınarak, B₁ ve B₂ benzinleri ile de %1, %3 FYF içeren alkollü benzinler hazırlanmış ve karışımların FAS'ları saptanmıştır.

Şekil 3-1-20 metanollü, Şekil 3-1-21 ise etanollü benzinlerde, dört ayrı bileşimli benzinle hazırlanmış alkollü benzinlerin FAS değerlerini göstermektedir. %1 ve %3 FYF katkılı alkollü benzinlerin, benzin bileşimine bağlı olarak FAS değerlerinin değişimi ise Şekil 3-1-22 ve Şekil 3-1-23'de görülmektedir.

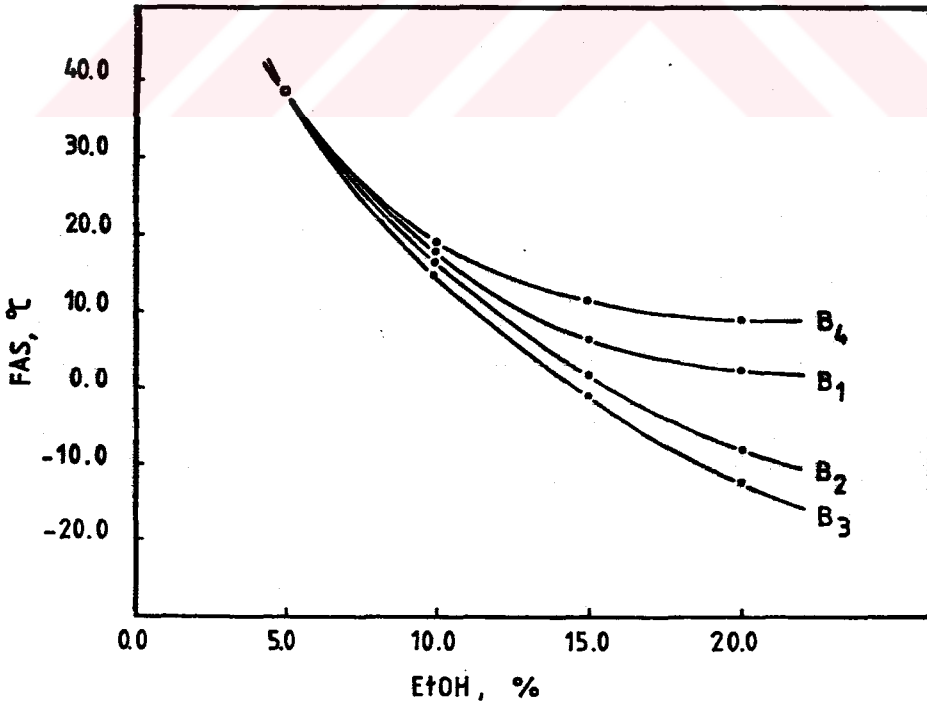
Deneylerde kullanılan benzinlerin aromatik bileşik içerikleri B₃, B₂, B₁, B₄ sırasına göre azalmaktadır (bkz. Tablo 3-1). Bu örneklerden; B₃ benzini (%59.94 aromatik bileşikler) ile B₂ benzini (%48.80 aromatik bileşikler) yüksek aromatik içerikli iken, B₁ benzini ile B₄ benzini doymuş bileşiklerce zengin benzinlerdir.

Daha önce de açıklandığı gibi metanollü ve etanollü benzinlerin FAS değerlerinin değişimi farklılık göstermektedir. Şekil 3-1-20 den görüldüğü gibi katkı maddesiz MeOH-benzin karışımlarında, farklı benzinlerle hazırlanmış metanollü benzinlerde FAS değerlerinin değişimi farklıdır. Aynı miktarda su içeren bu karışımlardan B₁ benzini ile hazırlanan karışımlar B₄'lülere ile B₂ 'li karışımlar ise B₃ benzinleriyle hazırlanan metanollü karışımlar ile benzer bir davranış göstermektedirler. Aromatikçe zengin B₃ ve B₂ benzinleri-MeOH karışımlarında, karışımın alkol miktarının artması ile FAS'ları düşmektedir. Buna karşın daha düşük aromatik içerikli B₁ ve B₄ ile hazırlanan metanollü benzinlerde karışımın alkol miktarının artması FAS'larını yükseltmektedir. Bu durum metanolün parafinik, naftenik ve aromatik bileşiklerdeki çözünürlüğünün farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Metanolün aromatik bileşiklerde çözünürlüğü daha yüksektir. Bu nedenle B₁ ve B₄ gibi doymuş bileşiklerce zengin benzin ile hazırlanmış karışımlarda, metanol miktarı artışı ile çözünürlük azalır, dolayısı ile FAS'ları da yükselir. Bu deney sonuçları literatür bilgileri ile de uyum göstermektedir [27, 53].

Etanollü benzinlerde ise, dört ayrı bileşimli benzin ile hazırlanmış karışımların FAS değerlerinin değişimi genel bir uyum

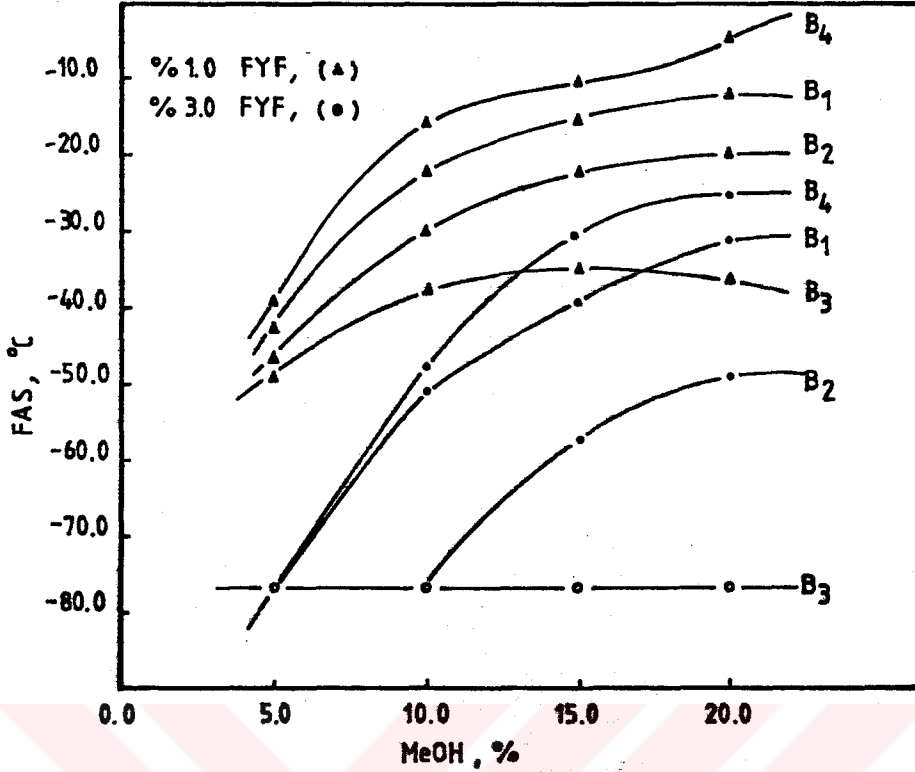


Şekil 3-1-20 %0.1 Sulu Metanollü Benzinlerde Benzin Bileşimine Bağlı Olarak FAS Değerlerinin Değişimi.



Şekil 3-21 Etanollü Benzinlerde Benzin Bileşimine Bağlı Olarak FAS Değerlerinin Değişimi.

%5.0 EtOH içeren Benzin, %0.3 Su,
 %10.0 EtOH içeren Benzin, %0.5 Su,
 %15.0 EtOH içeren Benzin, %0.7 Su,
 %20.0 EtOH içeren Benzin, %0.9 Su içermektedir.

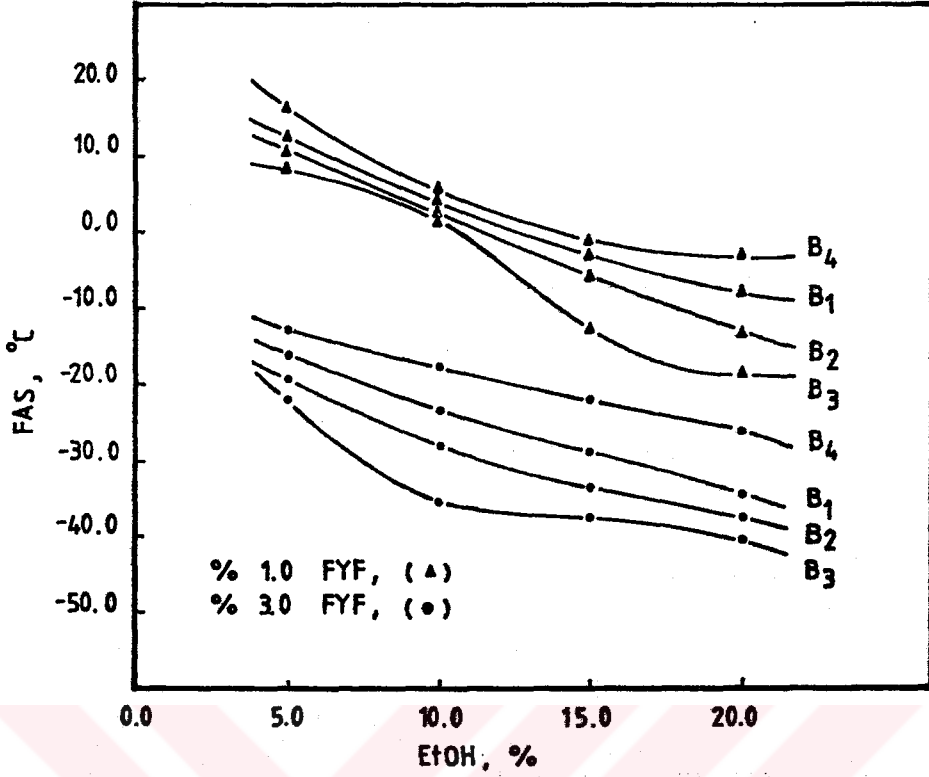


Şekil 3-1-22 %0.1 Sulu, %1.0 ve %3.0 FYF Katkılı Metanollü Benzinlerde, Benzin Bileşimine Bağlı Olarak FAS Değerlerinin Değişimi.

içindedir. Şekil 3-1-21'den de görüldüğü gibi karışımların artan EtOH, dolayısı ile artan su miktarı ile beraber FAS'ları düşmektedir. Literatürde de etanolün hidrokarbonlarda benzer çözünürlük gösterdiği belirtilmektedir [27, 53].

Şekil 3-1-20 ve Şekil 3-1-21 birlikte değerlendirildiğinde, alkollü benzinlerde, karışımı oluşturan benzinin bileşiminin FAS değerleri üzerinde etkili olduğu ve karışımda kullanılan benzinin aromatik karakterinin artması ile FAS'larında düşme elde edildiği sonucuna varılmıştır.

FYF katkılı etanollü ve metanollü benzinlerin FAS değerine benzin bileşiminin etkisi de katkısız alkol-benzin karışımlarında gözlenen sonuçlar ile uyum göstermektedir. Şekil 3-1-22 ve Şekil 3-1-23 den görüldüğü gibi benzinin aromatik bileşik miktarının artması FAS değerlerinde düşmeye neden olmaktadır. %0.1 sulu, %1 veya %3 FYF içeren metanollü benzinlerde karışımın alkol miktarının artması ile



Şekil 3-1-23 %1.0 ve %3.0 FYF Katkılı Etanollü Benzinlerde Benzin Bileşime Bağlı Olarak FAS Değerlerinin Değişimi.

%5.0 Etanollü benzin, %0.3

%10.0 Etanollü benzin, %0.5

%15.0 Etanollü benzin, %0.7

%20.0 Etanollü benzin, %0.9 su içermektedir.

FAS'ları yükselmektedir. Bu durum B₂ ve B₃ ile hazırlanan, FYF içermeyen, metanollü benzinlerin FAS eğrilerinden farklıdır. MeOH-benzin karışımları, FYF katıldığı zaman karışımın artan MeOH miktarına bağlı olarak artan FAS'larına sahiptir. Metanollü benzinlerde, aynı oranda su, MeOH ve FYF içeren alkollü benzinlerde, benzinin aromatik bileşik miktarının artması FAS'larını düşürmektedir. FYF katkılı etanollü benzinler, katkı maddesiz etanollü benzinler ile benzer FAS eğrileri vermektedir. %1 veya %3 FYF katkılı karışımlarda kullanılan benzinin aromatik içeriğinin artması ile FAS değerlerinde düşme gözlemlendiği gibi, aynı benzinle hazırlanmış, aynı oranda FYF içeren karışımlarda da karışımın alkol ve buna bağlı olarak su miktarının artması FAS değerlerinde düşmeye neden olmaktadır. Bu deneylere göre, FYF katkılı alkollü benzinlerde, karışımı oluşturan benzinin bileşiminin faz ayrışmasında etkili olduğu ve benzinin aromatik bileşik miktarının artması

ile karışımların FAS değerlerinin düştüğü saptanmıştır.

3.1.5. Alkollü Benzinlerde Su Kaldırabilirlik

Alkollü benzinlerde, karışımın içerdiği su miktarı alkol-benzin-su'dan oluşan üçlü sistemin stabilitesi açısından çok önemlidir. Daha önce açıklandığı gibi üçlü karışımın FAS değeri karışımın su miktarına göre yükselir veya düşer. Benzin-alkol karışımlarının su kaldırabilirlik değerleri alkollü benzinin 20°C de hafif bulanıklık (haze) oluşumuna kadar alabileceği suyun miktarı olarak tanımlanmaktadır [79, 101]. Bu çalışmada alkollü benzinlerde su kaldırabilirlik değerleri (SKD) ve bu değerlerin farklı koşullardaki değişimleri incelenmiştir.

3.1.5.1. Füzel Yağı Fraksiyonu Katkılı Alkollü Benzinlerde Su Kaldırabilirlik Değerlerinin Saptanması

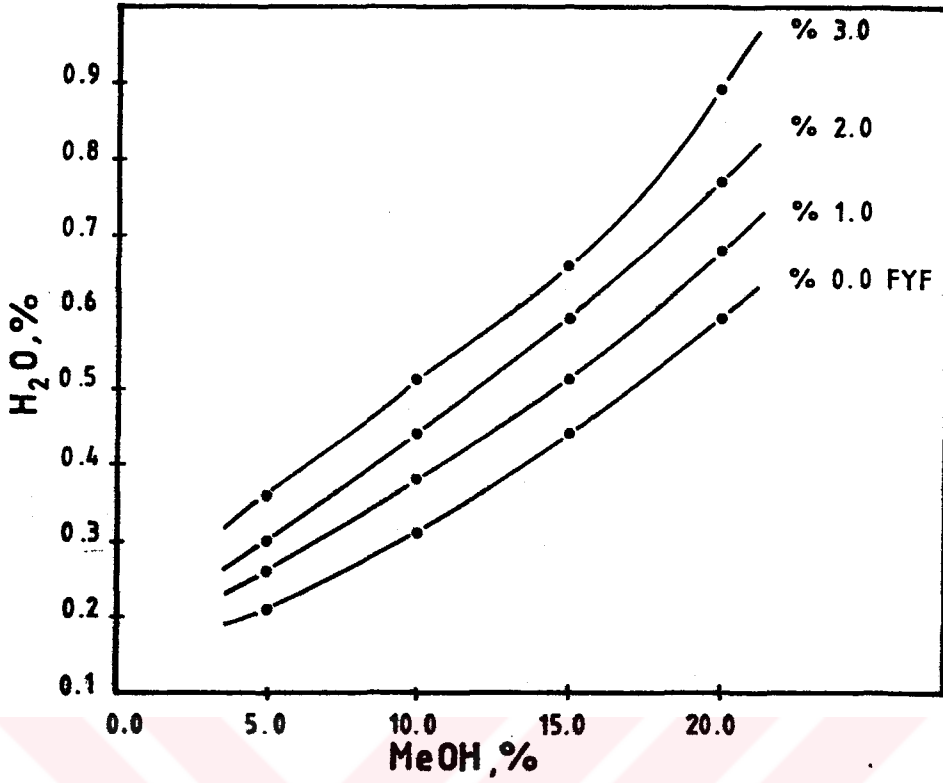
B₃ ve B₄ benzinleri ile oluşturulan, FYF katkılı, etanollü ve metanollü benzinlerin SKD nin değişimi, Şekil 3-1-24, Şekil 3-1-25, Şekil 3-1-26 ve Şekil 3-1-27 de gösterilmiştir. Her iki benzinle hazırlanan, etanollü ve metanollü benzinlerin SKD nin değişimi grafiklerinden de görüldüğü gibi benzerlik göstermektedir. FYF katkılı alkollü benzinlerde, belli FYF miktarları için karışımın alkol miktarının artışı ve belli alkol miktarlarında karışımın FYF miktarının artışı, SKD nin yükselmesine neden olmaktadır. Aromatik bileşiklerce zengin B₃ benzini ile hazırlanmış metanollü ve etanollü FYF katkılı ve katkısız karışımların SKD'leri B₄ benzini ile hazırlanan karışımlarından daha yüksektir. Ayrıca her iki benzinle hazırlanan etanollü benzinler, metanollü benzinlerden daha yüksek SKD'lerine sahiptir.

3.1.5.2. Alkollü Benzinlerde Su Kaldırabilirliğin Ortam Sıcaklığına Bağımlılığı

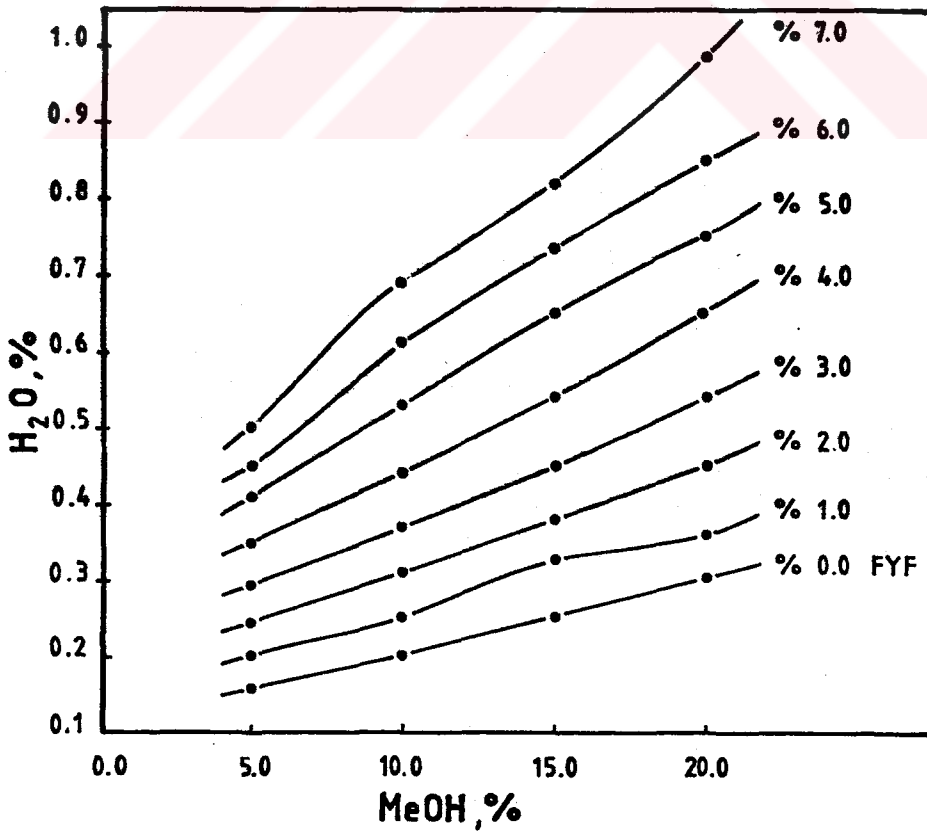
Alkol-benzin karışımlarında, SKD'nin ortam sıcaklığına bağlı olarak değişimi, -20°C ile 40°C arasında incelenmiştir. B_4 benzinini ile hazırlanan FYF katkılı alkollü benzinlerde katkı maddesi miktarlarının etkisini görmek ve etanollü ve metanollü benzinler arasında karşılaştırma yapabilmek amacı ile %1.0 ve %3.0 FYF katkılı karışımlar seçilerek, değişik ortam sıcaklıklarında SKD'leri saptanmıştır. Şekil 3-1-28 ve Şekil 3-1-30 %1 FYF katkılı, Şekil 3-1-29 ve Şekil 3-1-31 ise %3 FYF katkılı alkollü benzinlerin SKD'nin ortam sıcaklığına bağlı olarak değişimini göstermektedir. Metanollü ve etanollü benzinlerde sıcaklık artışı ile, alkollü benzinler benzer davranış göstermekte ve sıcaklık artışı ile karışımların SKD'leri artmaktadır.

3.1.5.3. Benzin Bileşiminin Alkollü Benzinlerin Su Kaldırabilirliği Üzerine Etkisi

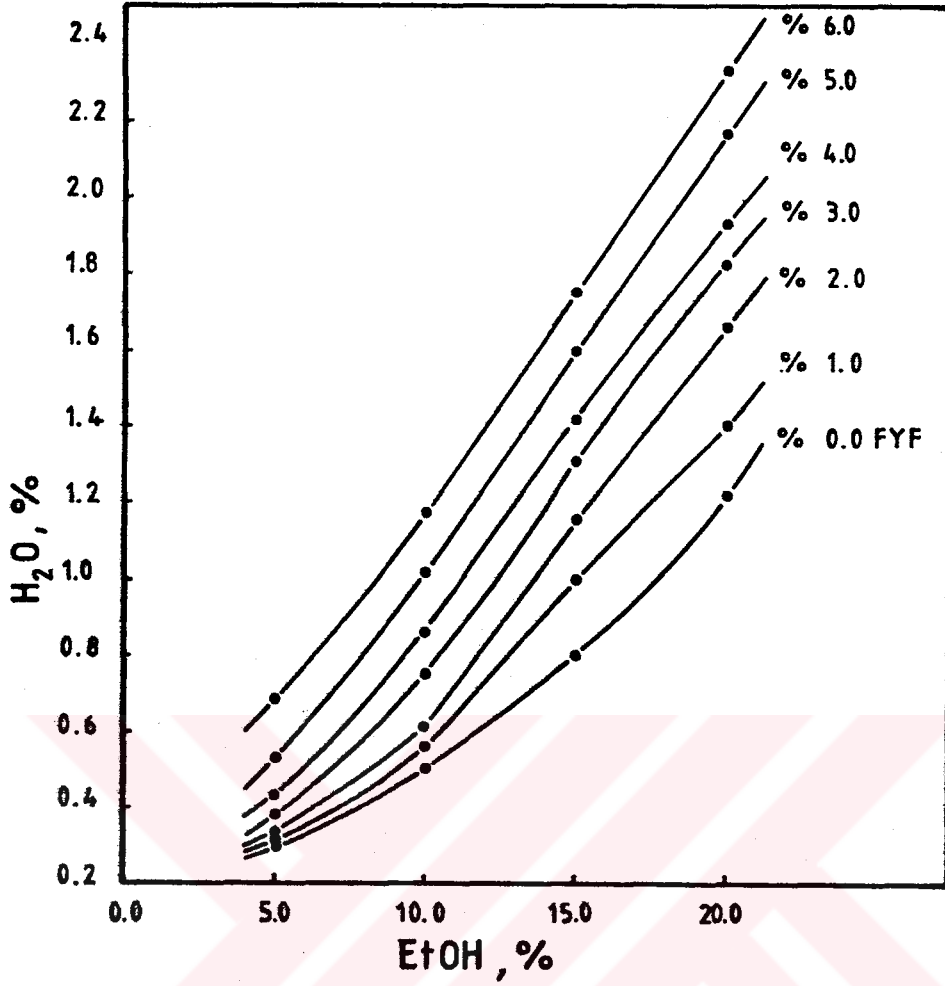
Alkollü benzinlerde, karışımı oluşturan benzinin bileşimine göre SKD'nin değişimi, B_1 , B_2 , B_3 ve B_4 benzinleri ile hazırlanan FYF katkılı alkollü benzinlerde incelenmiştir. FYF miktarı, Bölüm 3.1.4'de de belirtildiği gibi aynı katkı maddesi için karşılaştırma yapabilmek ve düşük ve yüksek katkı maddesi miktarlarının da etkisini görmek amacı ile %1 ve %3 olarak seçilmiştir. Tablo 3-1-3 de tüm benzin örnekleri ile hazırlanan katkı maddesiz ve FYF katkılı metanollü benzinlerde, Tablo 3-1-4 ise etanollü benzinlerde SKD'nin değişimi görülmektedir. Her iki tabloda da benzin örnekleri artan aromatik bileşik miktarına göre soldan sağa doğru yeralmakta olup benzinlerin aromatik içerikleri %27.02, %39.02, %48.80 ve %59.94 olarak değişmektedir (bkz. Tablo 3-1). Bu tablolar metanollü ve etanollü benzinlerde kullanılan benzinin aromatik bileşik içeriğinin artması ile SKD'lerinin arttığını göstermektedir. Ayrıca aynı oranda alkol ve FYF içeren, aynı benzinle hazırlanmış alkollü benzinlerde,



Şekil 3-1-24 B_3 Benzini ile Hazırlanan Metanollü Benzinlerde SKD'nin Değişimi.



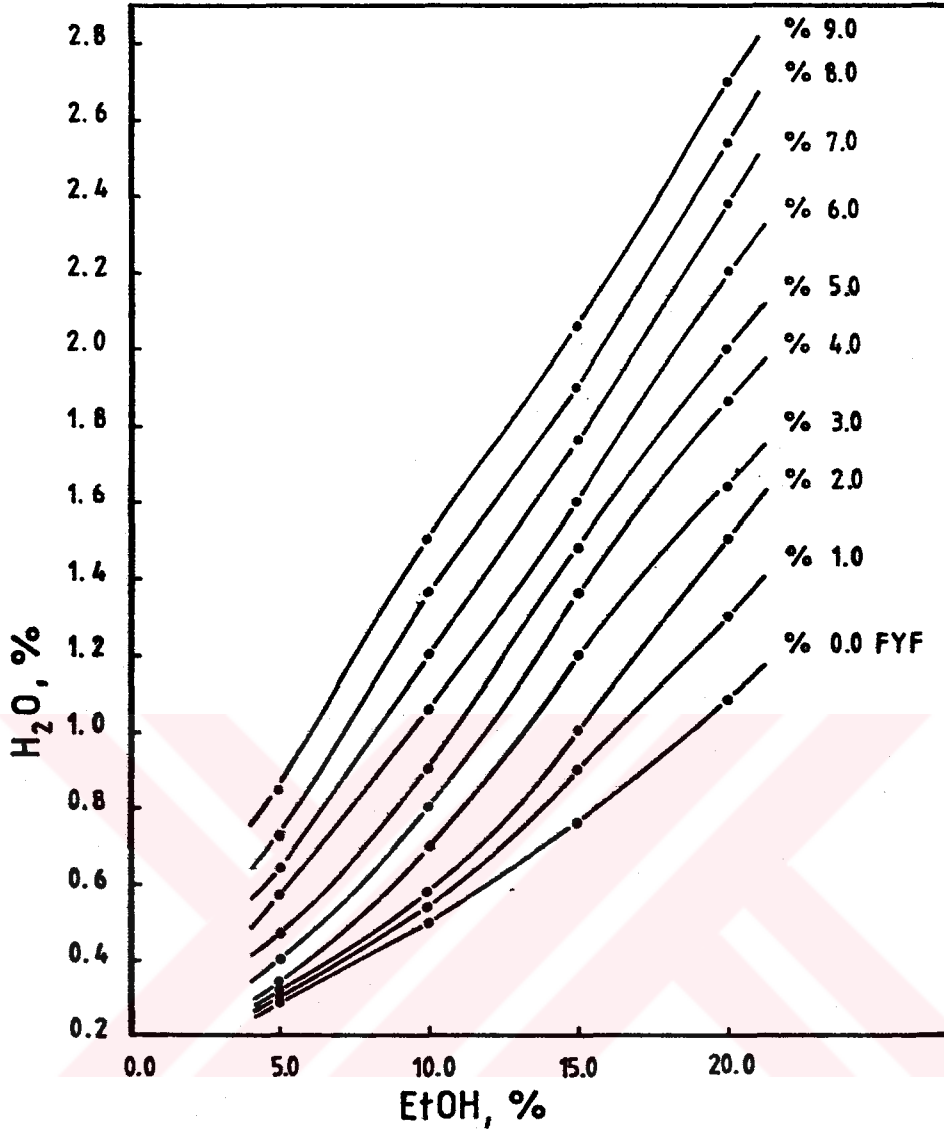
Şekil 3-1-25 B_4 Benzini ile Hazırlanan Metanollü Benzinlerde SKD'nin Değişimi.



Şekil 3-1-26 B₃ Benzini ile Hazırlanan Etanollü Benzinlerde SKD'nin Değişimi.

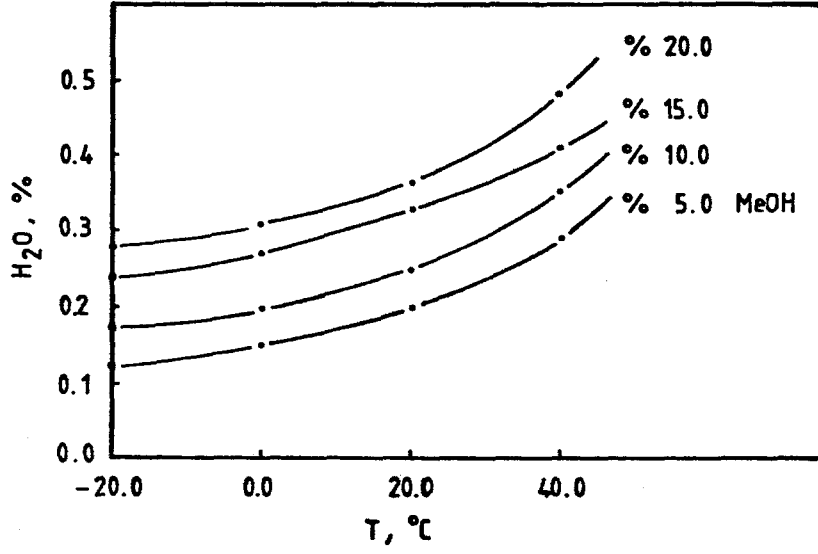
Tablo 3-1-3 Metanollü Benzinlerde Benzin Bileşimine Bağlı Olarak SKD'nin Değişimi.

FYF %	MeOH %	SKD, 20°C, (%)			
		Benzin B ₄	Benzin B ₁	Benzin B ₂	Benzin B ₃
0.0	5.0	0.16	0.17	0.19	0.21
	10.0	0.20	0.22	0.29	0.31
	15.0	0.25	0.26	0.36	0.44
	20.0	0.30	0.38	0.47	0.59
1.0	5.0	0.21	0.23	0.25	0.26
	10.0	0.25	0.29	0.32	0.38
	15.0	0.33	0.36	0.41	0.51
	20.0	0.36	0.47	0.58	0.68
3.0	5.0	0.30	0.32	0.34	0.36
	10.0	0.37	0.41	0.48	0.51
	15.0	0.45	0.51	0.57	0.66
	20.0	0.54	0.65	0.76	0.89

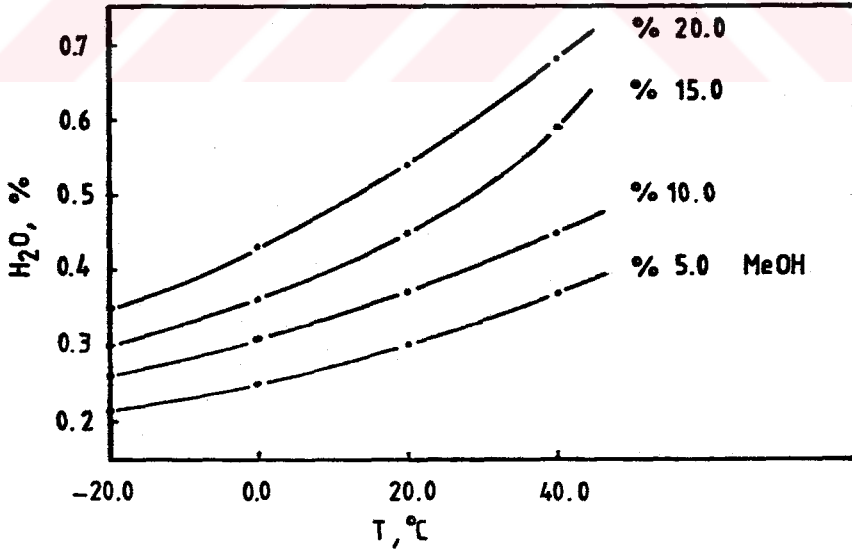


Şekil 3-1-27 B₄ Benzini İle Hazırlanan Etanollü Benzinlerde SKD'nin Değişimi.

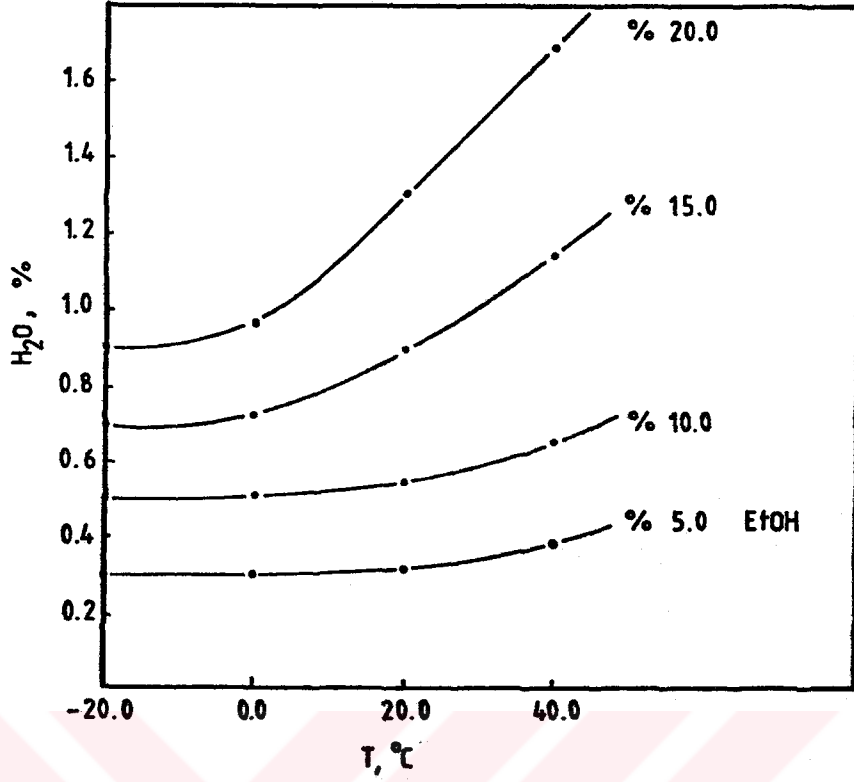
etanollü benzinlerin, metanollü benzinlerden daha yüksek SKD'ne sahip oldukları görülmektedir. Aynı sonuç katkı maddesi içermeyen al-kollü benzinler için de geçerlidir.



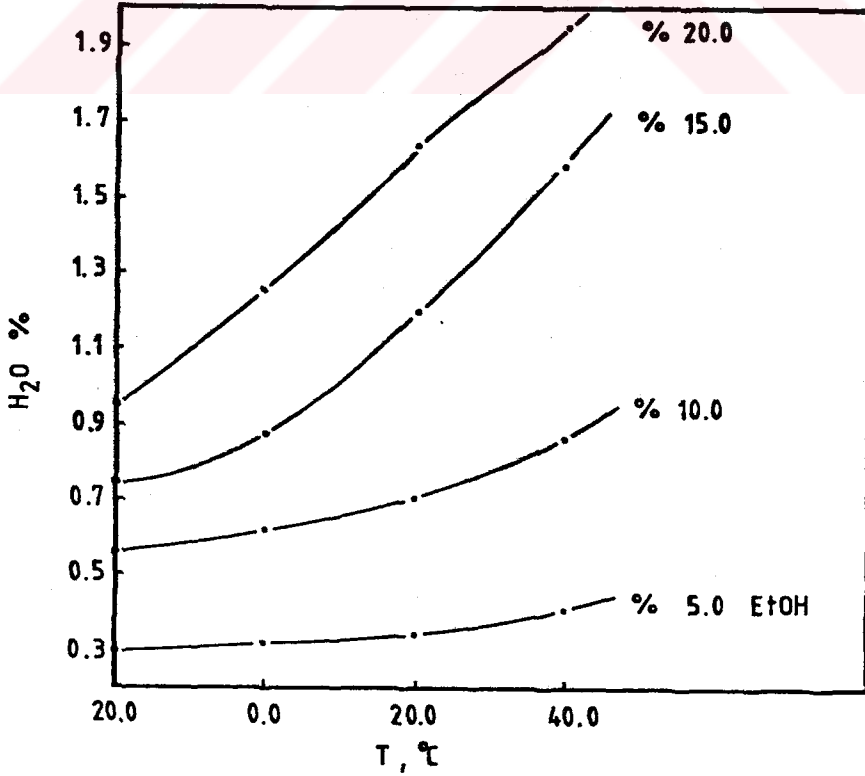
Şekil 3-1-28 %1.0 FYF Katkılı Metanollü Benzinlerde SKD'nin Ortam Sıcaklığına Bağlı Olarak Değişimi.



Şekil 3-1-29 %3.0 FYF Katkılı Metanollü Benzinlerde SKD'nin Ortam Sıcaklığına Bağlı Olarak Değişimi.



Şekil 3-1-30 %1.0 FYF Katkılı Etanolü Benzinlerde SKD'nin Ortam Sıcaklığına Bağlı Olarak Değişimi.



Şekil 3-1-31 %3.0 FYF Katkılı Etanolü Benzinlerde SKD'nin Ortam Sıcaklığına Bağlı Olarak Değişimi.

Tablo 3-1-4 Etanollü Benzinlerde Benzin Bileşimine Bağlı Olarak SKD'nin Değişimi.

FYF %	EtOH %	SKD., 20°C, (%)			
		Benzin B ₄	Benzin B ₁	Benzin B ₂	Benzin B ₃
0.0	5.0	0.30	0.30	0.30	0.30
	10.0	0.50	0.50	0.50	0.50
	15.0	0.76	0.77	0.79	0.80
	20.0	1.08	1.12	1.18	1.23
1.0	5.0	0.31	0.31	0.31	0.32
	10.0	0.54	0.54	0.55	0.56
	15.0	0.90	0.92	0.96	1.00
	20.0	1.30	1.34	1.38	1.40
3.0	5.0	0.34	0.35	0.37	0.38
	10.0	0.70	0.72	0.74	0.75
	15.0	1.20	1.23	1.28	1.31
	20.0	1.64	1.71	1.78	1.81

3.1.6. Alkollü Benzinlerde Su İçeriğine Bağlı Olarak Faz Ayırımı Sıcaklıklarının Değişimi

Benzin-alkol karışımlarında, karışımdaki su miktarına bağlı olarak FAS'ları değişmektedir. Bu değişimi gözlemek amacı ile B₄ benzinini ile hazırlanan alkollü benzinlere değişik oranlarda su eklenerek FAS'ları saptanmıştır. Bölüm 3.1.5.1 de elde edilen sonuçlara göre katkı maddesi miktarı karışımların SKD'ni etkilemektedir. Bu nedenle yüksek ve düşük katkı maddesi miktarlarının etkisini görmek amacı ile %1 ve %6 FYF miktarları seçilerek deneyler yürütülmüştür. Tablo 3.1.5 metanollü, Tablo 3.1.6 ise etanollü benzinlerde değişik oranlarda su içeren karışımların FAS değerlerinde gözlenen değişimleri göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre alkollü benzinlerde karışımın su miktarının artması FAS'larında yükselmeye neden olmaktadır. Karışımlarda SKD'nin üstünde su bulunması durumunda ise çok yüksek FAS değerleri elde edilmektedir.

Tablo 3-1-5 B₄ Benzini ile Hazırlanan %1.0 ve %6.0 FYF Katkılı
Metanollü Benzinlerde FAS'ın Karışımın Su Miktarına
Göre Değişimi.

FYF, %	MeOH, %	SKD, 20°C, (%)	H ₂ O, (%)	FAS, (°C)
1.0	5.0	0.21	0.1	-39.3
			0.3	26.0
			0.5	>39.0
			0.7	>39.0
			1.0	>39.0
	10.0	0.25	0.1	-15.5
			0.3	25.0
			0.5	>39.0
			0.7	>39.0
	15.0	0.33	0.1	-10.7
			0.3	8.5
			0.5	39.0
			0.7	39.0
			1.0	39.0
6.0	20.0	0.36	0.1	- 4.5
			0.3	3.2
			0.5	>39.0
			0.7	>39.0
			1.0	>39.0
	5.0	0.45	0.1	<-77.0
			0.3	-60.5
			0.5	22.0
			0.7	>39.0
	10.0	0.61	0.1	<-77.0
			0.3	-58.2
			0.5	-35.0
			0.7	26.0
	15.0	0.74	0.1	-58.0
			0.3	-47.5
			0.5	-28.5
			0.7	1.0
	20.0	0.85	0.1	-46.0
			0.3	-36.0
			0.5	-30.0
			0.7	10.5
			1.0	>39.0

Tablo 3-1-6. B₄ Benzini ile Hazırlanan %1.0 ve %6.0 FYF Katkılı Etanollü Benzinlerde FAS'ın Karışımın Su Miktarına Göre Değişimi.

FYF, %	EtOH, %	SKD, 20°C, (%)	H ₂ O, (%)	FAS, (°C)
1.0	5.0	0.31	0.3	16.5
			0.5	29.0
			0.7	>39.0
			1.0	>39.0
	10.0	0.54	0.5	10.5
			0.7	21.0
			1.0	>39.0
			1.3	>39.0
	15.0	0.90	0.7	18.0
			1.0	31.0
			1.3	>39.0
			1.6	>39.0
	20.0	1.30	0.9	- 3.0
			1.3	21.0
			1.6	>39.0
			2.0	>39.0
6.0	5.0	0.57	0.3	-49.5
			0.5	- 1.0
			0.7	23.0
			1.0	>39.0
	10.0	1.06	0.5	-55.0
			0.7	-27.5
			1.0	1.5
			1.3	28.0
	15.0	1.60	0.7	-58.0
			1.0	-33.5
			1.3	-12.2
			1.6	19.5
	20.0	2.20	0.9	-59.0
			1.3	-40.2
			1.6	-14.5
			2.0	7.2

3.1.7. Faz Ayrışmasında Etanol ve Metanolün Etkisi

Alkol-benzin karışımlarında, alkol bileşeni olarak etanol veya metanol kullanımının FAS değerlerinde yapacağı etkiyi görmek amacı ile bir dizi deney yapılmıştır. Deneylerde aynı benzinle hazırlanmış, aynı miktarda alkol, su ve katkı maddesi içeren alkollü benzinlerin FAS'ları saptanmıştır. Bu bölüme kadar olan tüm deneylerde

bilindiği gibi, metanollü benzinler %0.1 su, etanollü benzinler ise karışımlarda %5-20 oranlarında değişen EtOH miktarına bağlı olarak %0.3, 0.5, 0.7, 0.9 oranlarında su içermektedir. Aynı su miktarına sahip etanollü ve metanollü benzinlerin FAS'larının karşılaştırılabilmesi için MeOH-benzin karışımlarına, su katılarak etanollü benzinler ile eşit oranda su içermeleri sağlanmış ve B₃ benzini ile hazırlanan, IPA, NPA, IBA, NBA, IAA, NAA ve FYF katkılı metanollü benzinlerde de FAS'ları saptanmıştır. Katkı maddesi miktarı olarak metanollü benzinlerde yapılan çalışmalarda saptanabilen en düşük FAS'ın gözlendiği %2 değeri seçilmiştir (bkz. Bölüm 3.1.1, 3.1.2 ve 3.1.3). Elde edilen sonuçlar etanollü benzinlerin FAS değerleri ile karşılaştırılarak Tablo 3-1-7 de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi aynı oranda; su, alkol ve katkı maddesi içeren ve aynı bileşimdeki benzin ile hazırlanan karışımlarda etanollü benzinler, metanollü benzinlerden daha düşük FAS değerlerine sahiptirler.

3.2. Alkollü Benzinlerin Yakıt Özellikleri

Bu bölümde, Bölüm 3.1 de açıklanan faz ayırımı sorunu, FYF'nun katkı maddesi olarak kullanımı ile çözümlenmiş benzin-alkol-su-FYF dörütlü sisteminden oluşan stabil alkollü benzinler arasından;

- 1- Türkiye iklim koşulları ile, alkollü benzinlerin faz ayrışma sıcaklıklarının birlikte değerlendirilmesi [102],
- 2- Metanollü ve etanollü benzinlerde, aynı alkol ve FYF miktarlarında çalışabilme ve FYF miktarına göre karşılaştırma yapabilme olanağı,
- 3- Benzine alkol katılması ile karışımın oktan sayısında artış elde edileceği ve günümüz otolarında kullanılabilecek benzinin oktan sayısı [20, 102] gözönüne alınarak, %1 ve %3 FYF içeren B₄ benzini ile hazırlanmış alkollü benzinlerin yakıt özellikleri belirlenmiştir. İncelenen karışımlar bundan sonraki bölümlerde tanımlama kolaylığı sağlama amacı ile % bileşimleri dikkate alınarak isimlendirilmiş ve etanollü benzinler için XEY, metanollü benzinler için XMY sembolleri kullanılmıştır. Bu isimlendirilmede,

X: Karışımın içerdiği FYF miktarını, (%)

Y: Benzin-alkol karışımındaki alkol miktarını, (%)

göstermektedir. Örneğin; 1E10, %1 FYF katkılı, %10 oranında etanol içeren, 3M15 ise %3 FYF katkılı %15 oranında metanol içeren alkol-benzin karışımlarını göstermektedir.

Alkollü benzinlerin yakıt özelliklerini belirlemek amacı ile, benzinin karakterizasyonu için gerekli olan yoğunluk, Reid buhar basıncı, ASTM distilasyon eğrisi, oktan sayısı belirlenmiş ve korozyon testleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Yakıtların Yoğunlukları

15.6⁰C'de alkollü yakıtların ASTM D 1298'e göre saptanan yoğunlukları, benzin, MeOH, EtOH ve FYF'nin yoğunlukları ile birlikte Tablo 3.2.1'de verilmiştir [97]. Görüldüğü gibi benzine alkol katılması durumunda, artan alkol oranıyla birlikte yoğunluklar da artmaktadır. FYF miktarı artışı da yoğunluklar da artışa neden olmaktadır.

Tablo 3-2-1 Yakıtların Yoğunlukları, 15.6⁰C.

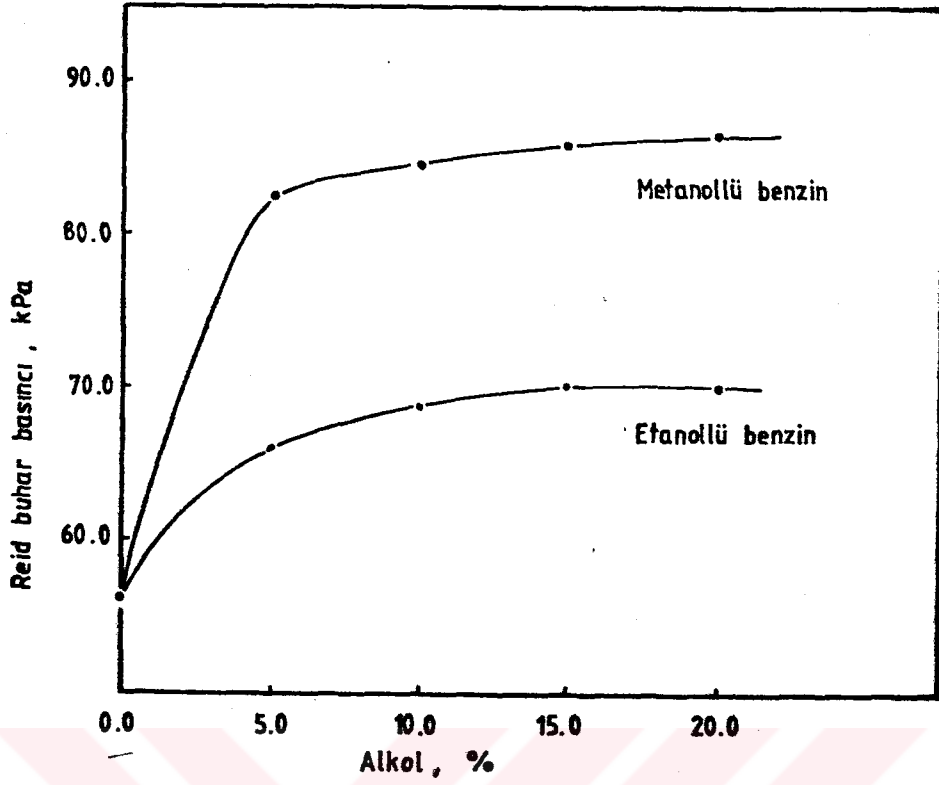
Yakıt bileşenleri	d, kg/m ³	Yakıt	d, kg/m ³	Yakıt	d, kg/m ³
B ₄ benzini	734.6	1M5	743.0	1E5	739.0
MeOH	790.1	1M10	743.5	1E10	744.7
EtOH	801.6	1M15	744.2	1E15	746.1
FYF	817.8	1M20	747.2	1E20	753.1
		3M5	744.8	3E5	742.1
		3M10	746.6	3E10	746.1
		3M15	747.1	3E15	747.6
		3M20	748.3	3E20	750.3

3.2.2. Yakıtların Reid Buhar Basıncıları

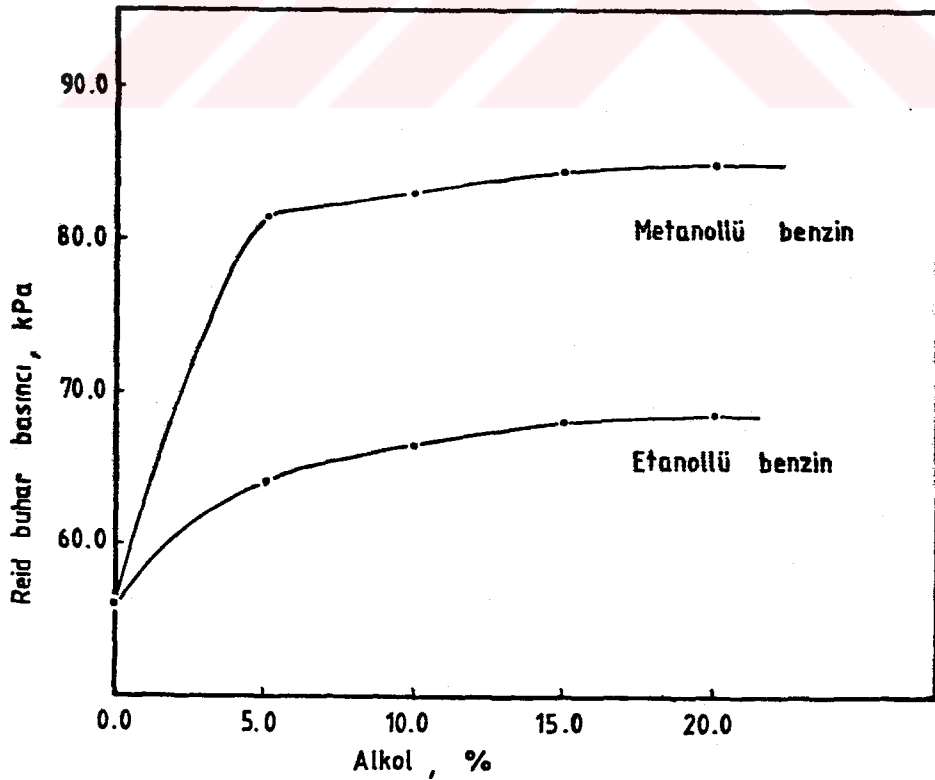
Alkollü benzinlerin hazırlandığı B₄ benzini, 56.7 kPa, EtOH 20.3 kPa, MeOH ise 30.4 kPa değerinde Reid buhar basıncına (ASTM D 323) sahiptir [97]. FYF ise 120°C üstünde kaynayan bir alkol karışımı olup Reid buhar basıncı oldukça düşüktür. Şekil 3-2-1 %1 FYF katkılı alkollü benzinlerde, Şekil 3-2-2 ise %3 FYF katkılı benzinlerde, alkollü benzinlerin Reid buhar basıncının alkol oranına bağlı olarak değişimini göstermektedir [97]. Aynı miktarda FYF ve alkol içeren karışımlarda metanollü benzinler daha yüksek buhar basıncına sahiptir. FYF miktarının %1'den %3'e artması buhar basıncında çok az bir azalma yaratmaktadır. Alkollü benzinlerin Reid buhar basınçlarının artması, metanol ve etanolün benzin içindeki düşük kaynama noktalı hidrokarbonlarla yaptığı azeotroplara bağlıdır. Bu durum karışımların kaynama eğrileri ile birlikte Bölüm 3.2.3 de tekrar değerlendirilecektir.

3.2.3. Alkollü Benzinlerin ASTM Distilasyon Eğrileri

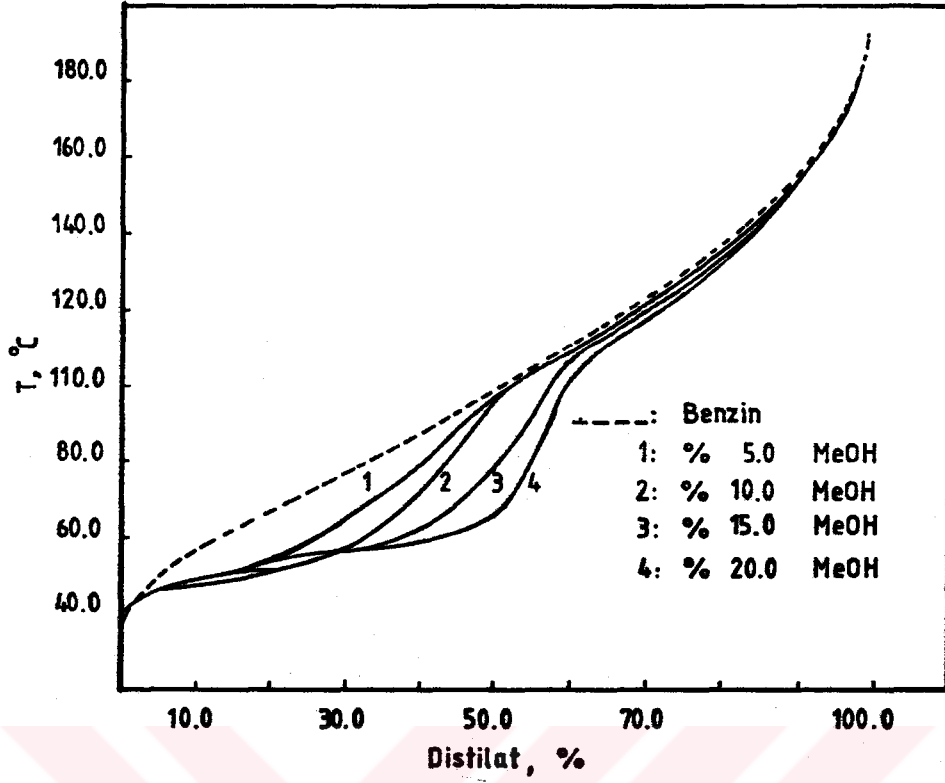
Alkollü benzinlerde kullanılan MeOH'un kaynama noktası 64.5°C, EtOH'un ise 78.15°C dir. FYF'in Bölüm 3.1.3.1 de açıklandığı gibi 120-150°C kaynama aralığına sahiptir. Alkollü benzinlerin ASTM D 86'ya göre saptanan distilasyon eğrileri Şekil 3-2-3, Şekil 3-2-4, Şekil 3-2-5 ve Şekil 3-2-6 da karışımı oluşturan benzinin kaynama eğrisi ile karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir [97]. Distilasyon eğrilerinden görüldüğü gibi etanollü ve metanollü benzinler benzine göre daha düşük kaynama aralıklı fraksiyonlara sahiptir. Bu durum alkollerin benzin içindeki C₅ ve diğer hidrokarbonlarla oluşturduğu azeotroplarla açıklanabilir [52]. Azeotropların kaynama noktalarının düşüşü karışımların Reid buhar basınçlarında da artmaya neden olur (bkz. Şekil 3-2-1 ve 3-2-2). Görüldüğü gibi %5 oranındaki alkol katkısı ile, Reid buhar basıncı büyük hızla artmış, %10, %15 ve %20 alkollü karışımlarda da belirgin ancak daha az bir



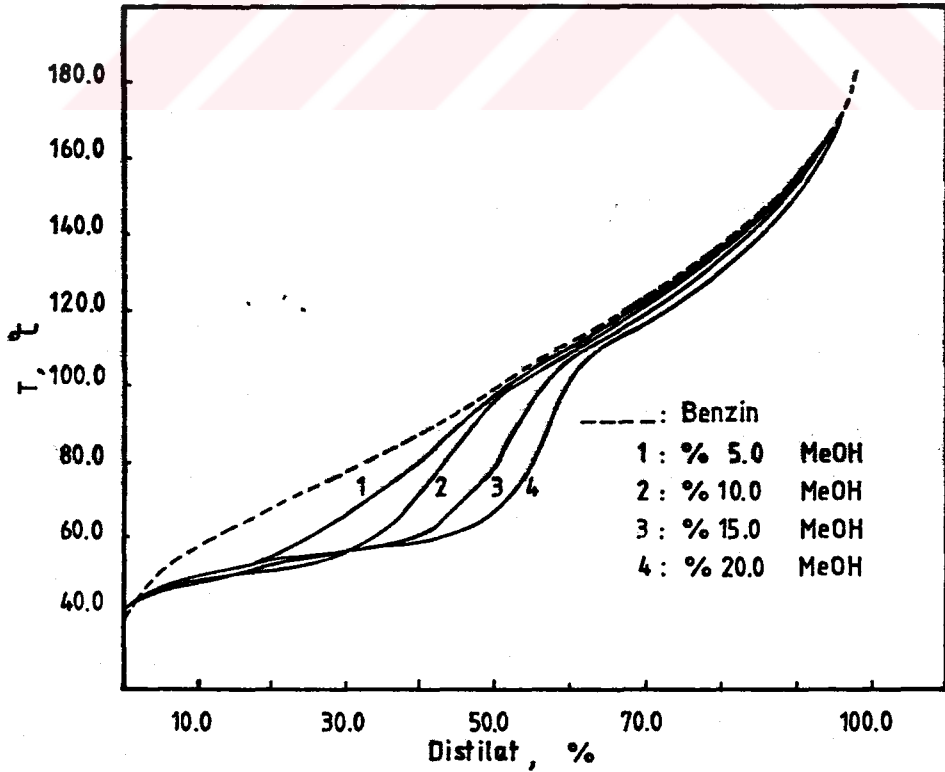
Şekil 3-2-1 %1.0 FYF Katkılı Alkollü Benzinlerde Reid Buhar Basıncının Değişimi.



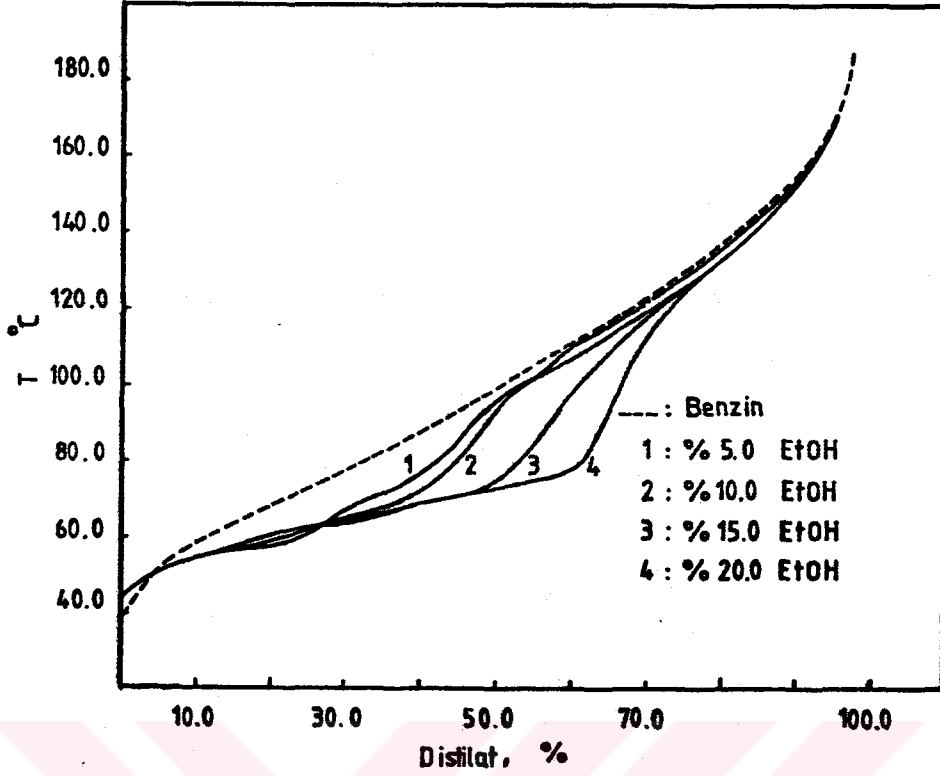
Şekil 3-2-2 %3.0 FYF Katkılı Alkollü Benzinlerde Reid Buhar Basıncının Değişimi.



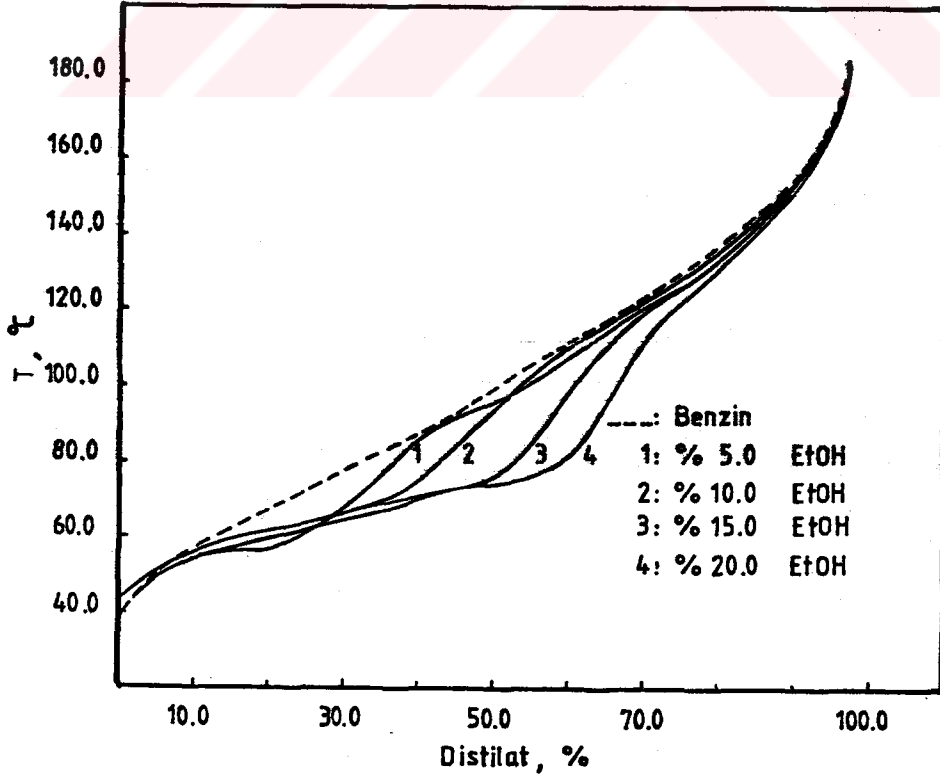
Şekil 3-2-3 %1.0 FYF Katkılı Metanollü Benzinlerin ASTM Distilasyon Eğrileri.



Şekil 3-2-4 %3.0 FYF Katkılı Metanollü Benzinlerin ASTM Distilasyon Eğrileri.



Şekil 3-2-5 %1.0 FYF Katkıllı Etanollü Benzinlerde ASTM Distilasyon Eğrisi.



Şekil 3-2-6 %3.0 FYF Katkıllı Etanollü Benzinlerde ASTM Distilasyon Eğrisi.

artış göstermiştir. Bu durum şu şekilde açıklanabilir: Kaynama eğrilerinden görüldüğü gibi metanollü benzinlerde %10-20, etanollülerde ise %5-20 alkollü karışımlarda karışımın ~ %30'unun geri kazanıldığı kaynama aralığı, karışımın alkol miktarına bağlı değildir. Bu aralık %5 alkollü benzinler karşılaştırıldığında, metanollü benzinlerde daha düşüktür. Ayrıca, alkoller benzin içinde %5'den fazla miktarda bulunduğu zaman, kısmen karışabilir bileşenlerden oluşan karışımlar gibi buhar basıncı davranışı göstermektedir [104].

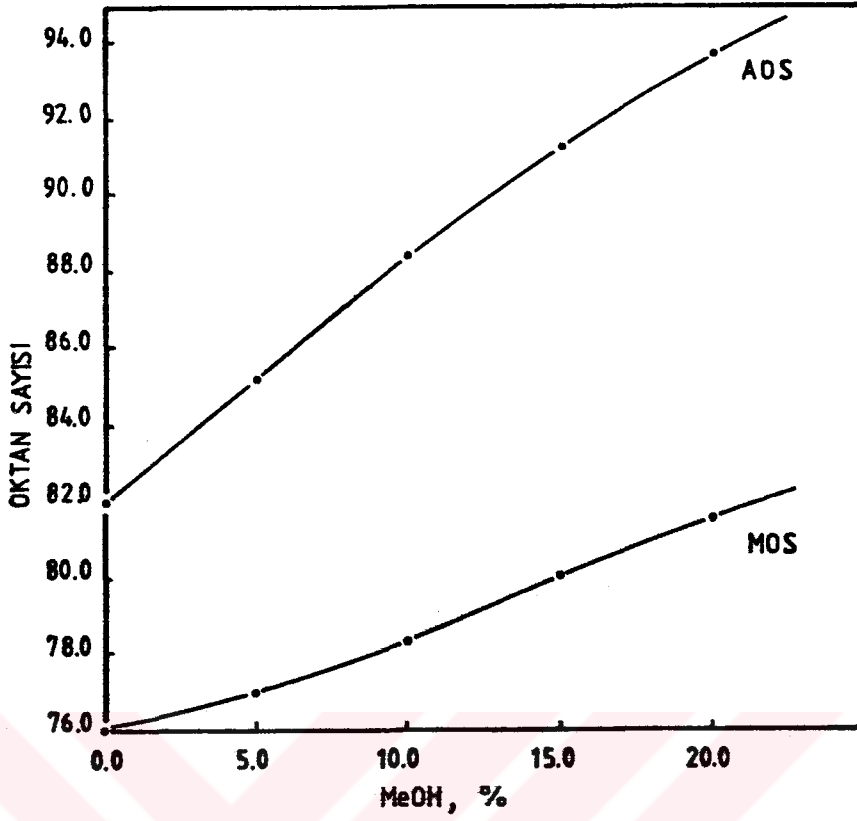
3.2.4. Yakıtların Oktan Sayıları

Benzin-alkol karışımlarını oluşturan bileşenlerin araştırma (AOS) ve motor (MOS) oktan sayıları Tablo 3-2-2'de görülmektedir. Bu tabloda FYF için bu karışımda en fazla bulunan bileşen olan iso-amilalkolün oktan sayısı verilmiştir (bkz. Tablo 3-1-2).

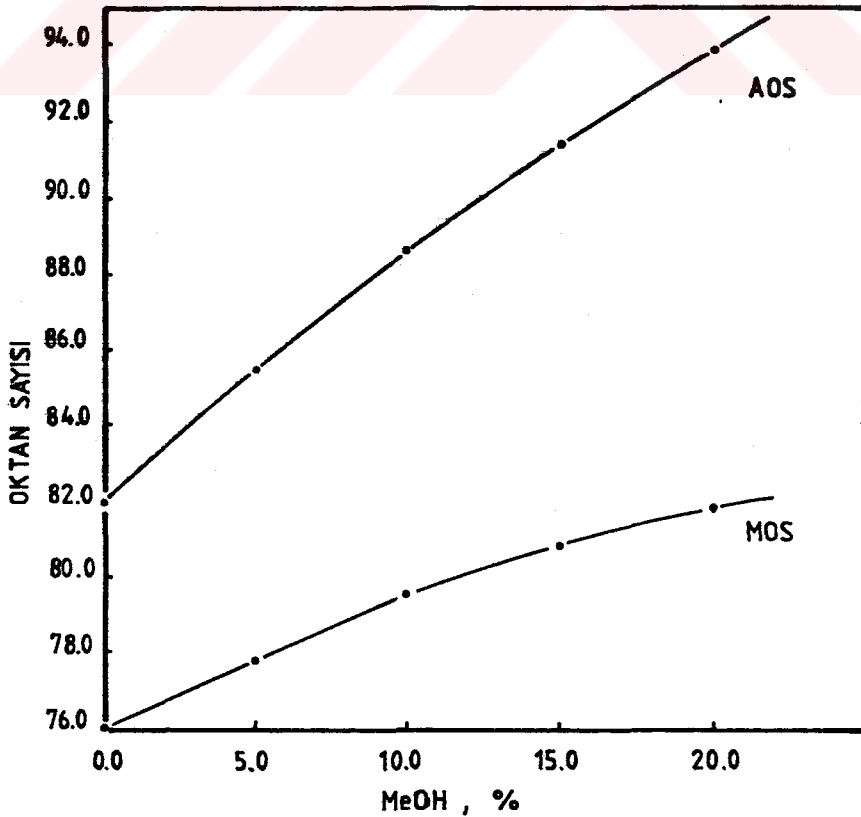
Tablo 3-2-2 Alkollü Benzin Bileşenlerinin Oktan Sayıları.

	AOS	MOS
B ₄ benzini	82.0	76.0
MeOH [27]	112.0	91.0
EtOH [27]	111.0	92.0
FYF (IAA) [29]	-	87.0

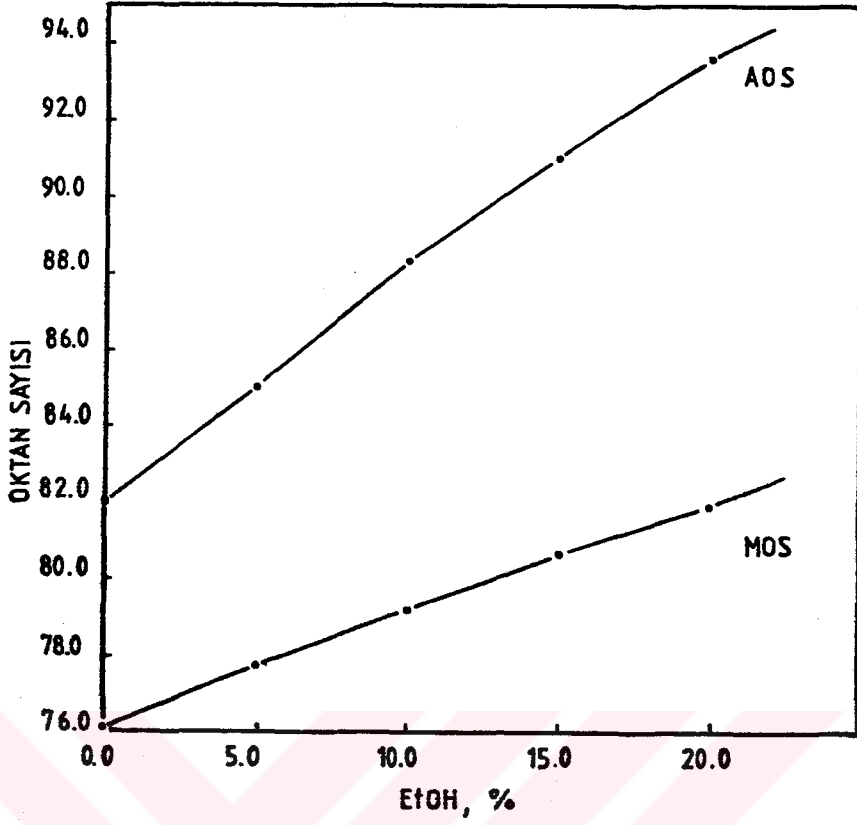
Şekil 3-2-7, 3-2-8, 3-2-9 ve 3-2-10 alkollü benzinlerde ASTM D 2699 ve ASTM D 2700'e göre saptanan oktan sayılarını göstermektedir [97]. Şekillerden görüldüğü gibi, karışımlarda artan EtOH ve MeOH miktarı ile AOS ve MOS yükselmektedir. Benzine yaklaşık olarak %5 alkol katılması ile MOS'ları yaklaşık 2 birim, AOS'ları ise yaklaşık 3 birim artmaktadır.



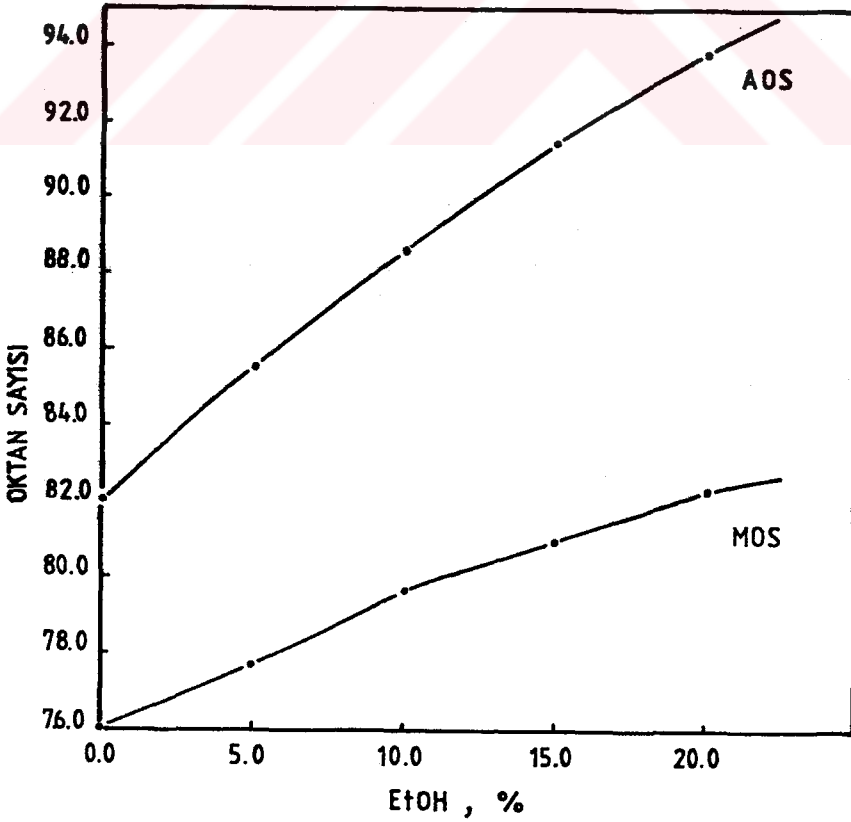
Şekil 3-2-7 %1.0 FYF Katkılı Metanollü Benzinlerde OS Değişimi.



Şekil 3-2-8 %3.0 FYF Katkılı Metanollü Benzinlerde OS Değişimi.



Şekil 3-2-9 %1.0 FYF Katkılı Etanollü Benzinlerde OS Değişimi.



Şekil 3-2-10 %3.0 FYF Katkılı Etanollü Benzinlerde OS Değişimi.

3.2.5. Yakıtlarda Korozyon Testleri

Benzinin korozyon özelliği ASTM D 130'a göre saptanmaktadır [97]. Bu yöntemde yakıtın korozyon özelliği, benzin içerisinde 50°C de, 3 saat 5 dakika bırakılan bakır şeritte oluşan renk değişimine göre saptanmaktadır. Bu testin alkollü benzinlere uygulanmasında, benzin-alkol karışımları, MeOH, EtOH ve FYF B₄ benzini ile benzer sonuçlar vererek No.1a korozyon özelliği göstermişlerdir. Bu sonuç alkollü benzinlerin sözü edilen standart yöntemle göre, yakıt olarak kullanımında korozyon sorunu yaratmayacağını göstermektedir. Ancak bu yöntem benzin için geliştirilmiş bir yöntemdir ve alkollü benzinler için geçerliliği henüz tam olarak belirlenememiştir. Bu nedenle incelenen alkollü benzinlere "The American Society for Testing and Materials" çalışmaları kapsamında gasohol için önerilen korozyon testi de uygulanmıştır [51, 83, 97]. Yakıtların; çinko kaplı çelik, magnezyum, al minyum, kurşun, çinko ve PVC malzemelerine etkisini görebilmek için uygulanan bu yöntem ASTM D 665 testinin özel bir uygulamasıdır. Standart yöntemde önerilen deney düzeneğine ek olarak sisteme, yakıtın ortam neminden izolasyonu ve buharlaşma kayıplarını önlemek amacı ile ucunda silikagel dolu tüp bulunan bir geri soğutucu takılmıştır. Korozyon testleri; önerilen standart yöntemle göre, yakıt ve bileşenlerine doğrudan ve ayrıca %10 su katılarak uygulanmıştır. %1 ve %3 FYF katkılı alkollü benzinler, B₄ benzini, MeOH, EtOH ve FYF, 38°C de 6 saat süren bu korozyon testinde de olumlu sonuç vermiştir.

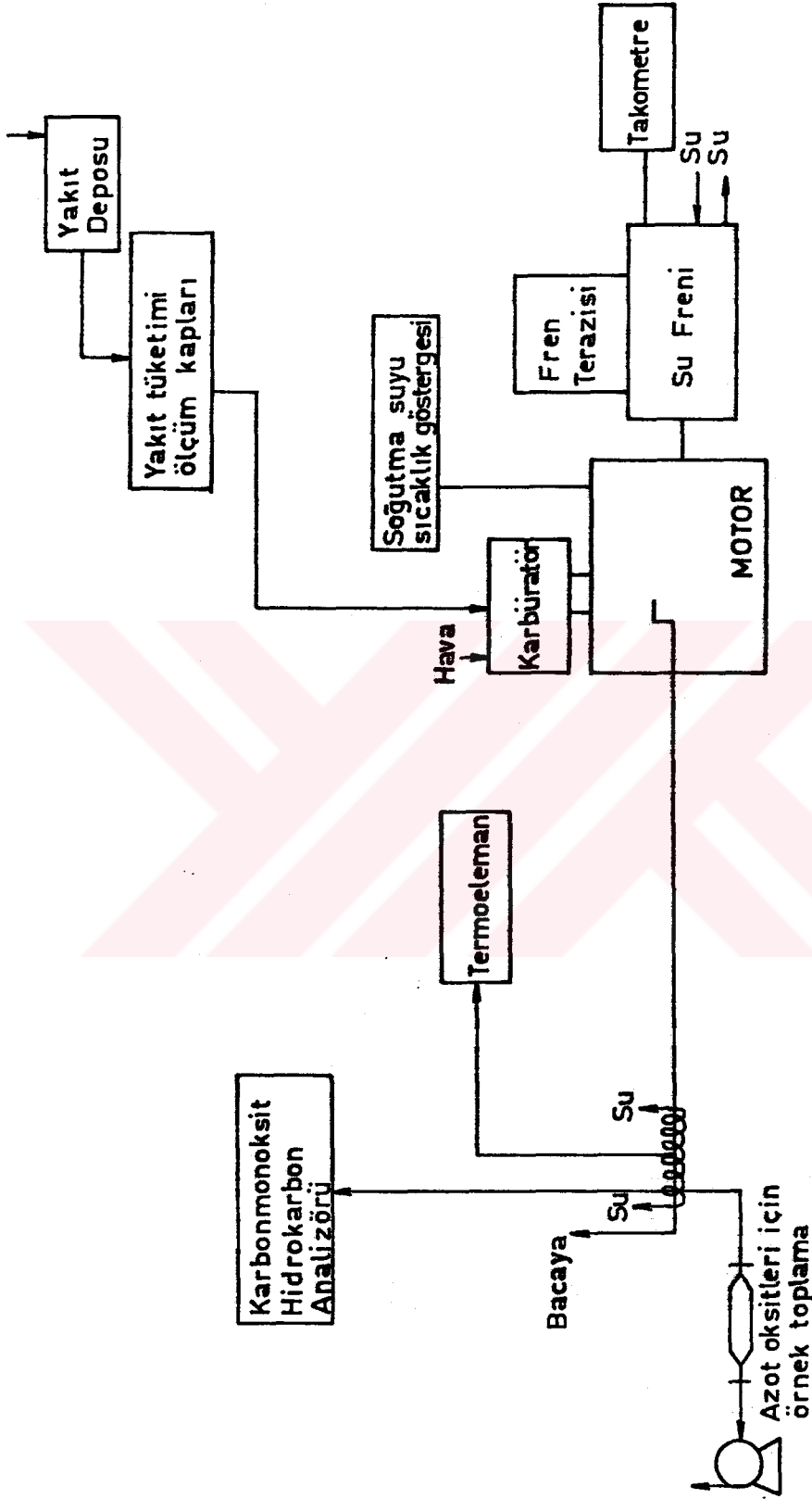
3.3. Motor Deneyleri

Bu çalışmada, Bölüm 3.2 de yakıt özellikleri belirlenmiş olan %1 ve %3 FYF katkılı alkollü benzinler arasından seçilen 8 karışımın motor testleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, etanollü benzinler için %10 ve metanollüler için %15 alkol içeriklerinin seçilmesi bu yakıtların yaygın kullanımının olduğu ülkelerde önerilen bileşimler

olmasından kaynaklanmıştır (bkz. Bölüm 2). %20 alkollü karışımlar ise çalışmalarımızda kullandığımız maksimum alkol miktarının etkisini görmek amacı ile seçilmiştir. Motor testleri sonucunda, 1E10, 3E10, 1E20, 3E20, 1M15, 3M15, 1M20, 3M20 ile alkollü benzinlerin hazırlandığı B₄ benzini ve ticari normal benzinin (T_B) motor karakteristikleri ve egzoz gazı emisyonları belirlenmiştir.

Motor testlerinin gerçekleştirildiği deney düzeneğinde; motor su freni grubu ile bunları besleyen ve kontrol eden su, yakıt, egzoz ölçme donanımları bulunmaktadır (bkz. Şekil 3-3-1). Deneylerde kullanılan motor; dört zamanlı, dört silindirli, su soğutmalı, karbüratörlü Renault 12 ($1.2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$) marka bir otomobil motorudur. Strok hacmi $1.289 \cdot 10^{-3}$ olan motorun çap/strok oranı 73/77, sıkıştırma oranı ise 8.5:1'dir. Motorun bağlı olduğu güç freni Schenk marka U2-20 h tipi bir su frenidir. Dönme sayısının ölçümü elektrikli tip takeometre ile yapılmıştır. Motor soğutma suyu sıcaklığı $+20^\circ\text{C}$ sınırı içinde sabit tutulmaya çalışılmıştır. Egzoz gazı bir boru ile atmosfere atılmaktadır. Emisyon ölçümleri için, bu borunun motor çıkışından yaklaşık 2 m uzaklıktaki bölgesinde iki ayrı şekilde örnek alınmıştır. Bu örneklerden biri sisteme bağlı olarak sürekli ölçüm yapan Hamilton marka dağılmayan kızılötesi ısınlı karbonmonoksit/hidrokarbon analizörüne alınarak kirletici miktarları saptanmıştır. Diğer örnek ise aynı çıkışa bağlanan gaz toplama şişesine vakum pompası yardımıyla alınarak içerdiği azotoksitleri, VDI 2456 yöntemine göre saptanmıştır [105]. Egzoz ölçümlerinin yapıldığı bölgede 0.2 m uzunlukta su soğutması uygulanmıştır. Egzoz gazı sıcaklıkları (EGS) demir/demir konstantan termoeleman ile ölçülmüştür.

Motor deneyleri, 21°C , %80 nem ve 101.3 kPa basınç koşullarında gerçekleştirilmiştir. Sabit ateşleme avansında (10° ÜDN'dan önce) yürütülen deneyler; 1/3 ve 2/3 gaz kelebek açıklıklarında (GKA) rölanti, 1750, 2500, 3250, 4000 d/d dönme sayıları seçilerek yürütülmüştür. Yakıtların motor karakteristiklerinin belirlenmesinde, 1/3 ve 2/3 GKA'ları parametre olarak alınmış ve heriki durumda güç (N_e , BG), moment (M_d , kg cm) ve özgül yakıt tüketimi (b_e , g/BG h) dönme sayısının (n , d/d) fonksiyonu olarak incelenmiştir. Bu amaçla ölçülen $1.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ yakıtın motorda tüketimi için geçen süre (t, s), terazi kuvveti (P , kg) ve soğutma suyu sıcaklığı (T_{ss} , $^\circ\text{C}$)



Şekil 3-3-1 Deney Düzenneği Şeması .

ile bu büyüklükler yardımıyla hesaplanan b_e , M_d , N_e ve motorun farklı yakıtlar ile ısı verimleri (η , %), dönme sayısının fonksiyonu olarak her bir yakıt için birer tablo şeklinde verilmiştir (Tablo 3-3-3 - Tablo 3-3-12) [106]. Ayrıca tüm yakıtlarda, b_e , M_d , N_e , η değerleri ve elde edilen egzoz gazları emisyonlarına ilişkin ölçümlerin dönme sayısına bağımlılığı grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 3-3-2 - Şekil 3-3-41). Egzoz gazı ölçümlerinde, karbonmonoksit ve hidrokarbonların miktarı 1/3, 2/3 GKA değerlerinde ölçüm yapılan tüm dönme sayılarında azotoksitlerinin miktarı ise 2/3 GKA da, 1750, 2500, 4000 d/d çalışmaları sırasında saptanmıştır. Alkol-benzin karışımlarında ısı verim hesaplamalarında; benzin için $3.18 \cdot 10^4 \text{ MJ/m}^3$ ($d_{15}^{20} = 730 \text{ kg/m}^3$), metanol için $1.59 \cdot 10^4 \text{ MJ/m}^3$, etanol için ise $2.14 \cdot 10^4 \text{ MJ/m}^3$ alt ısı değerleri temel alınarak, hacimsel bileşim yardımı ile alkollü benzinlerin alt ısı değerleri hesaplanmıştır [107, 39]. Bu hesaplamalarda karışımların FYF ve su miktarının alkollü benzinlerin alt ısı değerine etkisi ihmal edilmiştir. Elde edilen alkollü karışım alt ısı değerleri ile benzine göre bu değerlerdeki azalma Tablo 3-3-1 de verilmiştir. Bu değerler her bir yakıtın N_e değerleri ile karşılaştırılarak ısı verimleri hesaplanmıştır.

Tablo 3-3-1 Benzin ve Alkollü Benzinlerin Isıl Değerlerinin Karşılaştırılması.

Yakıt	Alkollü benzinin alt ısı değeri, MJ/m^3	Benzine göre alt ısı değerindeki düşme, %
1E10 ve 3E10	$3.08 \cdot 10^4$	3.2
1E20 ve 3E20	$2.97 \cdot 10^4$	6.6
1M15 ve 3M15	$2.94 \cdot 10^4$	7.5
1M20 ve 3M20	$2.86 \cdot 10^4$	10.1

Motor testlerinde, motor karakteristiklerinin hesaplanmasına örnek olarak, 1E10 yakıtı için 1/3 GKA değerinde, 1750 d/d çalışmasında yapılan işlemler aşağıda açıklanmıştır [106]. Bu hesaplamalar için gerekli yakıt yoğunlukları Tablo 3-3-2 de görülmektedir.

Ölçülen değerler:

$$V_y = 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ (150 cm}^3\text{)}$$

$$t = 110 \text{ s}$$

$$P = 10.55 \text{ kg}$$

$$d_{21} \quad \rho_C = 736.8 \text{ kg/m}^3 \text{ (0.7368 g/cm}^3\text{)}$$

Hesaplanan değerler:

1- Moment

$$M_d = P \times L$$

Schenk su freni boyu (L) 71.62 cm'dir.

$$M_d = 10.55 \times 71.62 = 755.6 \text{ kg cm}$$

2- Güç

$$N_e = \frac{M_d \times n}{71620} = \frac{755.6 \times 1750}{71620} = 18.5 \text{ BG}$$

3- Özgül yakıt tüketimi

$$b_e = \frac{V_y \times d \times 3600}{t \times N_e} = \frac{150 \times 0.736 \times 3600}{110 \times 18.5} = 195.5 \text{ g/BG h}$$

4- Isıl verim

Isıl verim, motordan alınan güç ile bu gücün oluşması için motor silindirinde yanmış olan yakıtın enerjisi arasındaki orandır. $3.08 \cdot 10^4 \text{ MJ/m}^3$ alt ısı değere sahip, $1.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ 1E10 yakıtı için 1/3 GKA değerinde 110 s yakıt kullanım süresinde alınacak güç dikkate alınarak, gerekli boyut analizleri sonucu ısı verimi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\eta = \frac{18.5 \text{ BG} \times \frac{735.5 \text{ J/s}}{1 \text{ BG}}}{3.08 \cdot 10^4 \text{ MJ/m}^3 \times \frac{1.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3}{110 \text{ s}} \times \frac{10^6 \text{ J}}{1 \text{ MJ}}} \cdot 100$$

$$\eta = \%32.4$$

Bu çalışmada motor deneyleri sırasında buhar tıkaçı oluşmamış herhangi bir yağlama, korozyon sorunu ve yakıtlarda faz ayrışması ile karşılaşılmemiştir. B_4 ve T_B benzinleri ile alkollü benzinlerin motor testleri sırasında belirgin motor yakıtı farklılığı gözlenmemiştir.

Tablo 3-3-2 Yakıt Yoğunlukları.

Yakıt	d, 21°C, (kg/m ³)
B ₄	727.6
T _B	730.0
1E10	736.8
3E10	737.2
1E20	746.3
3E20	749.1
1M15	740.2
3M15	741.1
1M20	743.2
3M20	744.3

Alkol-benzin karışımları için elde edilen motor karakteristik eğrileri benzinler için elde edilen eğriler ile genel bir uyum göstermektedir. Deney sonuçları incelenen yakıtların kullanımında elde edilen motor karakteristikleri ve egzoz gazı emisyonları bakımından aşağıdaki şekilde değerlendirilebilir:

1) Herbir yakıt için elde edilen; minumum b_e , maksimum N_e , M_d , η değerleri Tablo 3-3-13 ve Tablo 3-3-14 de toplu olarak verilmiştir. Alkollü benzinler için elde edilen verilerin, B₄ benzini motor karakteristiklerine göre artma veya azalmaları ise % olarak Tablo 3-3-15 ve Tablo 3-3-16 da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar, B₄ için minumum ve maksimum karakteristik noktaların saptandığı dönme sayılarında yapılmıştır (bkz. Tablo 3-3-13 ve Tablo 3-3-14). Sözü edilen dört tablo birlikte değerlendirildiğinde, alkollü benzinlerde, karşılaştırma yapılan dönme sayıları için, her iki gaz kelebek konusunda, minumum b_e ve maksimum η değerlerinde artma, maksimum N_e ve M_d değerlerinde ise azalma gözlenmiştir. Bu değişimler, gaz kelebek açıklığı ve karışımların alkol miktarı ile ilgilidir.

GKA=1/3 de yapılan çalışmalarda, tüm yakıtlarda 2500 d/d dönme sayısı için minumum b_e değerleri saptanmıştır. Bu dönme sayısında alkollü benzinlerin kullanımında özgül yakıt tüketimleri, benzine göre %3.8-12 oranlarında artmıştır. Tablo 3-3-13'den görüldüğü gibi maksimum güçler 4000 ya da 3250 d/d da, maksimum moment değerleri 1750 d/d da, maksimum ısı verimler ise 2500 d/d da elde edilmiştir. Benzine göre, güç değerlerindeki düşme %10.8-24.7, moment değerlerindeki düşme %1.8-9.5, ısı verimlerdeki artma ise %0.6-3.4

mertebeindedir. Sadece 3M15 için benzin ile aynı ısı verim elde edilmiştir. Gaz kelebek konumu 2/3 durumunda ise 3250 ve 2500 d/d'daki minimum b_e değerleri benzine göre %1.8-10.5 arasında artış göstermiştir. Görüldüğü gibi, gaz kelebek açıklığı değişimi ile yakıtların minimum b_e değerlerindeki artışta, düşme olmuştur. 2/3 gaz kelebek açıklığında, 4000 d/d için maksimum güçler karşılaştırıldığında, alkollü benzinlerde benzine göre %1.6-13.2 arasında güç düşmesi, 1750 d/d için moment değerleri karşılaştırıldığında ise %0.5-1.3 azalma gözlenmiştir. Maksimum ısı verimler 2500 ve 3250 d/d çalışmalarında elde edilmiştir. Benzin yerine alkollü benzin kullanımı sonucu elde edilen motor ısı verimleri %2.1-5.5 daha fazladır. Tablo 3-3-15 ve Tablo 3-3-16 birlikte değerlendirildiğinde, gaz kelebek açıklığının 1/3 den 2/3'e değişmesinin, alkollü benzinlerin benzinden farklı özellikler göstermesindeki değişikliği olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Bu değişiklik ile, minimum b_e , maksimum N_e , M_d değerleri benzine daha yaklaşılmaktadır ve ısı verim artmaktadır.

Alkollerin ısı değerleri benzinin ısı değerinden daha düşüktür. Bu nedenle alkol-benzin karışımları benzinden daha düşük ısı verim değerlerine sahiptir (bkz. Tablo 3-3-1). Fakat motordaki çalışma için önemli olan yakıt-hava karışımının ısı değeridir [107]. Benzinin tam yanması için gerekli olan minimum hava miktarı 14.5 kg hava/kg yakıttır [108]. Etanol için bu değer 90 kg hava/kg yakıt, metanol için ise 6.5 kg hava/kg yakıt olarak hesaplanmıştır. Benzin ve alkoller için gerekli minimum hava miktarlarının farklı olmasına karşın hava-alkol karışımlarının ısı değerleri, hava-benzin karışımlarının ısı değerlerine yakındır. Hava fazlalık katsayısı $\lambda=1$ durumunda, hava-benzin ve hava alkol karışımlarının ısı değerleri sırası ile $Q_{k,benzin}=2.9$ MJ/kg karışım, $Q_{k,etanol}=2.7$ MJ/kg karışım $Q_{k,metanol}=2.6$ MJ/kg karışım şeklindedir. Bu nedenle benzinli motorlarda alkol kullanıldığı durumlarda, aynı hava miktarı ile, aynı strok hacmine daha fazla alkol alınır. Deneylerde kullanılan alkol-benzin karışımları için saptanan özgül yakıt tüketimlerinin benzinden fazla olmasının nedeni bu durumdan kaynaklanmaktadır. Karışımlarda bulunan alkollerin düşük ısı değerleri de, alkollü benzinlerin güç ve moment değerlerinin benzininkine göre daha düşük olmasına neden olmaktadır. Isı verimindeki azalma yanında, deneylerin sabit ateşleme avansında yürütülmesi de benzine göre güçte azalmalara neden

olmuştur. Alkollü benzinin yanma hızının benzine oranla daha yüksek olması nedeniyle, motor performansında bir düşme olmaması için ateşleme avansının azaltılması gerekmektedir. Ancak deneyler sırasında ateşleme avansının değiştirilmemiş olması, alkollü yakıtlarda verimin azalmasına neden olmuştur. Bunun yanında karışımlarda alkol bulunması ile karışımlar fakirleşmektedir. Bu durum ısı verimlerinde artışa neden olur. Yapılan deneylerde benzine oldukça yakın veya bir miktar yüksek ısı verimleri elde edilmiştir. Ayrıca, karışımlarda alkol katkısının sağladığı oktan sayısı yükselmesinden de yararlanılmamıştır. Çünkü, oktan sayısındaki artış daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalışmaya olanak tanımaktadır. Bu durum, yüksek sıkıştırma alanlarında çalışmada ısı verimin olumlu yönde artışında etken olmaktadır.

Motor testlerinde elde edilen sonuçlara, alkollü benzinlerin alkol oranı ile, karışımda etanol veya metanol kullanımının etkisi ise aşağıdaki şekilde açıklanabilir. Her iki gaz kelebek açıklığı konumunda, alkollü benzinlerin, alkol miktarının artması, benzine göre motor karakteristiklerinin değişiminde daha büyük farklılıklara neden olmaktadır. Etanol ve metanol katkılı benzinler karşılaştırıldığında ise, etanolü benzinler, benzine daha yakın özelliklere sahiptir. Katkı maddesi olarak kullanılan FYF ise motor karakteristiklerinde büyük farklılıklara neden olmamaktadır.

2) Motor testleri sırasında saptanan egzoz gazı emisyonu ölçümlerine göre her iki GKA değeri için alkollü benzinlerin tümünde benzine göre, karbonmonoksit emisyonlarında hızlı bir düşüş, azotoksit emisyonlarında ise benzine çok yakın değerler elde edilmiştir (bkz. Tablo 3-3-17, Tablo 3-3-18 ve Tablo 3-3-19). Karbonmonoksit emisyonlarındaki düşüş, alkollerin maksimum çevrim sıcaklıklarının benzininkine göre daha düşük olması ve buna bağlı olarak yanmanın iyileşmesi ve vuruntunun azalması ile ilgilidir. Benzinin (isooktan) alev sıcaklığı 1827°C , etanolün 1777°C , metanolün ise 1747°C dir [85]. B_4 , T_b ve alkollü benzinlerin tümünde, sabit GKA'da dönme sayısı artışı ile CO emisyonları azalmaktadır. GKA'nın $1/3$ den $2/3$ 'e değişmesi ise CO emisyonlarında artışa neden olmaktadır. CO emisyonunda katkı maddesi (FYF) miktarının belirgin bir etkisi ise gözlenmemiştir. Buna karşın karışımlardaki alkol oranının artması ile aynı koşullarda

yapılan motor testleri için CO emisyonları azalmaktadır. Ayrıca aynı koşullarda yapılan deneylerde %20 alkollü metanollü ve etanollü benzinler birbirine yakın CO emisyonu vermiştir.

Alkollü benzinlerin HC emisyonlarında gözlenen değişimler ise şu şekildedir: GKA:1/3 çalışmasında metanollü ve etanollü benzinler, benzine göre daha yüksek HC emisyonu vermişlerdir. GKA:2/3 çalışmasında ise etanollü benzinlerde benzine oldukça yakın HC emisyonu saptanırken, metanollü benzinlerde benzine göre daha düşük HC emisyon değerleri elde edilmiştir. Her iki gaz kelebek konumu için, aynı alkollü benzin ile yapılan testlerde, dönme sayısı artışı HC emisyonlarında azalmaya neden olurken, alkollü benzinlerin içerdiği FYF miktarının %1' den %3 'e değişmesi HC emisyonlarında belirgin bir farklılığa neden olmamaktadır. %20 oranında alkol içeren etanollü ve metanollü benzinler HC emisyonu yönünden karşılaştırıldığında ise, aynı motor çalışma koşulları için metanollü benzinlerin daha düşük emisyonu sahip olduğu görülmektedir. Testler sonucunda okunan EGS incelendiğinde, her iki GKA değerinde alkollü benzinlerin benzinden daha yüksek EGS verdiği görülmektedir. GKA değerinin 1/3 den 2/3'e değişmesi ile de EGS'leri artmaktadır. Benzine göre daha yüksek EGS saptanmasının nedeni, çalışmada kullanılan yakıtta göre ateşleme avan-sında değişiklik yapılmamasıdır. Bu nedenle birim güç başına elde edilecek HC emisyonları miktarı artacaktır. HC emisyonlarındaki artışın diğer bir nedeni alkolün yanma sırasında aldehit oluşturmalarıdır. Gaz kelebek açıklığının 1/3 den 2/3'e değişmesinde ise motor yüklemesi ile sıcaklık seviyeleri artışı ile birlikte oluşan HC'ların oksidasyonu artacağından, emisyon değerleri etanollü benzinlerde benzine yaklaşmakta metanollü benzinlerde ise daha düşük değerler almaktadır.

Rölanti çalışmasında ise tüm yakıtlar için, oldukça yüksek CO ve HC emisyonları saptanmış ve alkollü benzinlerin CO emisyonunun bu benzine göre daha düşük HC emisyonlarının ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Rölantide motor zengin karışım oranlarında çalıştırılmaktadır. Bu durum CO ve HC emisyonunda artışa neden olur. Ayrıca rölanti koşullarında yanmanın kötüleşmesi de HC emisyonunun olumsuz yönde etkilemektedir (bkz. Tablo 3-3-17).

Tablo 3-3-3 B₄ Benzini Motor Deney Sonuçları.

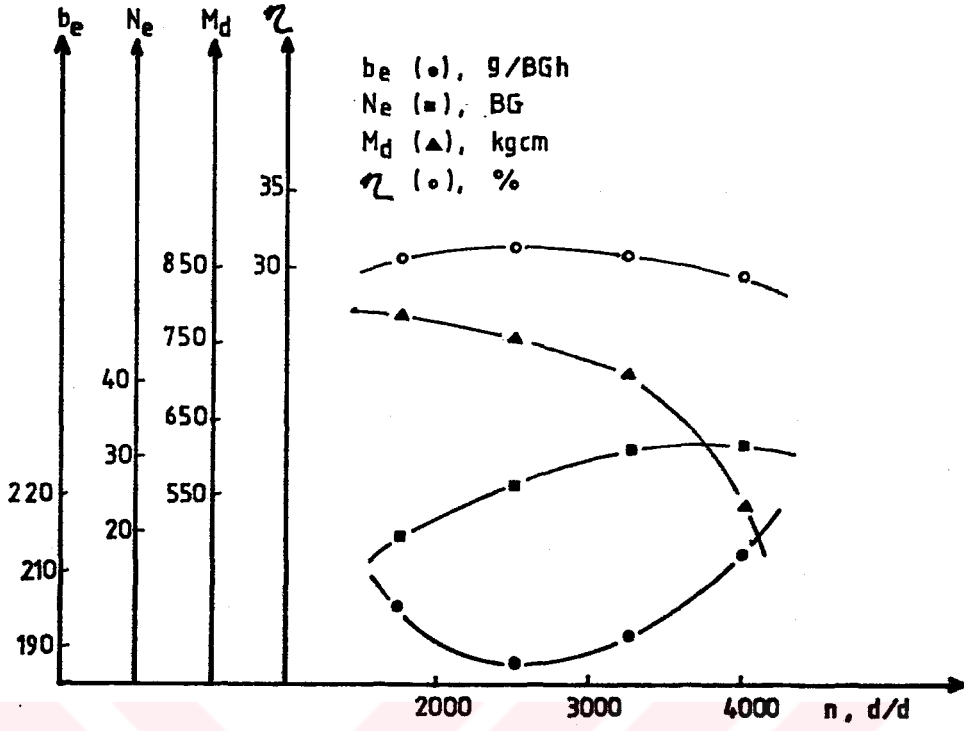
GKA	n (d/d)	t (s)	P (kg)	T _{ss} (°C)	b _e (g/BGh)	N _e (BG)	M _d (kgm)	η (%)
1/3	1750	104	11.05	74	195.3	19.3	791.2	31.0
	2500	79	10.60	73	187.7	26.5	759.0	32.3
	3250	66	9.55	73	191.8	31.0	683.8	31.5
	4000	59	7.90	74	210.7	31.6	565.6	28.7
2/3	1750	91	11.55	66	213.6	20.2	827.3	28.4
	2500	74	11.35	73	187.1	28.4	812.7	32.4
	3250	61	10.70	75	185.2	34.8	766.1	32.7
	4000	52	9.50	76	198.8	38.0	680.4	30.5

Tablo 3-3-4 T_B için Motor Deneyi Sonuçları.

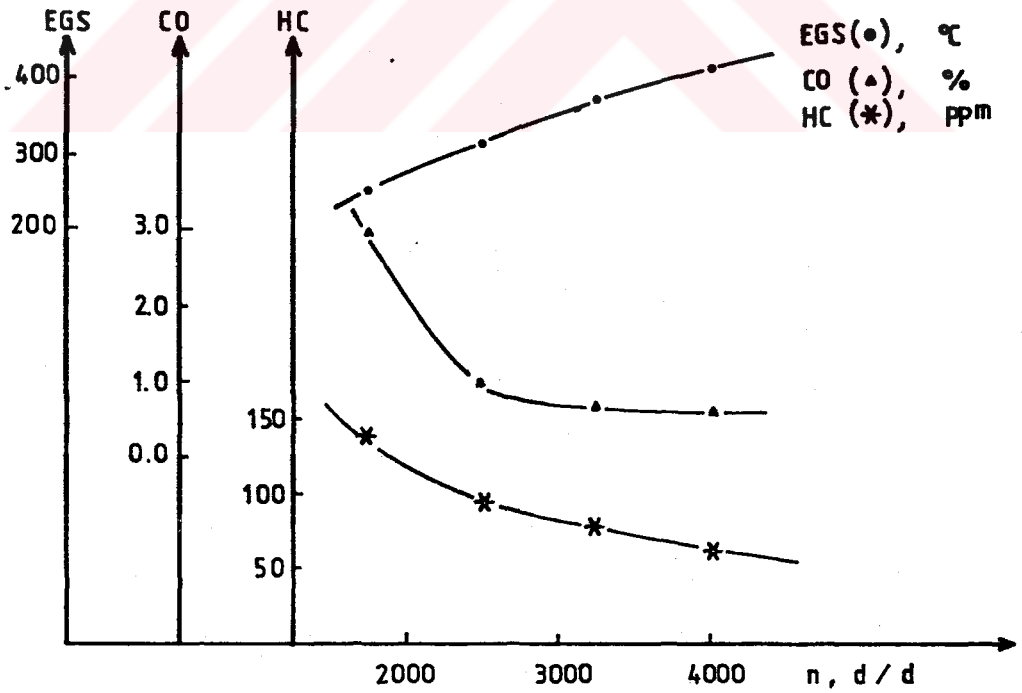
GKA	n (d/d)	t (s)	P (kg)	T _{ss} (°C)	b _e (g/BGh)	N _e (BG)	M _d (kgm)	η (%)
1/3	1750	101	11.20	65	199.1	19.6	802.0	30.5
	2500	77	10.60	70	193.2	26.5	759.0	31.5
	3250	66	9.40	71	195.5	30.5	673.0	31.1
	4000	60	7.90	72	208.0	31.6	565.6	29.2
2/3	1750	94	11.35	75	211.2	19.9	812.7	28.8
	2500	72	11.60	76	188.8	29.0	830.6	32.2
	3250	61	10.80	77	184.1	35.1	773.3	33.0
	4000	50	9.70	78	203.2	38.8	694.5	29.9

Tablo 3-3-5 1E10 için Motor Deneyi Sonuçları.

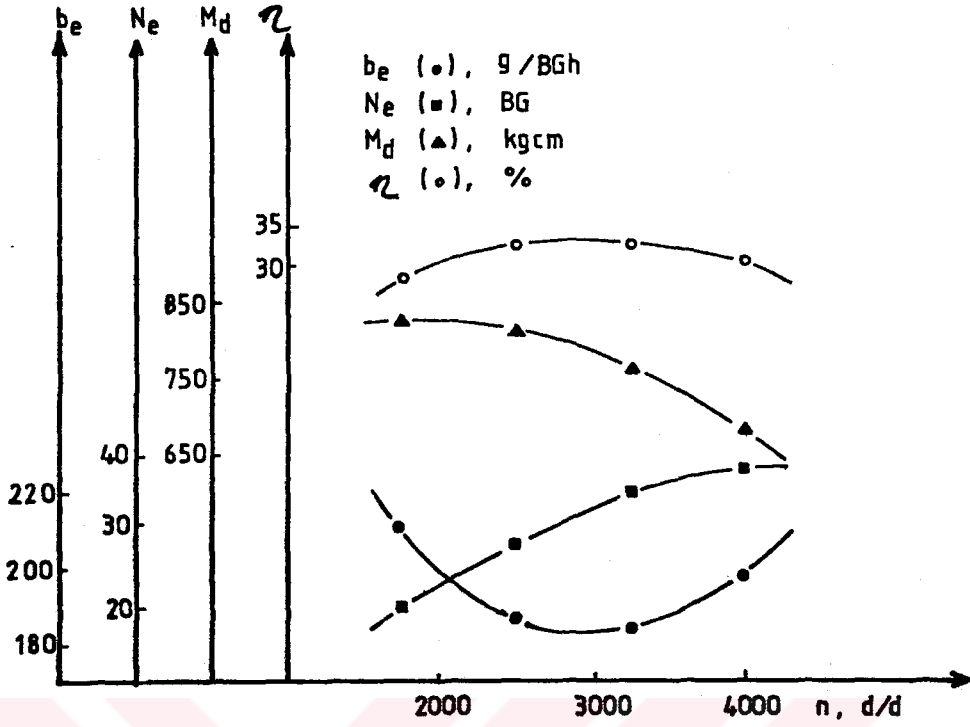
GKA	n (d/d)	t (s)	P (kg)	T _{ss} (°C)	b _e (g/BGh)	N _e (BG)	M _d (kgm)	η (%)
1/3	1750	110	10.55	67	195.5	18.5	755.6	32.4
	2500	85	9.60	69	195.0	24.0	687.4	32.5
	3250	74	8.30	72	199.2	27.0	594.3	31.8
	4000	66	6.70	74	224.8	26.8	479.7	28.2
2/3	1750	95	11.40	75	209.9	20.0	816.2	30.3
	2500	77	11.10	78	185.9	27.8	794.8	34.1
	3250	63	10.25	74	189.6	33.3	733.9	33.4
	4000	55	9.35	79	191.6	37.4	669.6	32.8



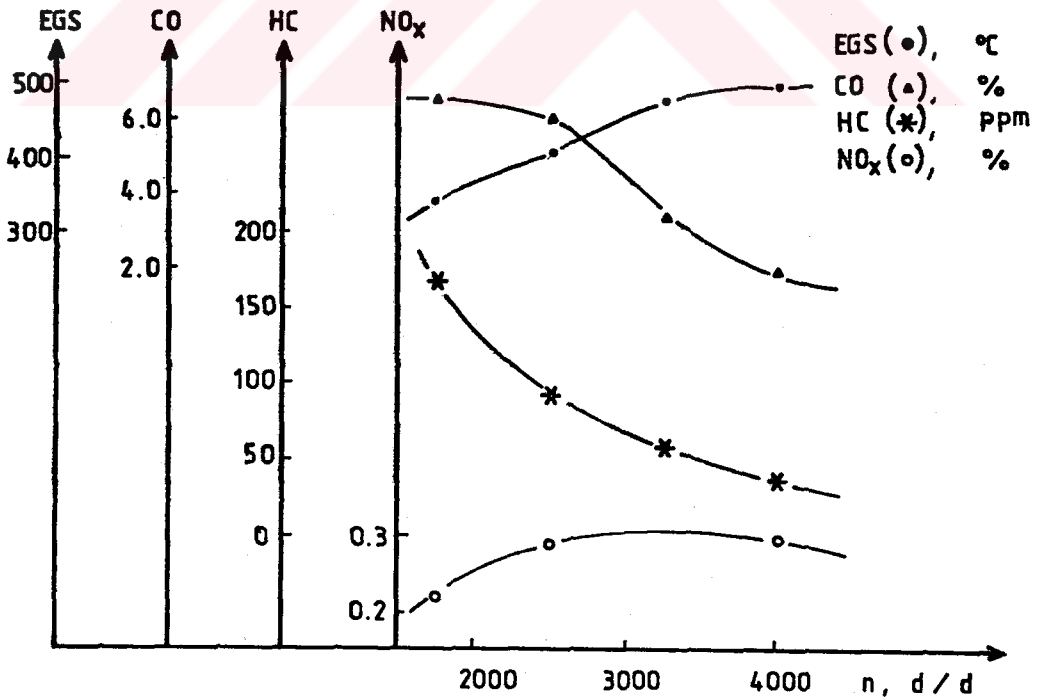
Şekil 3-3-2 B_4 için $GKA=1/3$ Değerinde Motor Karakteristikleri.



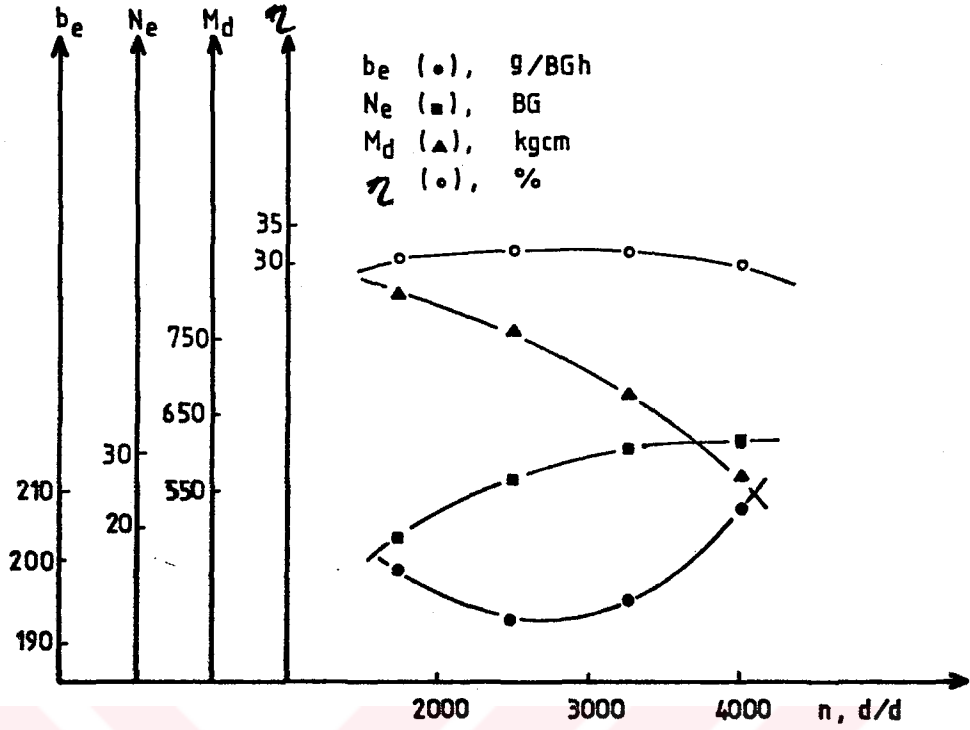
Şekil 3-3-3 B_4 için $GKA=1/3$ Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.



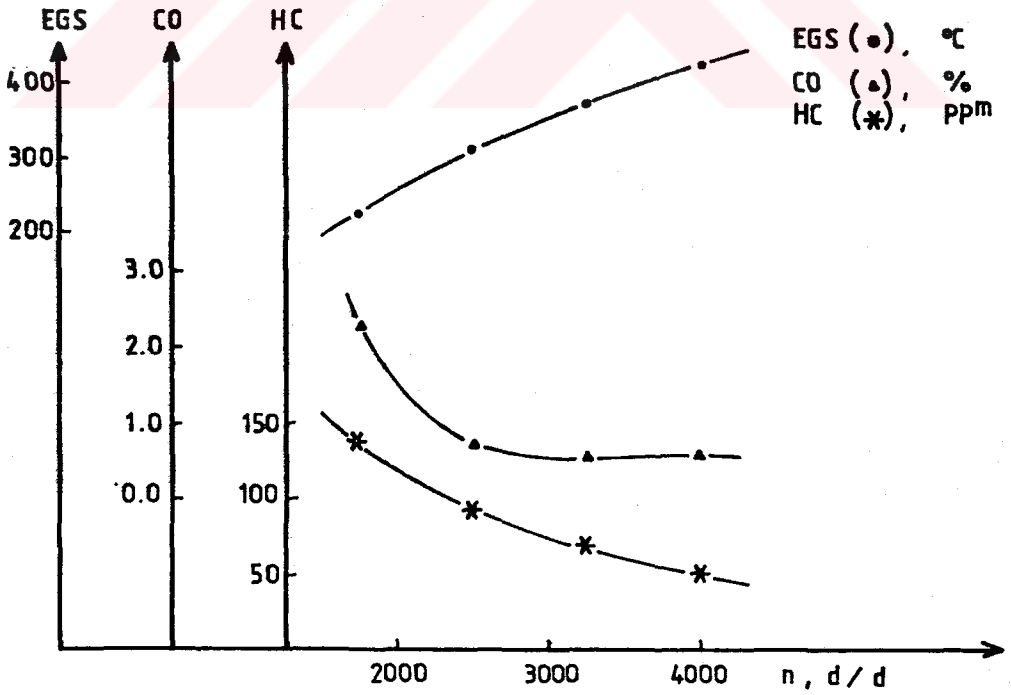
Şekil 3-3-4 B_4 için $GKA=2/3$ Değerinde Motor Karakteristikleri.



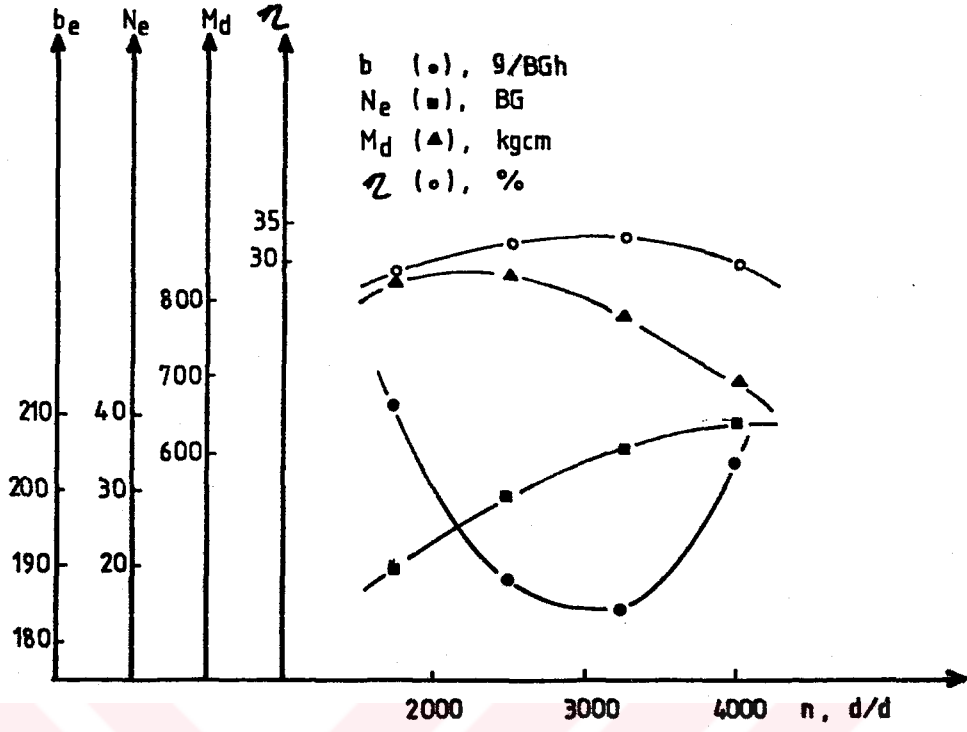
Şekil 3-3-5 B_4 için $GKA=2/3$ Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.



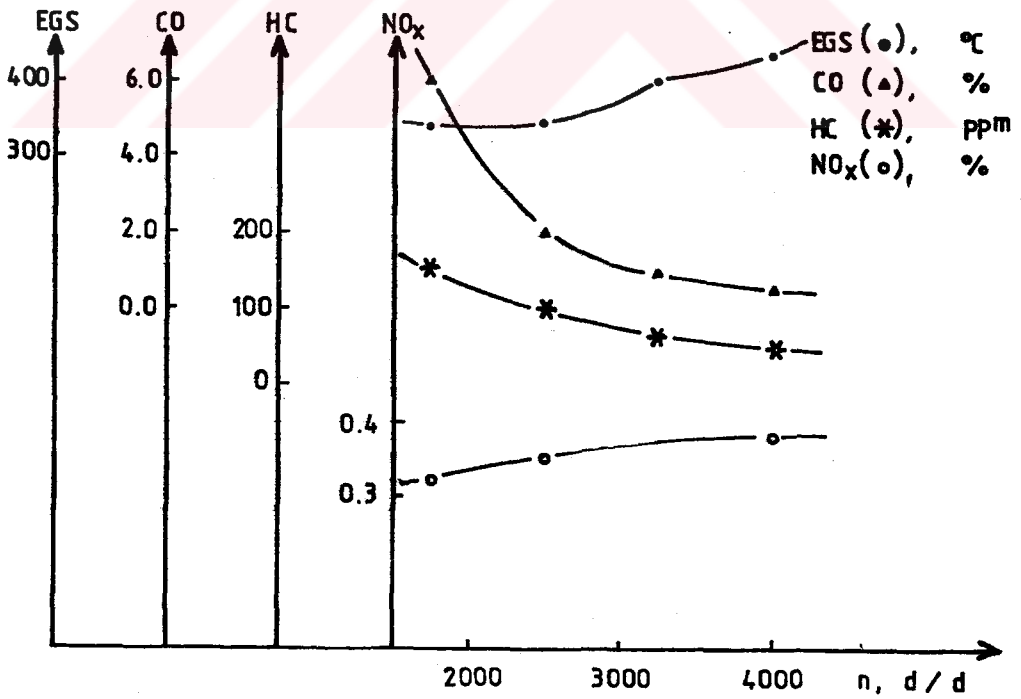
Şekil 3-3-6 T_B için $GKA=1/3$ Değerinde Motor Karakteristikleri.



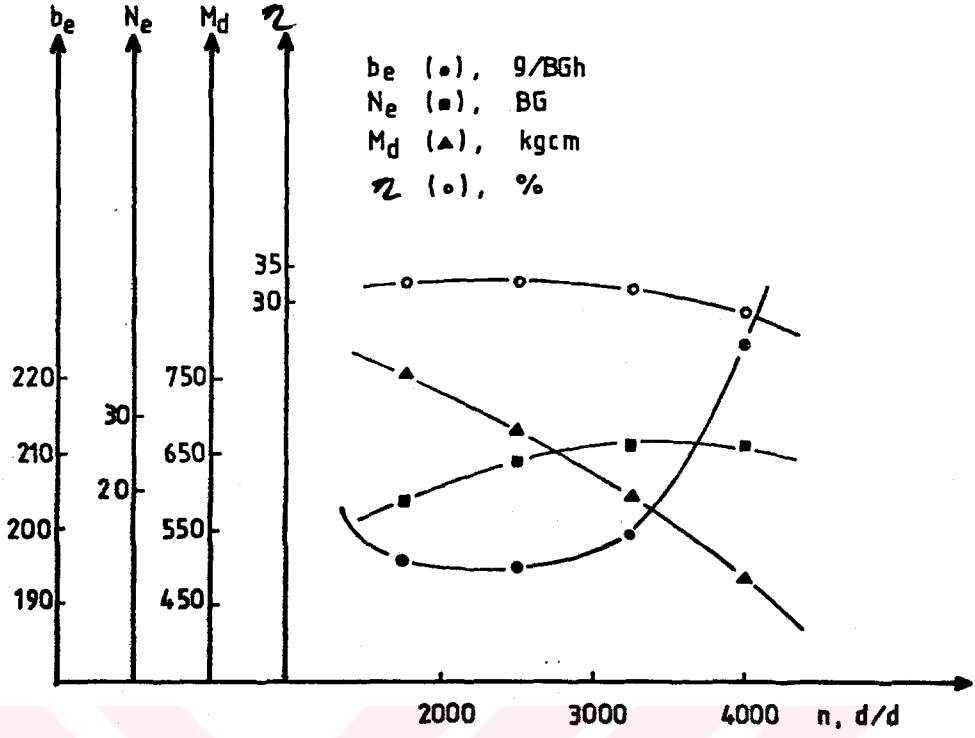
Şekil 3-3-7 T_B için $GKA=1/3$ Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi,



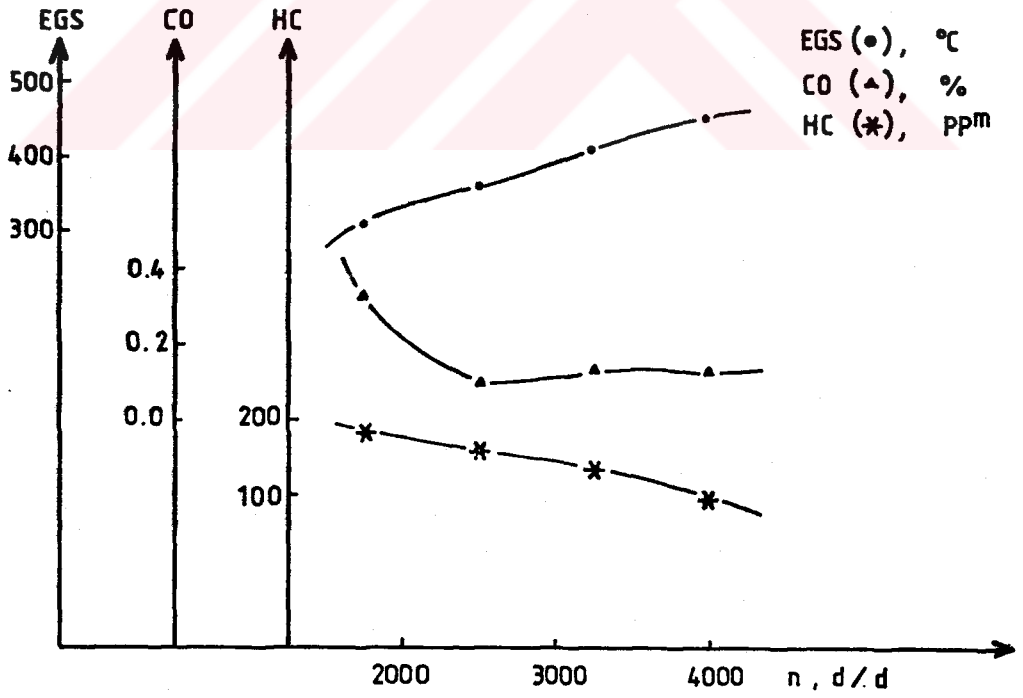
Şekil 3-3-8 T_B için $GKA=2/3$ Değerinde Motor Karakteristikleri.



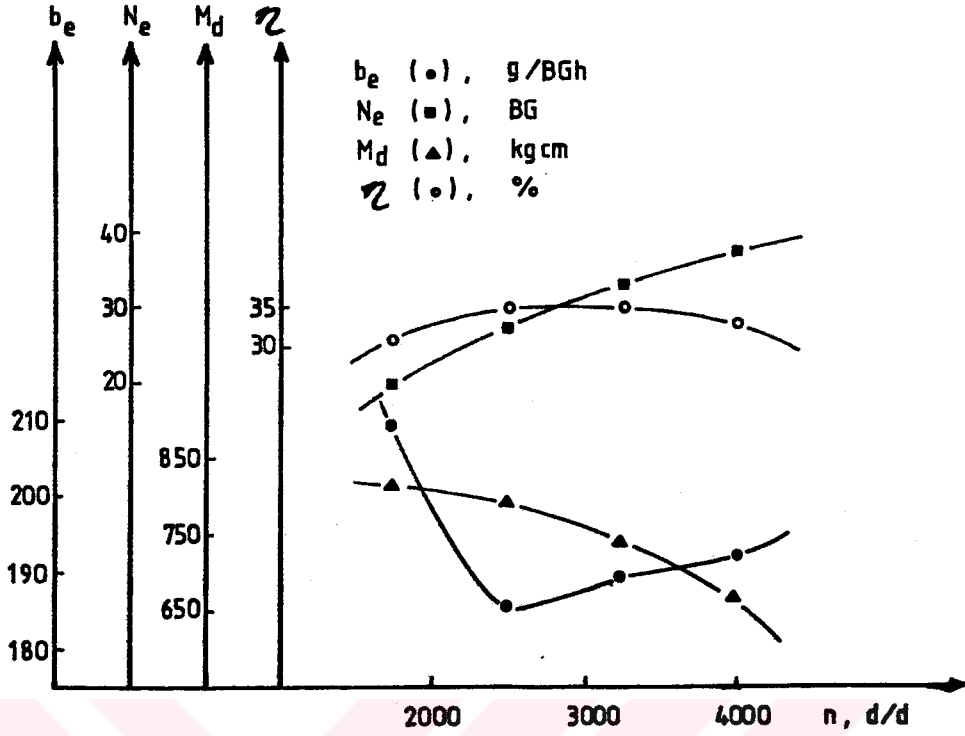
Şekil 3-3-9 T_B için $GKA=2/3$ Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.



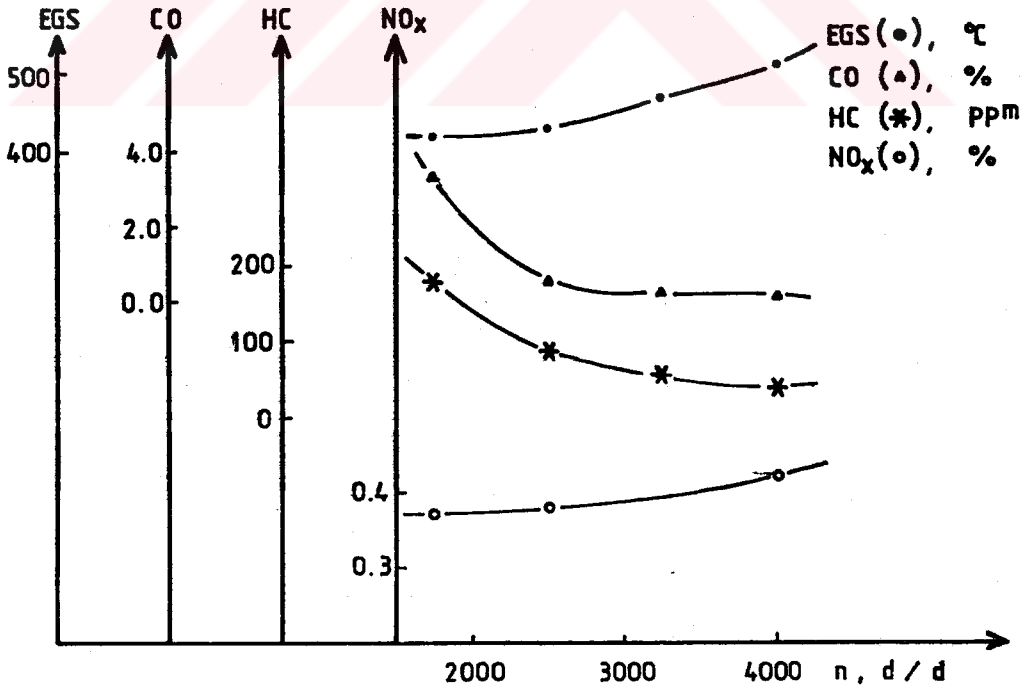
Şekil 3-3-10 1E10 için GKA=1/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



Şekil 3-3-11 1E10 için GKA=1/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.



Şekil 3-3-12 1E10 için GKA=2/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



Şekil 3-3-13 1E10 için GKA=2/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.

Tablo 3-3-6 3E10 için Motor Deneyi Sonuçları.

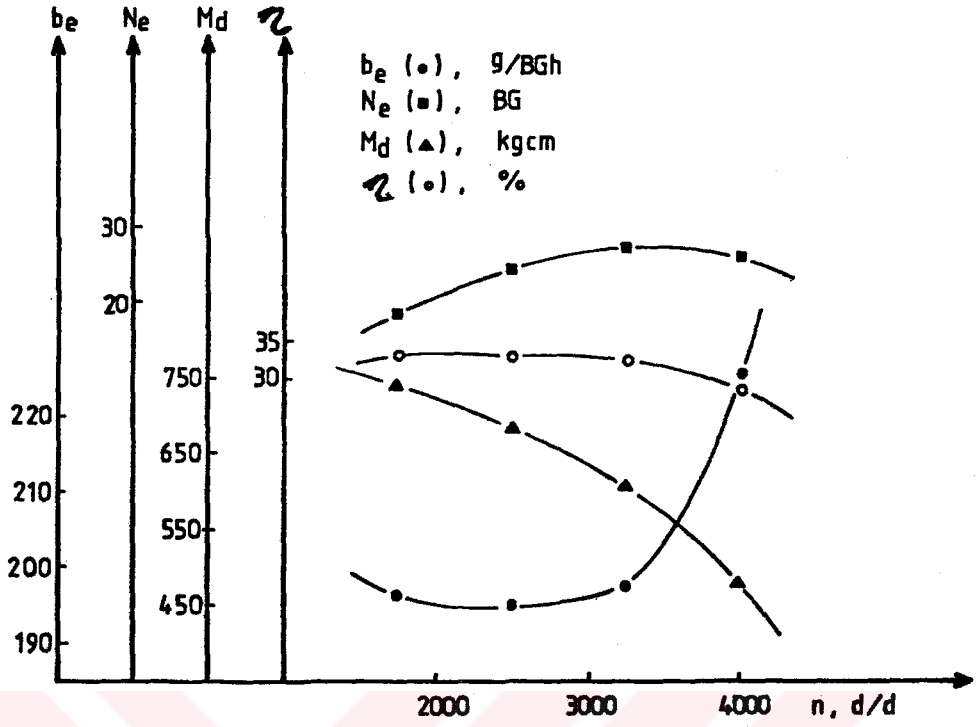
GKA	n (d/d)	t (s)	P (kg)	T _{ss} (°C)	b _e (g/BGh)	N _e (BG)	M _d (kgm)	η (%)
1/3	1750	111	10.45	63	196.1	18.3	748.2	32.4
	2500	85	9.60	68	195.1	24.0	687.4	32.5
	3250	74	8.40	70	197.1	27.3	601.4	32.2
	4000	66	6.70	72	225.1	26.8	479.7	28.2
2/3	1750	96	11.45	75	206.9	20.0	819.8	30.6
	2500	76	11.20	75	187.1	28.0	801.9	33.9
	3250	64	10.15	76	188.6	33.0	726.7	33.7
	4000	54	9.20	77	200.3	36.8	658.7	31.7

Tablo 3-3-7 1E20 için Motor Deneyi Sonuçları.

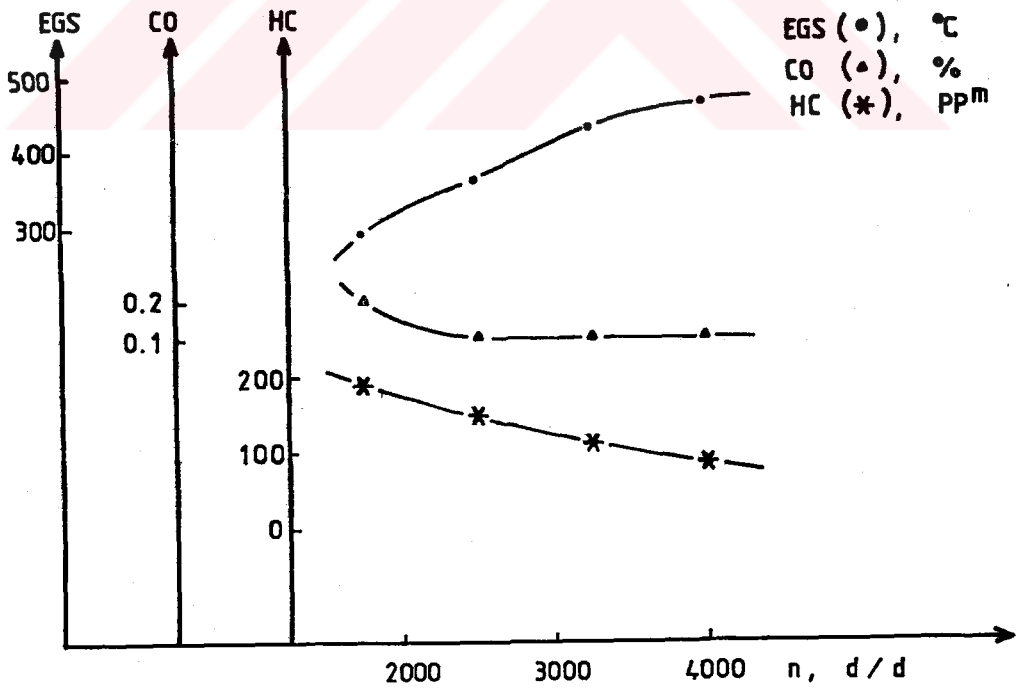
GKA	n (d/d)	t (s)	P (kg)	T _{ss} (°C)	b _e (g/BGh)	N _e (BG)	M _d (kgm)	η (%)
1/3	1750	100	10.65	67	216.2	18.6	762.5	30.7
	2500	84	9.55	70	201.1	23.9	683.8	33.1
	3250	70	8.45	70	209.7	27.5	605.0	31.8
	4000	62	7.00	72	232.1	28.0	501.2	28.6
2/3	1750	100	11.45	74	201.1	20.0	819.8	33.0
	2500	76	10.75	76	197.3	26.9	769.7	33.7
	3250	65	9.70	75	196.6	31.5	694.5	33.8
	4000	54	9.10	75	205.0	36.4	651.6	32.4

Tablo 3-3-8 3E20 için Motor Deneyi Sonuçları.

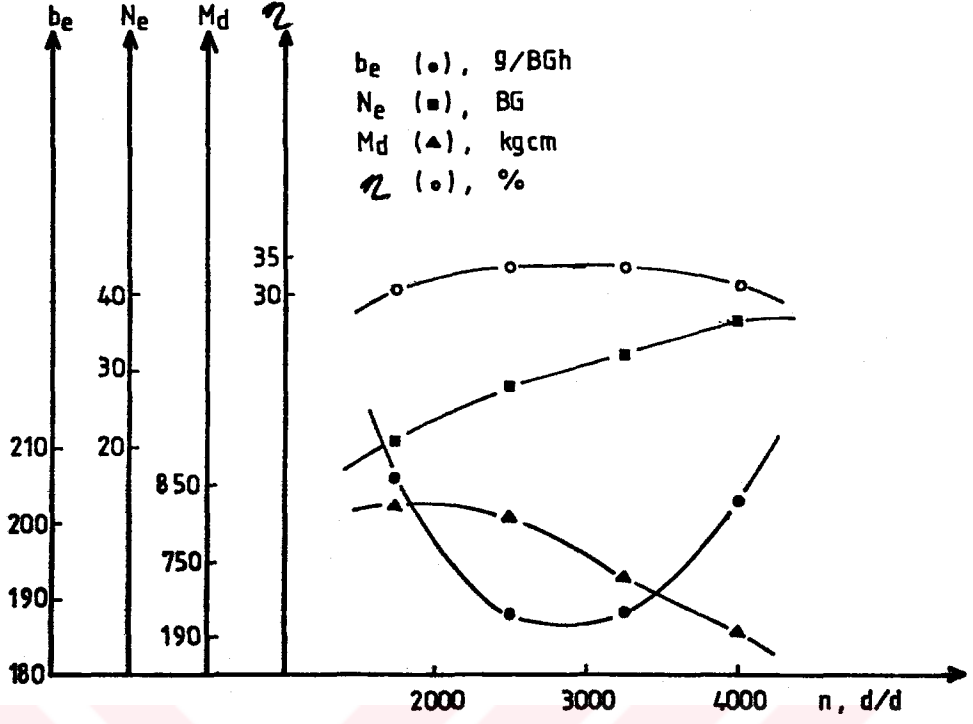
GKA	n (d/d)	t (s)	P (kg)	T _{ss} (°C)	b _e (g/BGh)	N _e (BG)	M _d (kgm)	η (%)
1/3	1750	103	10.10	65	223.1	17.7	723.2	30.1
	2500	86	9.10	68	206.8	22.8	651.6	32.4
	3250	74	7.90	69	212.9	25.7	565.6	31.4
	4000	65	6.30	70	247.0	25.2	451.1	27.0
2/3	1750	100	11.50	72	201.0	20.1	823.4	33.2
	2500	76	10.80	75	197.1	27.0	773.3	33.9
	3250	63	9.90	75	199.4	32.2	709.0	33.5
	4000	54	8.65	75	216.5	34.6	619.3	30.8



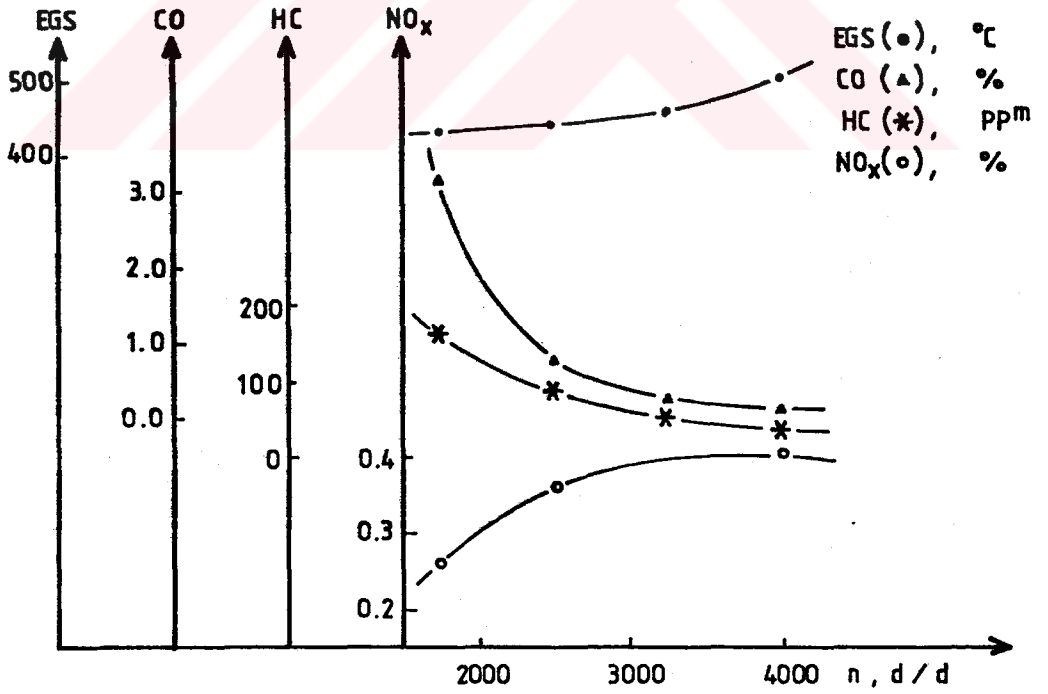
Şekil 3-3-14 3E10 için GKA=1/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



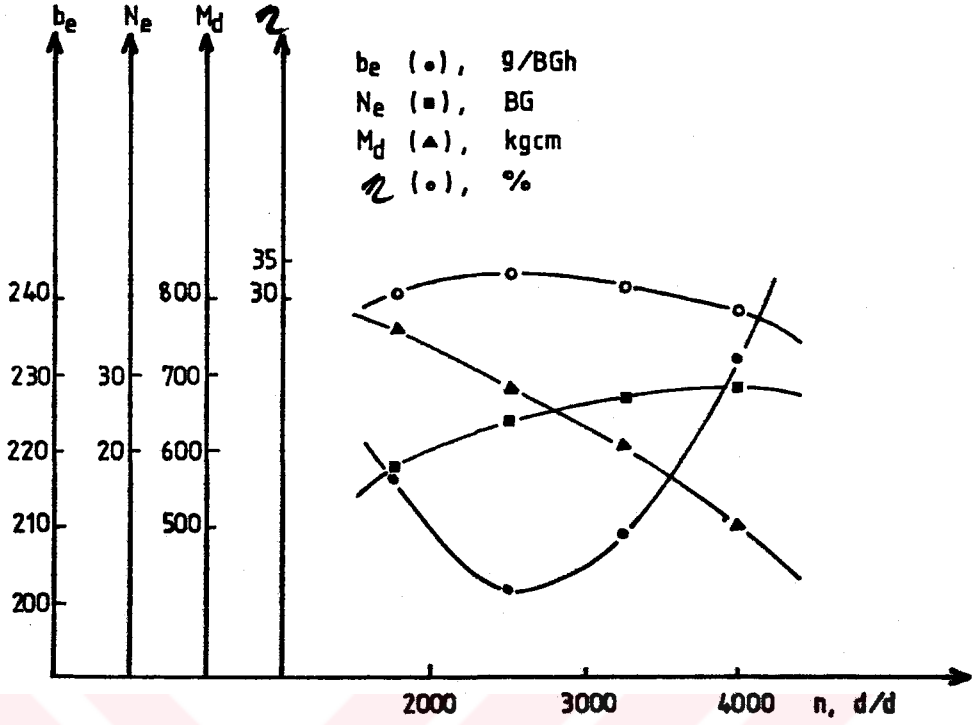
Şekil 3-3-15 3E10 için GKA=1/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu, Değişimi.



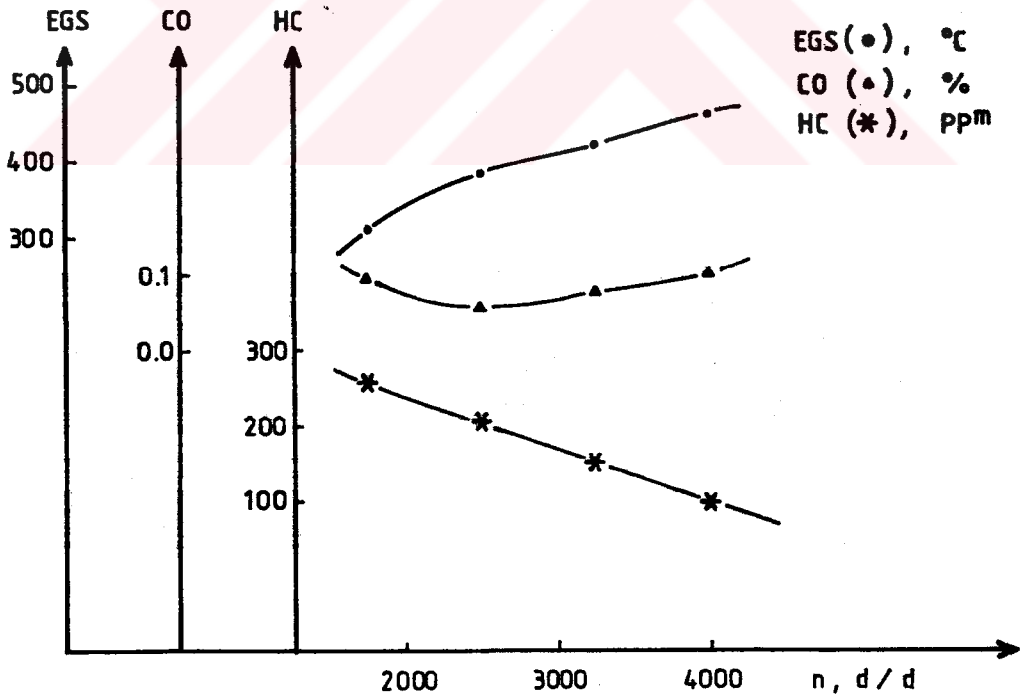
Şekil 3-3-16 3E10 için GKA=2/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



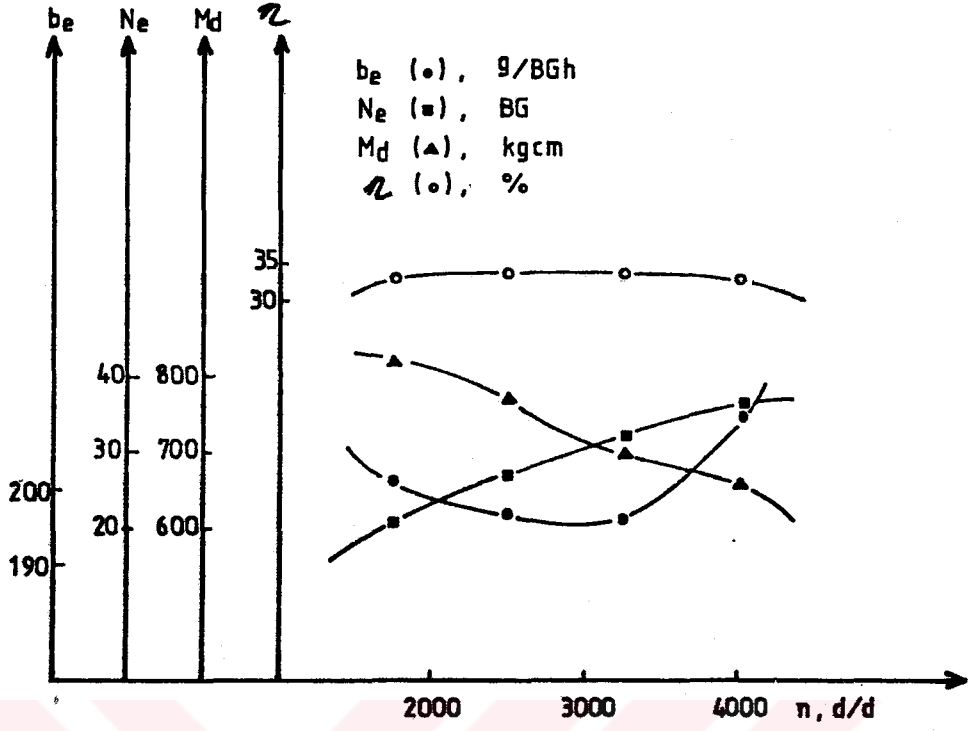
Şekil 3-3-17 3E10 için GKA=2/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.



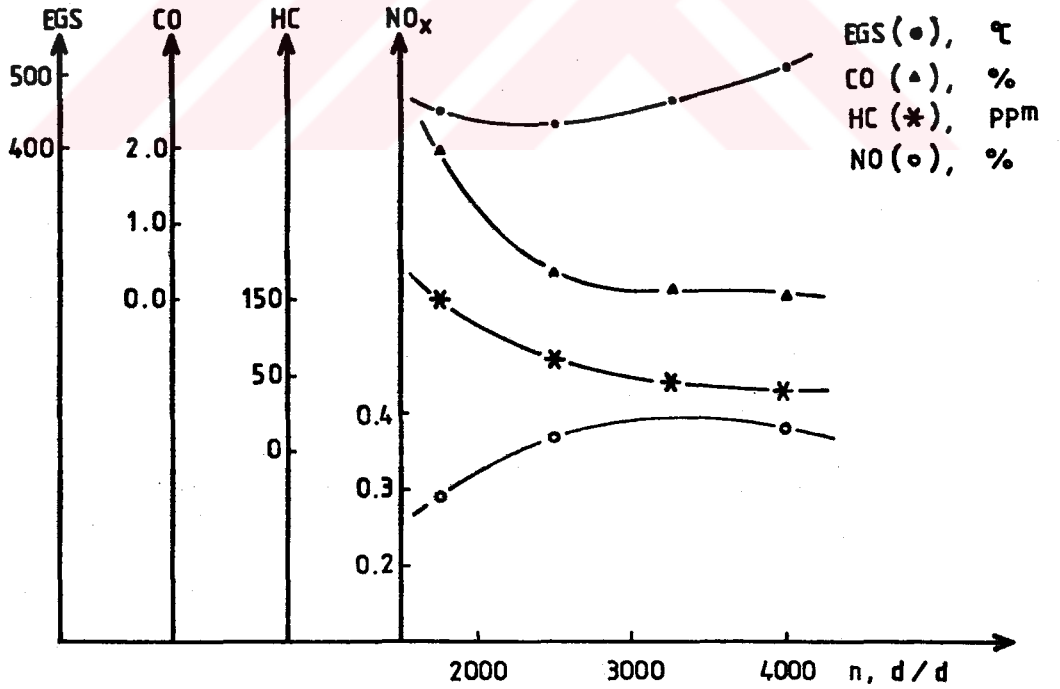
Şekil 3-3-18 1E20 için GKA=1/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



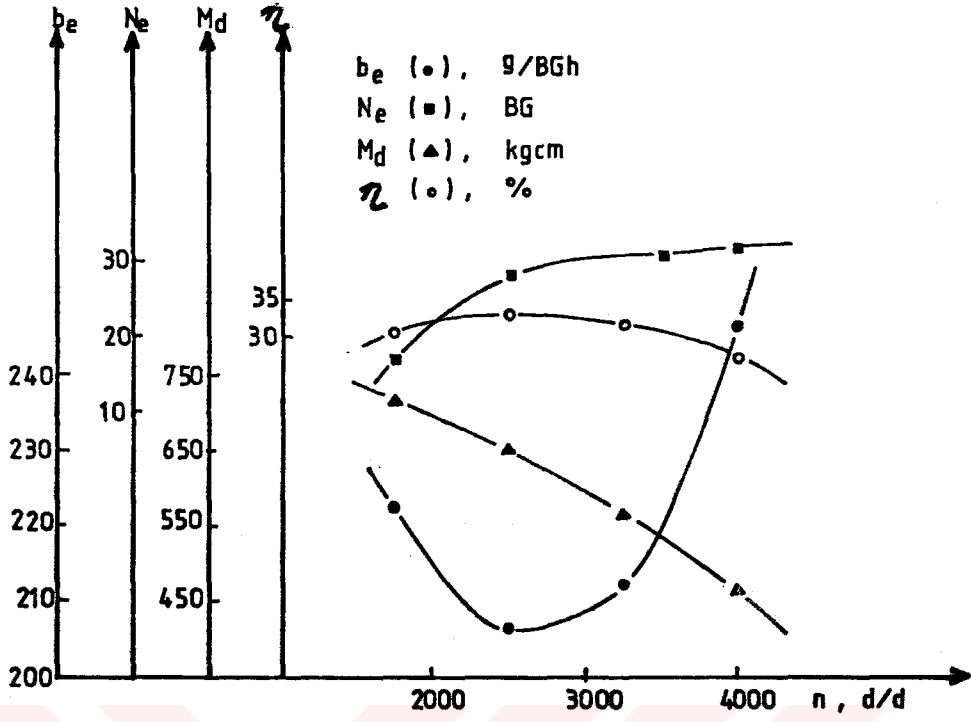
Şekil 3-3-19 1E20 için GKA=1/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.



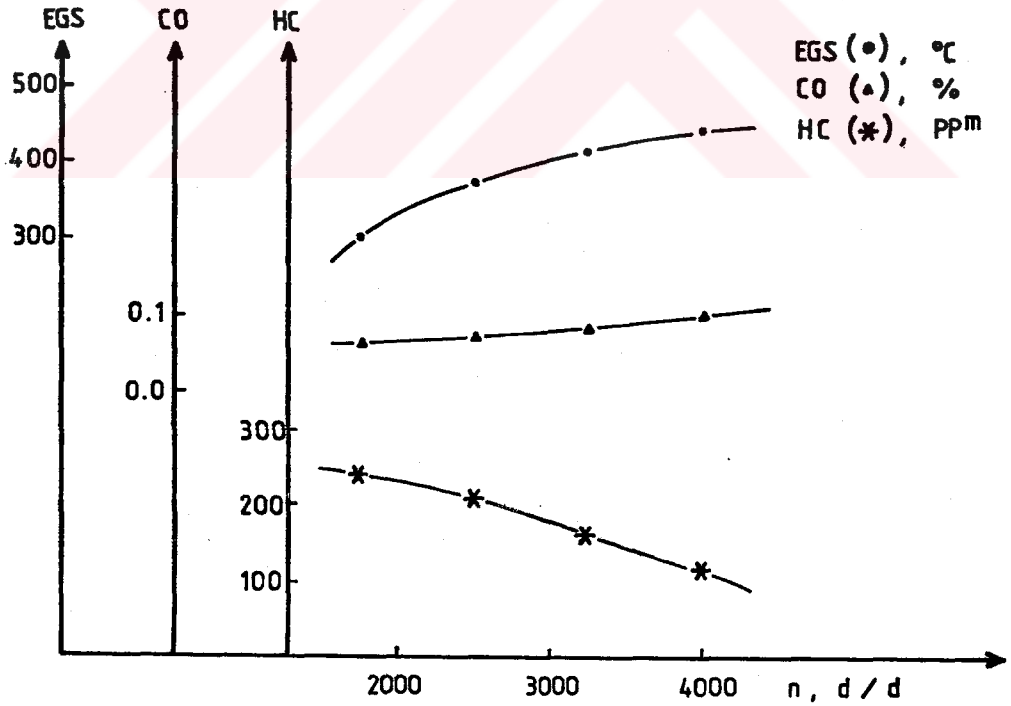
Şekil 3-3-20 1E20 için GKA=2/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



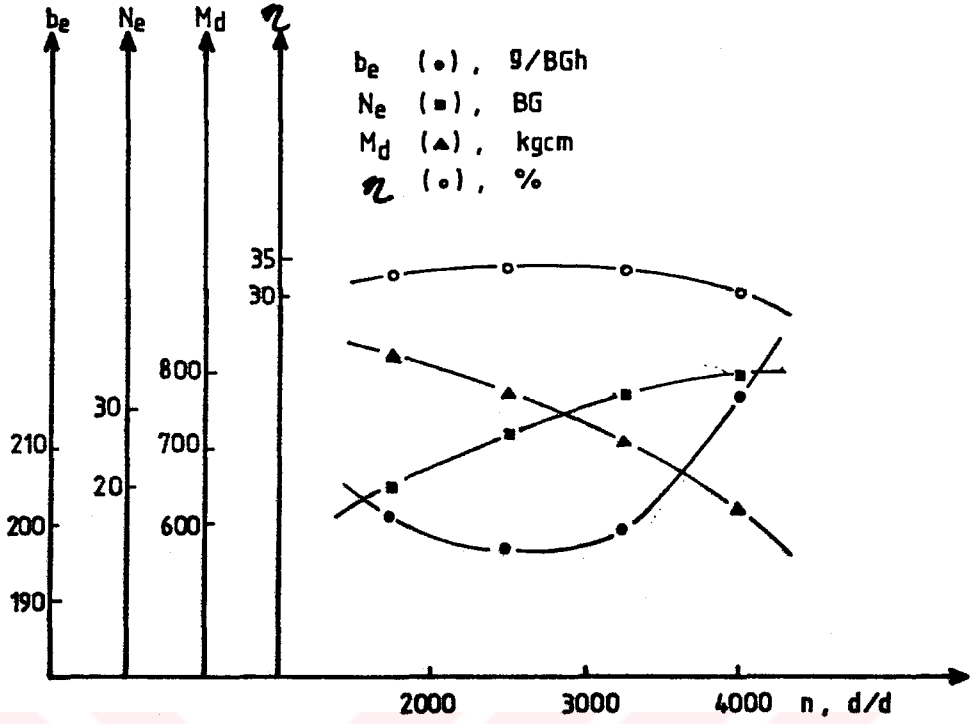
Şekil 3-3-21 1E20 için GKA=2/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.



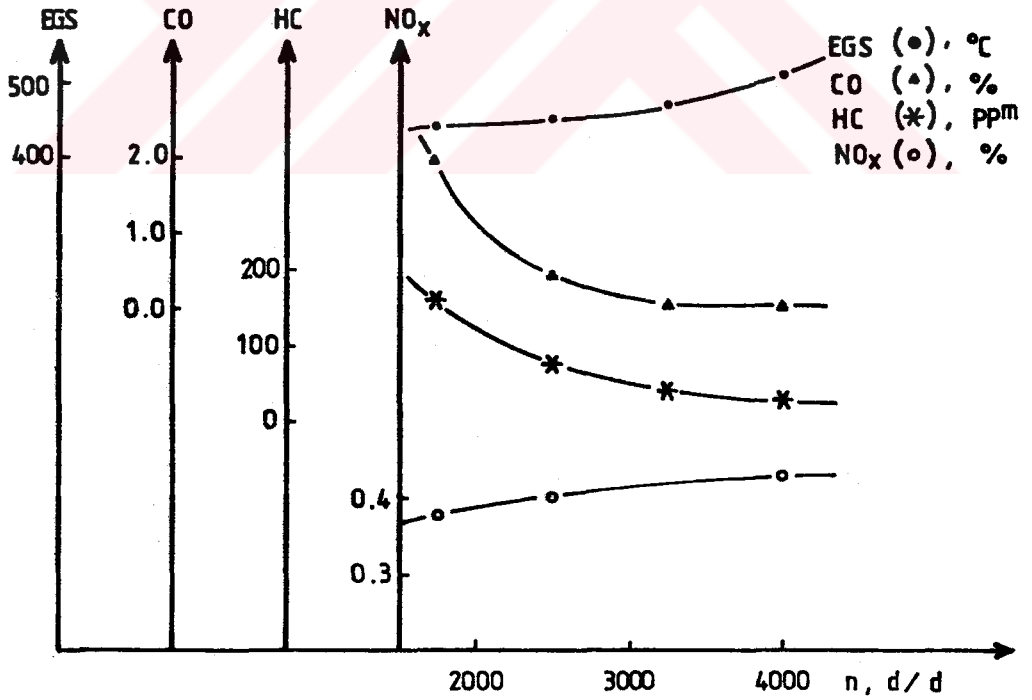
Şekil 3-3-22 3E20 için GKA=1/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



Şekil 3-3-23 3E20 için GKA=1/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.



Şekil 3-3-24 3E20 için GKA=2/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



Şekil 3-3-25 3E20 için GKA=2/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.

Tablo-3-3-9 1M15 için Motor Deneyi Sonuçları.

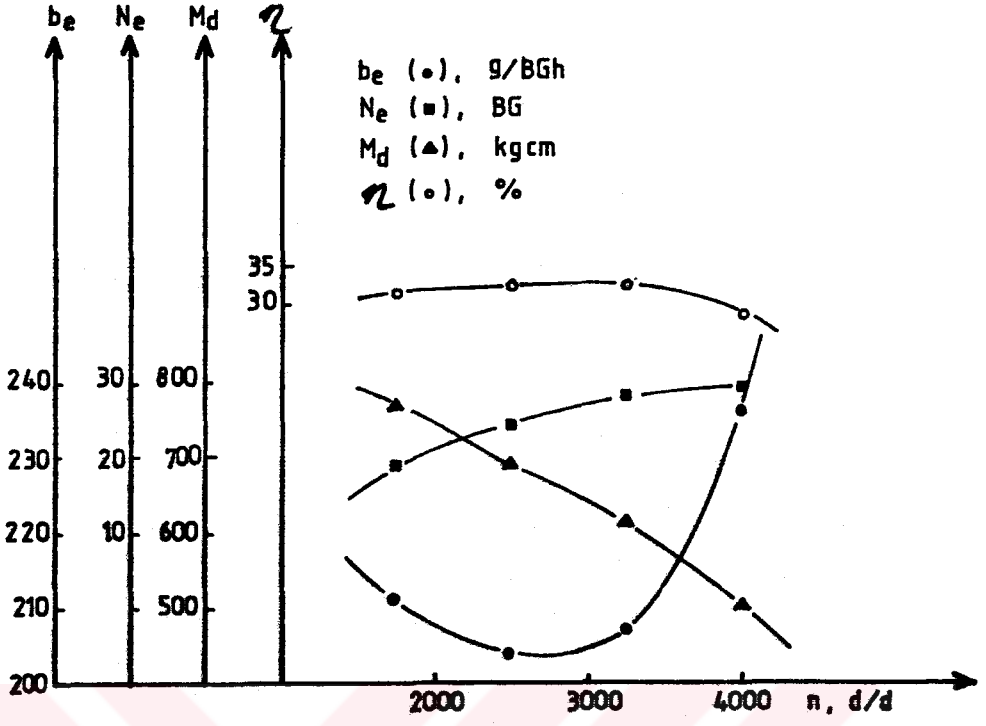
GKA	n (d/d)	t (s)	P (kg)	T _{ss} (°C)	b _e (g/BGh)	N _e (BG)	M _d (kgm)	η (%)
1/3	1750	100	10.85	63	210.5	19.0	776.9	31.7
	2500	80	9.75	69	205.0	24.4	698.9	32.5
	3250	69	8.60	68	207.3	28.0	615.8	32.2
	4000	60	7.05	70	236.2	28.2	504.3	28.2
2/3	1750	95	11.45	72	210.0	20.0	819.8	31.7
	2500	74	11.10	74	194.7	27.8	794.8	34.3
	3250	62	10.10	74	196.4	32.8	723.2	33.9
	4000	51	9.00	74	217.7	36.0	644.4	30.6

Tablo 3-3-10 3M15 için Motor Deney Sonuçları.

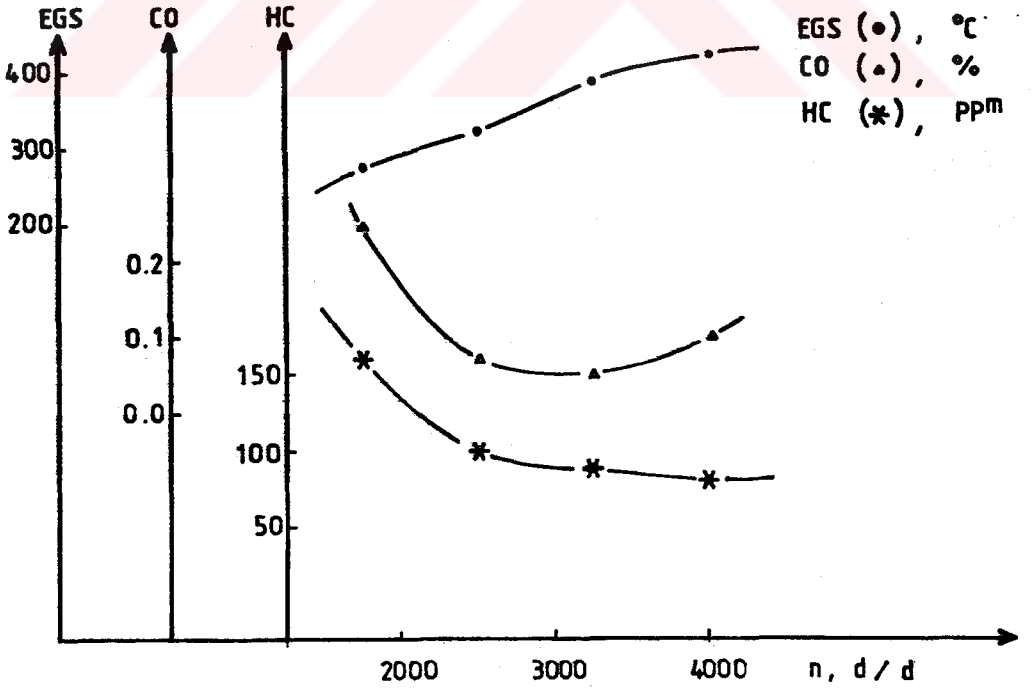
GKA	n (d/d)	t (s)	P (kg)	T _{ss} (°C)	b _e (g/BGh)	N _e (BG)	M _d (kgm)	η (%)
1/3	1750	103	10.00	64	222.0	17.5	716.0	30.0
	2500	82	9.50	69	205.9	23.7	680.4	32.3
	3250	72	7.80	69	219.3	25.4	558.5	30.5
	4000	64	6.15	69	254.2	24.6	440.3	26.3
2/3	1750	95	11.40	72	211.2	20.0	816.2	31.7
	2400	73	10.95	74	200.3	27.4	784.0	33.3
	3250	62	9.95	74	199.7	32.3	712.4	33.4
	4000	53	8.80	74	214.5	35.2	630.1	31.1

Tablo 3-3-11 1M20 için Motor Deneyi Sonuçları.

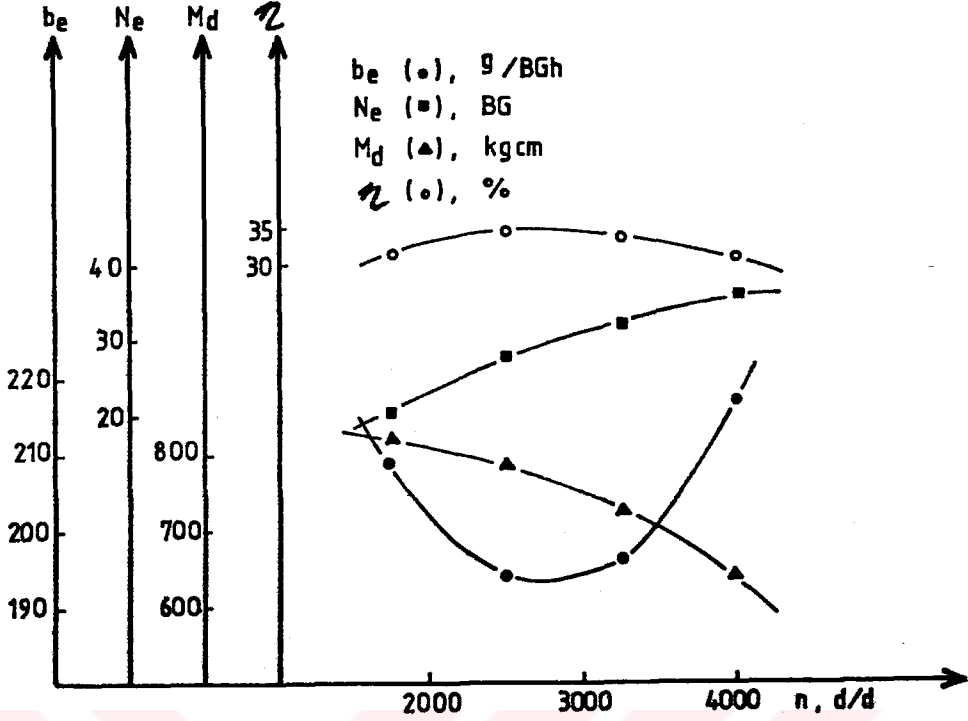
GKA	n (d/d)	t (s)	P (kg)	T _{ss} (°C)	b _e (g/BGh)	N _e (BG)	M _d (kgm)	η (%)
1/3	1750	101	10.30	60	220.4	18.0	737.5	31.2
	2500	83	9.40	65	205.8	23.5	673.2	33.4
	3250	69	8.10	69	221.0	26.3	580.0	31.1
	4000	61	6.50	69	253.0	26.0	465.4	27.2
2/3	1750	93	11.40	70	216.3	20.0	816.2	31.9
	2500	72	11.00	73	202.7	27.5	787.6	33.9
	3250	62	10.00	74	199.0	32.5	716.0	34.5
	4000	51	8.90	73	221.0	35.6	637.2	31.1



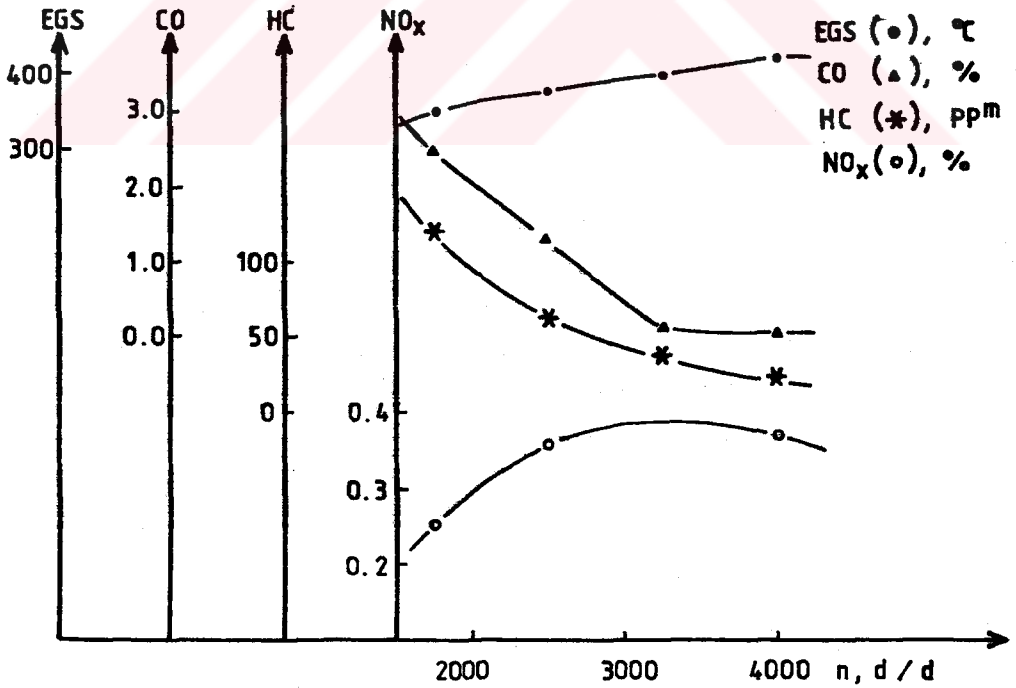
Şekil 3-3-26 TM15 için GKA=1/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



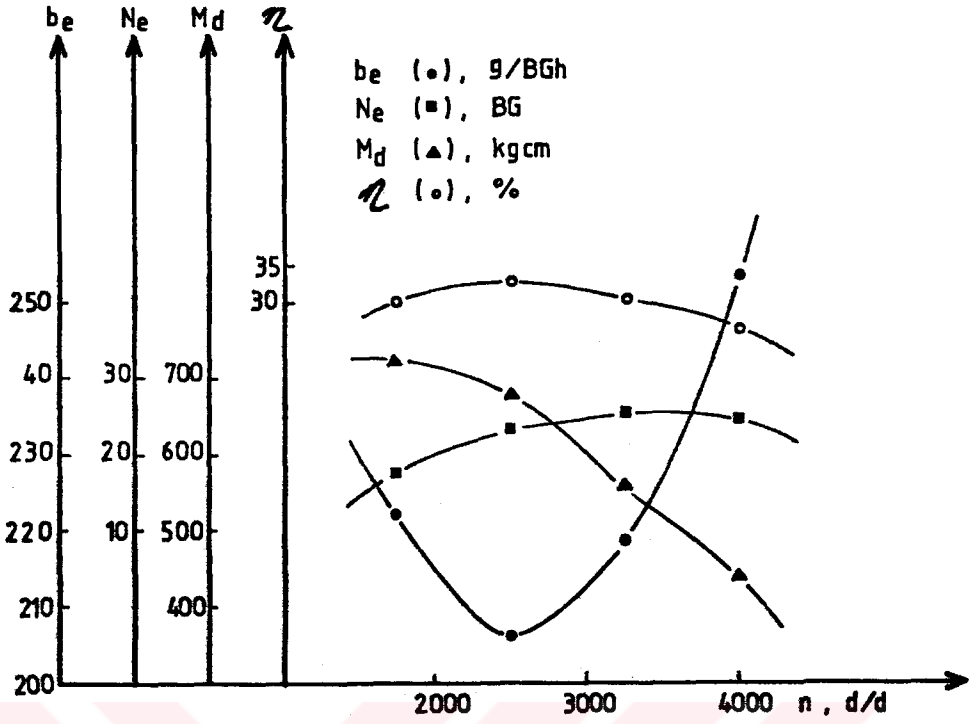
Şekil 3-3-27 TM15 için GKA=1/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.



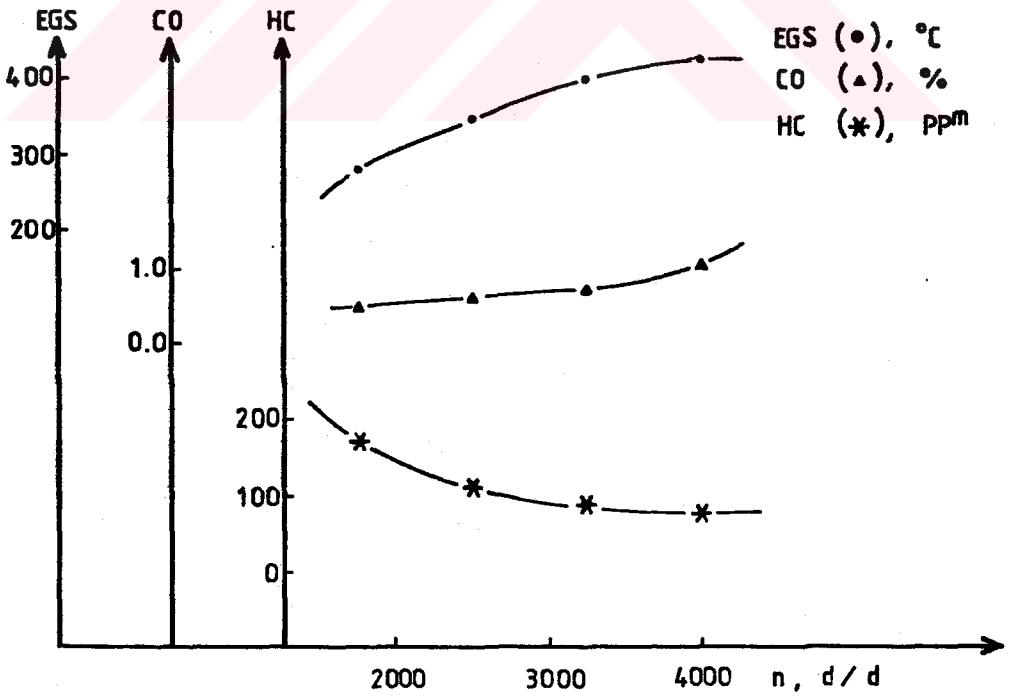
Şekil 3-3-28 1M15 için GKA=2/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



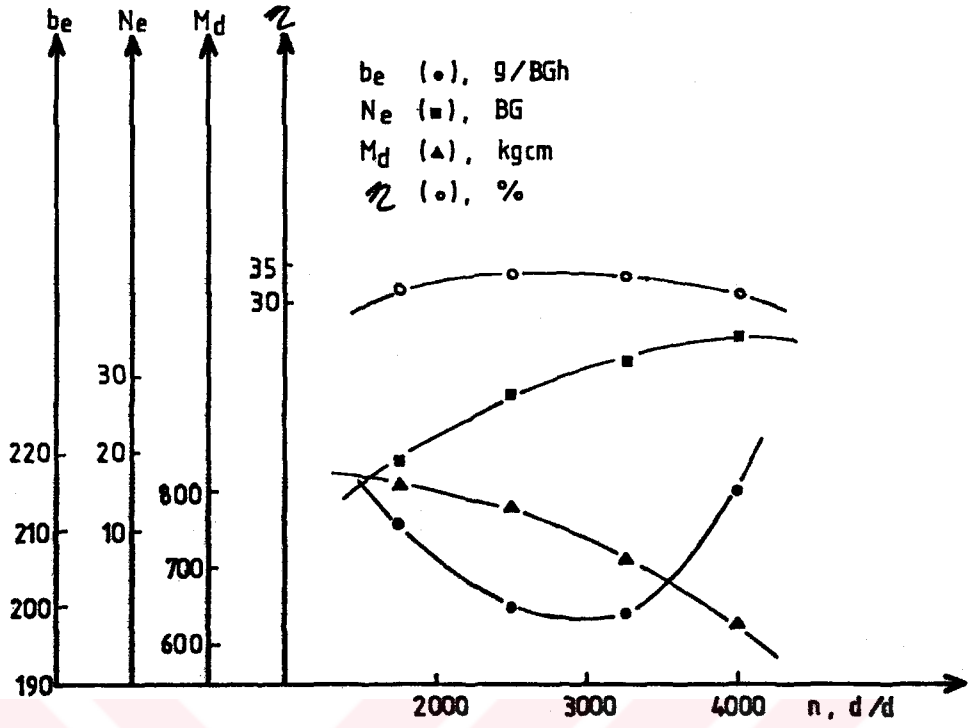
Şekil 3-3-29 1M15 için GKA=2/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.



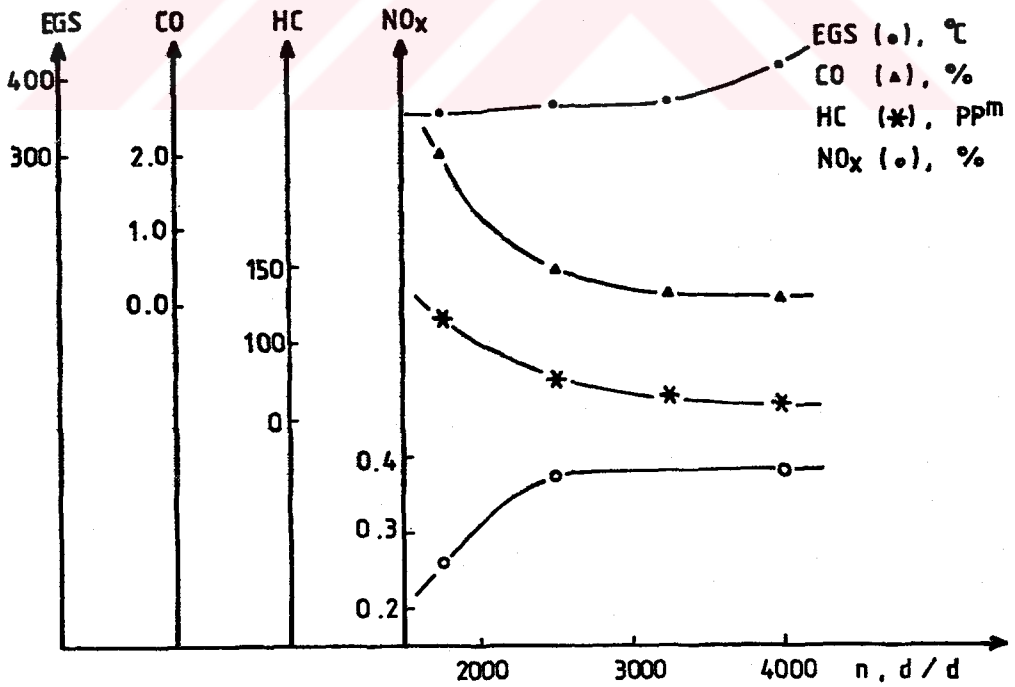
Şekil 3-3-30 3M15 için GKA=1/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



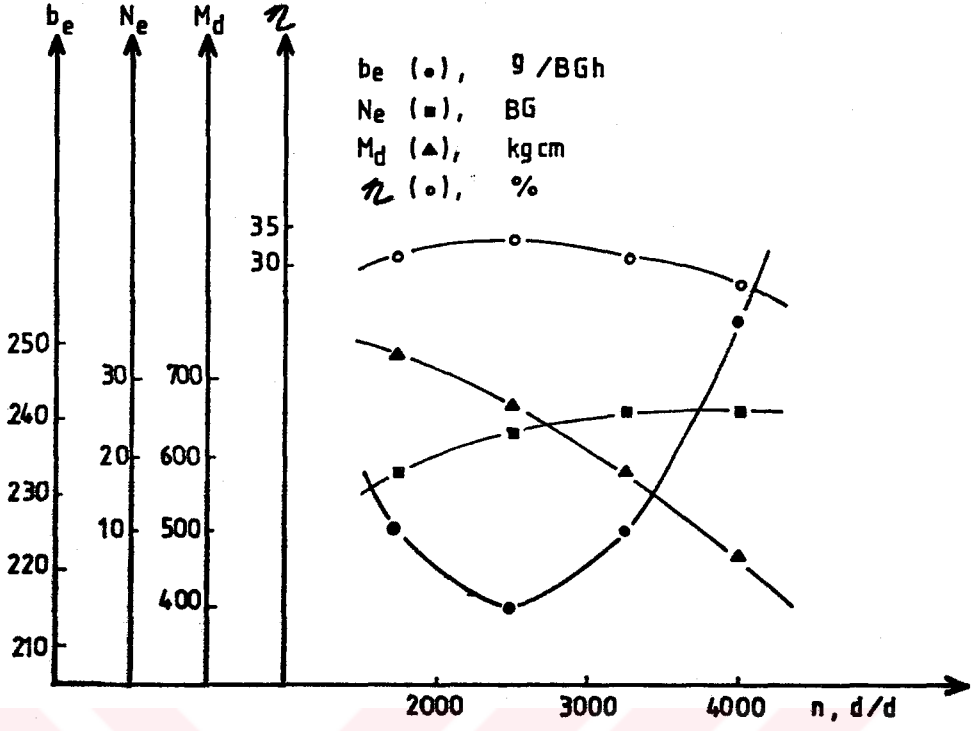
Şekil 3-3-31 3M15 için GKA=1/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.



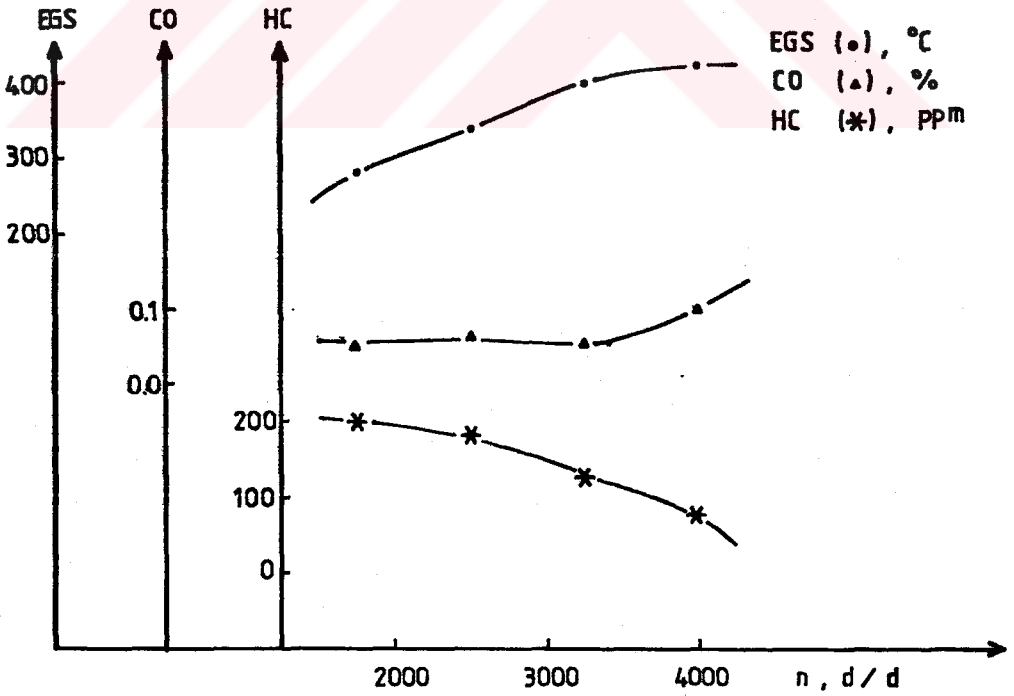
Şekil 3-3-32 3M15 için GKA=2/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



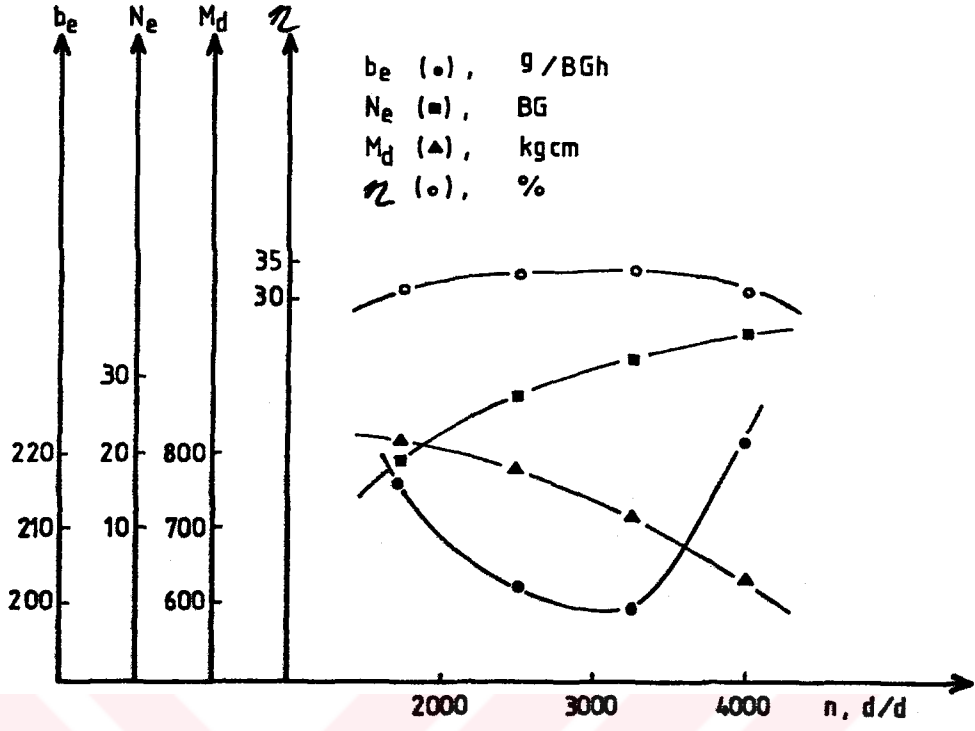
Şekil 3-3-33 3M15 için GKA=2/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.



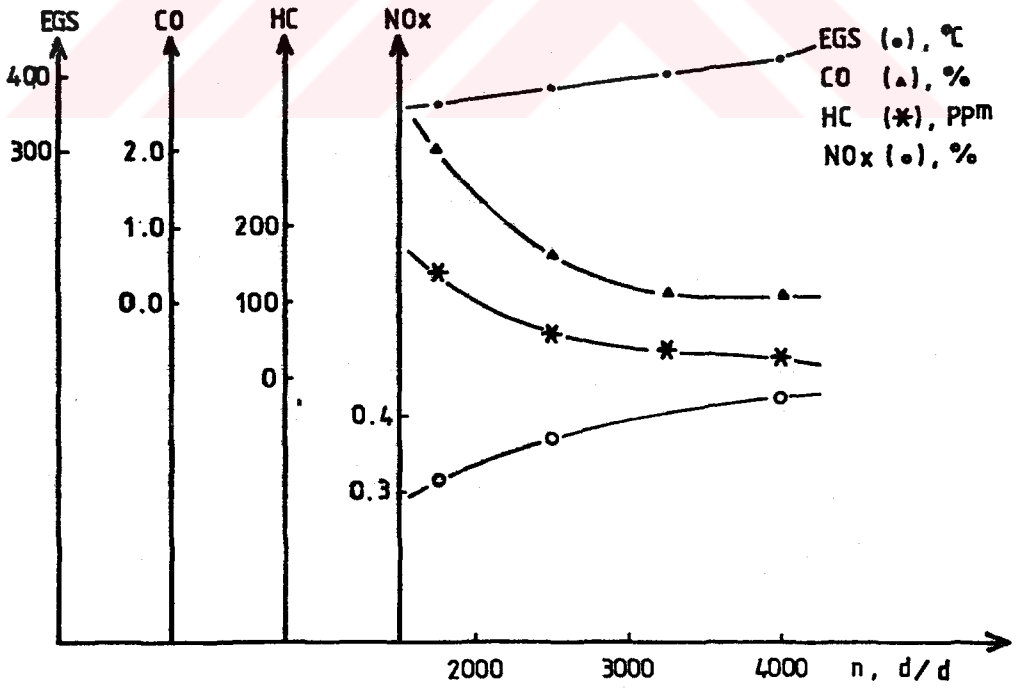
Şekil 3-3-34 1M20 için GKA=1/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



Şekil 3-3-35 1M20 için GKA=1/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.



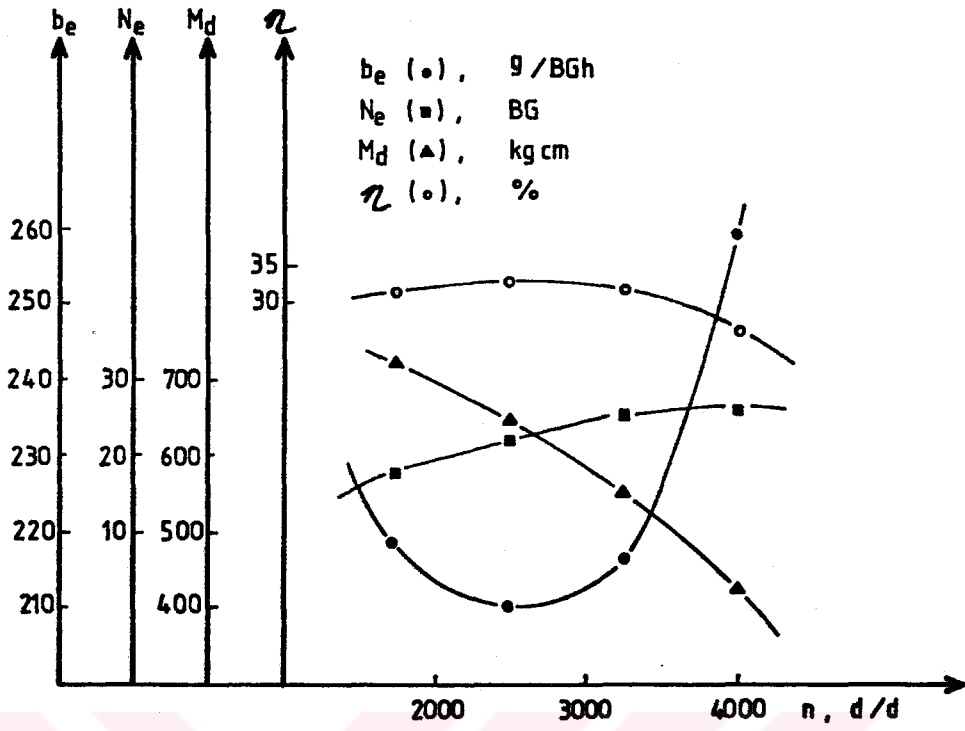
Şekil 3-3-36 1M20 için GKA=2/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



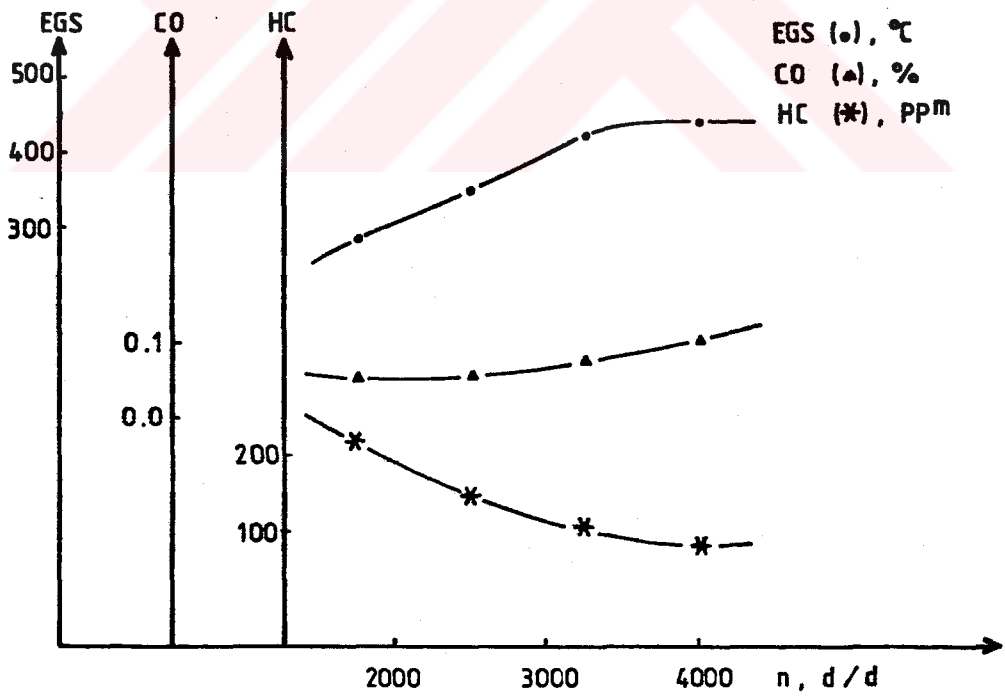
Şekil 3-3-37 1M20 için GKA=2/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.

Tablo 3-3-12 3M20 için Motor Deneyi Sonuçları.

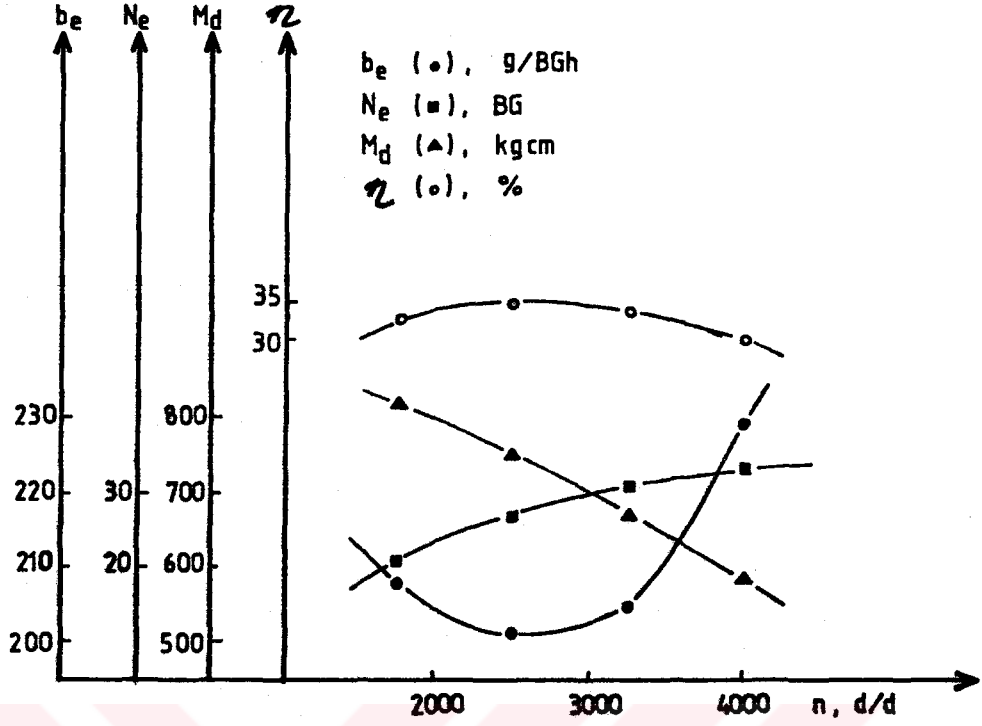
GKA	n (d/d)	t (s)	P (kg)	T _{ss} (°C)	b _e (g/BGh)	N _e (BG)	M _d (kgm)	η (%)
1/3	1750	104	10.10	60	218.6	17.7	723.2	31.5
	2500	85	9.00	65	210.2	22.5	644.4	32.8
	3250	74	7.70	66	217.0	25.0	551.3	31.7
	4000	65	5.95	68	259.8	23.8	426.0	26.5
2/3	1750	96	11.45	72	209.0	20.0	819.8	32.9
	2500	76	10.50	74	201.5	26.3	751.8	34.2
	3250	65	9.30	73	204.7	30.2	665.9	33.6
	4000	53	8.25	73	229.8	33.0	590.7	30.0



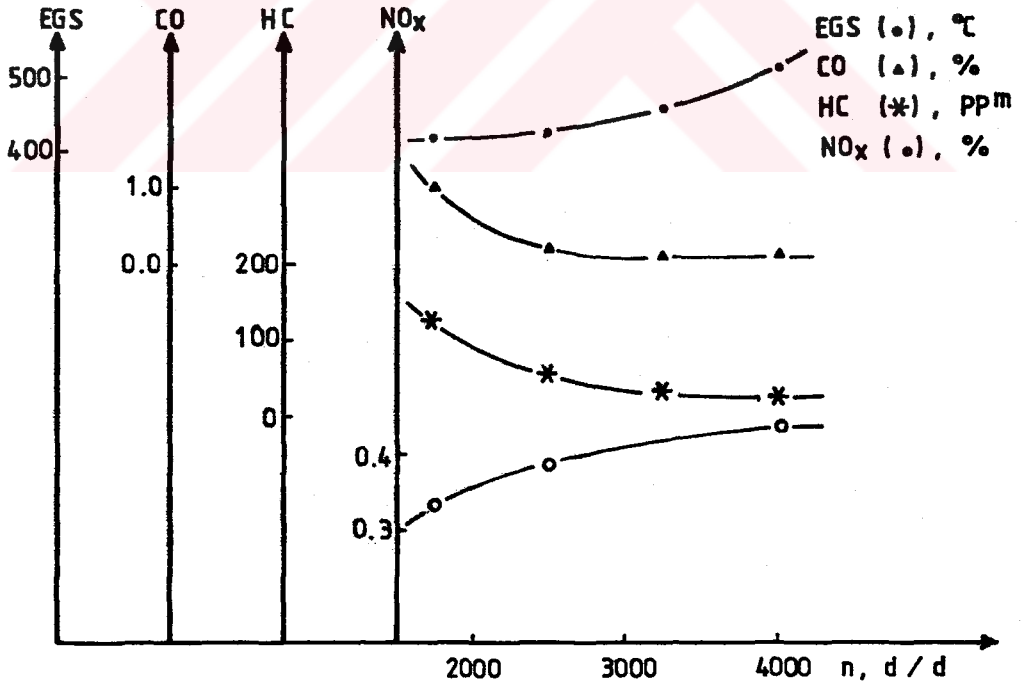
Şekil 3-3-38 3M20 için GKA=1/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



Şekil 3-3-39 3M20 için GKA=1/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.



Şekil 3-3-40 3M20 için GKA=2/3 Değerinde Motor Karakteristikleri.



Şekil 3-3-41 3M20 için GKA=2/3 Değerinde EGS ve Egzoz Emisyonu Değişimi.

Tablo 3-3-13 Tüm Yakıtlarda Motor Karakteristikleri İçin Toplu Değerlendirme, (GKA=1/3).

YAKIT	Minimum b_e		Maksimum N_e		Maksimum M_d		Maksimum, η	
	n, d/d	b_e , g/BGh	n, d/d	N_e , BG	n, d/d	M_d , kgm	n, d/d	η , %
B4	2500	187.7	4000	31.6	1750	791.2	2500	32.3
TB	2500	193.2	4000	31.6	1750	801.9	2500	31.5
1E10	2500	195.0	3250	27.0	1750	755.4	2500	32.5
3E10	2500	195.1	3250	27.3	1750	748.2	2500	32.5
1E20	2500	201.1	4000	28.0	1750	762.5	2500	33.1
3E20	2500	206.8	3250	25.7	1750	723.2	2500	32.4
1M15	2500	205.0	4000	28.2	1750	776.9	2500	32.5
3M15	2500	205.9	3250	25.4	1750	716.0	2500	32.3
1M20	2500	205.8	3250	26.3	1750	737.5	2500	33.4
3M20	2500	210.2	3250	25.0	1750	723.2	2500	32.8

Tablo 3-3-14 Tüm Yakıtlarda Motor Karakteristikleri İçin Toplu Değerlendirme, (GKA=2/3).

YAKIT	Minimum b_e		Maksimum N_e		Maksimum M_d		Maksimum, η	
	n, d/d	b_e , g/BGh	n, d/d	N_e , BG	n, d/d	M_d , kgm	n, d/d	η , %
B4	3250	185.2	4000	38.0	1750	826.8	3250	32.7
TB	3250	184.1	4000	38.8	1750	812.7	3250	33.0
1E10	2500	185.9	4000	36.4	1750	816.2	3250	34.5
3E10	2500	187.1	4000	36.8	1750	819.8	2500	34.9
1E20	3250	196.6	4000	36.4	1750	819.8	3250	33.8
3E20	2500	197.1	4000	34.6	1750	823.4	2500	33.9
1M15	2500	194.7	4000	36.0	1750	819.8	2500	34.3
1M15	3250	199.7	4000	35.2	1750	816.2	3250	33.4
1M20	3250	199.0	4000	35.6	1750	816.2	3250	34.5
3M20	2500	201.5	4000	33.0	1750	819.8	2500	33.6

Tablo 3-3-15 Alkollü Benzinlerin Motor Karakteristiklerinin B₄ Benzini ile Karşılaştırılması, (GKA=1/3).

YAKIT	n=2500 d/d için Min. be değerlerinde % Artma	n=4000 d/d için Maks. Ne değerlerinde % Azalma	n=1750 d/d için Maks. M _d değerlerinde %Azalma	n=2500 d/d için Maks. n değerlerinde % Artma
1E10	3.8	15.1	4.5	0.6
3E10	3.9	15.2	5.4	0.6
1E20	7.1	11.4	3.6	2.5
3E20	10.2	20.3	8.6	0.3
1M15	9.2	10.8	1.8	0.6
3M15	9.7	22.2	9.5	0.0
1M20	9.6	17.7	6.8	3.4
3M20	12.0	24.7	8.6	1.5

Tablo 3-3-16 Alkollü Benzinlerin Motor Karakteristiklerinin B₄ Benzini ile Karşılaştırılması, (GKA=2/3).

YAKIT	n=3250 d/d değerinde Min. be değerlerinde % Artma	n=4000 d/d değerinde Maks. Ne değerlerinde % Azalma	n=1750 d/d değerinde Maks. M _d değerlerinde %Azalma	n=3250 d/d değerinde Maks. n değerlerinde % Artma
1E10	2.4	1.6	1.3	2.1
3E10	1.8	3.2	0.9	3.1
1E20	6.2	4.2	0.9	3.4
3E20	7.7	8.9	0.5	2.4
1M15	6.0	5.3	0.9	3.7
3M15	7.8	7.4	1.3	2.1
1M20	7.5	6.3	1.3	5.5
3M20	10.5	13.2	0.9	2.8

Tablo 3-3-17 Tüm Yakıtlarda Rölanti Çalışması İçin Egzoz Gazı Emisyonu Değerleri, (n=1000 d/d).

YAKIT	Egzoz Gazı Ölçümleri		
	EGS (°C)	Egzoz gazı bileşimi	
		CO (%)	HC (ppm)
B4	65	9.0	900
TB	130	8.0	900
1E10	270	2.0	1400
3E10	290	2.0	1200
1E20	340	1.5	1600
3E20	320	1.5	1400
1M15	80	4.2	900
3M15	200	2.2	1200
1M20	160	2.5	1100
3M20	200	1.4	1800

Tablo 3-3-18 Benzin ve Alkollü Benzinlerde Çeşitli Dönme Sayılarında, Egzoz Gazı Sıcaklıkları ve Egzoz Gazı Emisyonlarının Değişimi, (GKA=1/3).

YAKIT	1750 d/d			2500 d/d			3250 d/d			4000 d/d		
	EGS (°C)	CO (%)	HC (ppm)	EGS (°C)	CO (%)	HC (ppm)	EGS (°C)	CO (%)	HC (ppm)	EGS (°C)	CO (%)	HC (ppm)
B4	250	3.00	140	310	1.00	90	370	0.70	80	410	0.60	60
TB	225	2.30	140	310	0.70	80	370	0.60	70	420	0.60	60
1E10	310	0.35	190	360	0.10	160	410	0.15	140	450	0.15	100
3E10	290	0.20	190	360	0.10	150	430	0.10	140	410	0.10	90
1E20	310	0.10	260	385	0.06	210	410	0.08	150	460	0.10	100
3E20	300	0.06	240	370	0.07	215	410	0.08	160	450	0.10	120
1M15	270	0.25	160	330	0.07	100	390	0.05	90	420	0.10	80
3M15	280	0.05	170	340	0.06	110	400	0.07	95	420	0.10	80
1M20	280	0.05	200	340	0.07	140	400	0.05	120	420	0.10	75
3M20	290	0.05	220	350	0.05	150	430	0.08	110	440	0.10	85

Tablo 3-3-19 Benzin ve Alkollü Benzinler için Çeşitli Döme Sayılarında, Egzoz Gazı Sıcaklıkları ve Egzoz Emisyonlarının Değişimi, (GKA=2/3).

YAKIT	1750 d/d				2500 d/d				3250 d/d				4000 d/d			
	EGS (°C)	CO (%)	HC (ppm)	NO _x (%)	EGS (°C)	CO (%)	HC (ppm)	NO _x (%)	EGS (°C)	CO (%)	HC (ppm)	NO _x (%)	EGS (°C)	CO (%)	HC (ppm)	NO _x (%)
B ₄	340	6.50	170	0.22	404	6.00	90	0.29	470	3.00	60	0.29	490	2.00	40	0.30
TB	340	4.00	150	0.32	342	2.00	100	0.35	400	1.00	60	0.35	430	0.60	50	0.38
1E10	420	3.50	160	0.37	430	0.70	90	0.38	470	0.40	60	0.38	510	0.20	40	0.42
3E10	430	3.20	160	0.26	435	0.80	90	0.36	460	0.30	60	0.36	500	0.20	40	0.40
1E20	450	2.00	150	0.29	460	0.40	70	0.37	470	0.20	45	0.37	500	0.10	30	0.38
3E20	440	2.00	160	0.38	450	0.50	80	0.40	470	0.10	50	0.40	500	0.10	35	0.43
1M15	350	2.50	122	0.25	375	1.40	60	0.36	395	0.15	40	0.36	420	0.10	25	0.37
3M15	355	2.00	130	0.26	365	0.50	50	0.37	370	0.15	35	0.37	410	0.10	25	0.38
1M20	360	2.00	130	0.31	380	0.65	55	0.37	400	0.10	40	0.37	420	0.10	30	0.42
3M20	410	1.00	120	0.33	420	0.15	50	0.38	450	0.10	30	0.38	500	0.10	20	0.43

SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji yaşamımızın temel öğelerinden biridir. Dünya da enerji alanında oluşan arz-talep dengesizlikleri, ard arda yaşanan petrol krizleri, fiyat artış ve dalgalanmaları, ülkeleri yeni enerji kaynakları arayışlarına yöneltmiştir. Böylece artan enerji talebini karşılamak amacı ile fosil kaynaklı, alışılagelmiş kaynaklar (kömür, petrol, doğal gaz) yanısıra; güneş, rüzgar, jeotermal, hidrolik, hidrojen ve biokütle gibi alternatif enerji kaynakları gündeme gelmiştir. Yeni enerji kaynakları arasında biokütle kaynakları büyük bir yere sahiptir. Bu kaynakların enerji amaçlı değerlendirilme alanlarından biri, biyoteknolojik yöntemlerle üretilen alkollerin alternatif motor yakıtı olarak kullanımıdır. Günümüz benzin motorlarında tasarım değişikliği gerekmesizin hacimsel olarak %20 kadar alkol içeren benzinler kullanılabilmektedir. Bu çalışmada da, %5, %10, %15, %20 (hacim % si) oranlarında alkol içeren, farklı kimyasal bileşimlere sahip benzin örnekleri ile hazırlanmış metanollü ve etanollü benzinlerin alternatif motor yakıtı olarak değerlendirilebilirliği incelenmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde alkollü benzinlerin faz ayırımı sorunu çözümlenmiş ve katkı maddesi olarak saf isopropanol, n-propanol, isobutanol, n-butanol, isoamilalkol, n-amilalkol ve melas kökenli füzöl yağının %0.1 sulu, 120°C üstünde kaynayan fraksiyonu (Ağırlık %86.5 fermentasyon amilalkollerini içeren) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, sözüedilen katkı maddeleri alkollü benzinlerin faz ayrışma sorununun çözümü için kullanılabilecek etkin katkı maddeleridir ve alkollü benzinlerin faz ayrışma sıcaklıklarının değişimi üzerinde benzer etki göstermişlerdir. Alkol-benzin karışımlarında faz ayrışması üzerinde kullanılan benzinin kimyasal yapısı, ortam sıcaklığı, karışımın alkol miktarı, karışımın su kaldırabilirliği, alkol bileşeni olarak etanol veya metanol kullanılması etkilidir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan katkı maddelerinden füzöl yağı etanol üretiminde yan ürün olarak elde edilir. Füzöl yağı ve yukarıda tanımlanan füzöl yağı fraksiyonunun katkı maddesi olarak kullanımı yeni bir değerlendirme alanıdır ve ilk kez bu çalışmada önerilmiştir.

Füzel yağı fraksiyonu katkılı alkollü benzinlerde faz ayırımı sıcaklıklarının değişimine ilişkin elde edilen ana sonuçlar şu şekildedir:

1- Alkol-benzin karışımlarında, belli alkol ve su miktarları için füzel yağı fraksiyonu miktarı artışı, karışımların su kaldırabilirlik değerlerinde artışa, faz ayırımı sıcaklıklarında ise düşmeye neden olmaktadır.

2- Alkollü benzinlerde, karışımı oluşturan benzinin kimyasal karakteri çok önemlidir. Kullanılan benzinin aromatik bileşik içeriğinin artışı ile aynı oranda, alkol, su ve katkı maddesi içeren alkollü benzinlerde, su kaldırabilirlik artmakta, faz ayırımı sıcaklıkları ise düşmektedir.

3- Benzin-alkol-su-füzel yağı fraksiyonu sisteminde ortam sıcaklığı, karışımın stabiletisi açısından çok önemlidir. Sıcaklık artışı ile, karışımların su kaldırabilirliği artış göstermekte, stabil karışımlar için gerekli katkı maddesi ise azalmaktadır.

4- Alkollü benzinlerde, karışımı oluşturan alkolün etanol ya da metanol olması faz ayırımı sıcaklıklarının değişiminde bazı farklılıklara neden olmaktadır. Bu durum, etanol ve metanolün hidrokarbonlardaki çözünürlüğünün farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, etanolün hidrokarbonlardaki çözünürlüğü hidrokarbonun türü ile bağımlı değildir ve buna bağlı olarak aromatik veya doymuş bileşiklerce zengin benzin ile hazırlanan etanollü benzinlerde aynı faz ayırımı sıcaklıkları değişimi gözlenmiştir. Metanolün, aromatik hidrokarbonlardaki çözünürlüğü ise diğer hidrokarbonlara göre daha yüksektir. Bu nedenle doymuş bileşiklerce zengin benzin ile hazırlanan metanollü benzinlerde, etanollü benzinlerden daha farklı faz ayırımı sıcaklıkları değişimi gözlenmiştir.

Etanollü benzinler, metanollü benzinlere göre daha yüksek su kaldırabilirliğe sahiptir. Buna bağlı olarak da aynı benzinle hazırlanmış, aynı oranda su, alkol, füzel yağı fraksiyonu içeren karışımlardan, etanollü benzinler, metanollü benzinlere göre daha düşük faz ayırımı sıcaklıkları göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] 1987 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konferansı Türk Milli Komitesi Yayını, s.1, Ankara (1989).
- [2] 1988 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konferansı Türk Milli Komitesi Yayını, s. 2, Ankara (1989).
- [3] 1988 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konferansı Türk Milli Komitesi Yayını, s. 5, Ankara /1989).
- [4] KARAOSMANOĞLU,F., AKSOY,H.A., "Etanollü Benzinlerin Alternatif Motor Yakıtı Olarak Değerlendirilmesindeki Faz Ayrımı Sorunu." Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt. 11, sayı. 1, s. 49-52 (1988).
- [5] 1988 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konferansı Türk Milli Komitesi Yayını, s. 9, Ankara (1989).
- [6] 1988 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konferansı Türk Milli Komitesi Yayını, s. 14, Ankara (1989).
- [7] 1987 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konferansı Türk Milli Komitesi Yayını, s. 15-16, Ankara (1989).
- [8] 1988 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konferansı Türk Milli Komitesi Yayını, s. 17, 19, 21, 38, 39, Ankara (1989).
- [9] 1987 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konferansı Türk Milli Komitesi Yayını, s. 17, Ankara (1989).
- [10] KARAOSMANOĞLU,F., TUNA,A., AKSOY,H.A., "Evaluation of Biomass Sources as Fuel Alternative." Proc. of. Int. Mediterranean Congress on Solar and Other New-Renewable Energy Resources, pp. 719-727, Antalya (1988).
- [11] 1988 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konferansı Türk Milli Komitesi Yayını, s. 18, 20, Ankara (1989).
- [12] Türkiye Petrolleri A.O. 1988 Yıllık Raporu, s. 22-23, Ankara (1989).
- [13] YAĞCIOĞLU,E., "Biyokütle Enerjisi.", EİE Bülteni, sayı. 103, 104, s. 65-80 (1984).
- [14] WHITE,L.P., PLASSKETT,L.G., Biomass as Fuel, Academic Press, London (1981).
- [15] KLASS, D.L., Biomass as a Nonfossil Fuel Source, ACS Sym. Series, Washington D.C. (1981).

- [16] "Biomass: the Great Green Hope." Chemical and Engineering News, Vol. 56, pp.31 (1978).
- [17] PARKER, H.W., "Engine Fuels from Biomass." Mechanical Engineering, Vol. 54, pp. 54-59 (1982).
- [18] ULTANIR, M.Ö., "Petrol Yerine Kullanılabilecek Sentetik Motor Yakıtlarındaki Gelişmeler." EİE Bülteni, sayı. 116, s. 1-33 (1985).
- [19] RAYMOND, W.F., LARWER, P., Alternative Uses for Agricultural Surpluses, Commission of the European Communities, pp. 11-41, Elsevier Applied Science, London and New York (1986).
- [20] Ullmans Encyclopädie der technischen Chemie, 4. Auflage, Band. 17, s. 54-54, Verlag Chemie, Weinheim-NewYork (1979).
- [21] EREL, A., "Alternatif Çözüm: İzli Araçların Hava Kirliliğini Önlemede Etkileri." İstanbul Karayolu Ulaşımında Hava Kirliliği Sempozyumu, s.23-30, İstanbul (1986).
- [22] ERKAN, E., "Karayolu Ulaşımında Emisyonlar ve Çözüm Önerileri." İstanbul Karayolu Ulaşımında Hava Kirliliği Sempozyumu, s. 11-18, İstanbul (1986).
- [23] ERKAN, E., "Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Hava Kirliliği ve Önlenmesi." Çevre Sempozyumu ve Fuarı, s. 5-12, İstanbul (1987).
- [24] SİRER, H., "Panel Konuşması." İstanbul Kara Ulaşımında Hava Kirliliği Sempozyumu, s. 37-42, İstanbul (1986).
- [25] AKSOY, H.A., "Benzinin Çevreye Zararı Nasıl Önlenir?" Cumhuriyet Bilim Teknik, sayı. 155, s. 20 (1990).
- [26] DEMİRLİÇAKMAK, A., ÇAKMAK, M., Petrol Tüketimini Azaltıcı Bir Önlem Olarak Alkol Üretimini Arttırma Olanakları, MPM Yayınları, No. 283, s.11-90, Ankara (1983).
- [27] "Alcohols, A Technical Assessment of their Application as Fuels." API Publication No. 4261 (1976).
- [28] MEARS, L.G., "Energy from Agriculture." Environment, Vol. 20, No. 10, pp. 17-24 (1978).
- [29] "Use of Alcohols in Motor Gasoline-A Review." API, Publication No. 4082, (1971).
- [30] AKSOY, H.A., Petrol Rafinasyonunda Uygulanan Modern Üretim Yöntemleri, s. 17-26, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atelyesi, İstanbul (1984).
- [31] Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, 4. Auflage, Band. 17, s. 51-70, Verlag Chemie, Weinheim-NewYork (1979).

- [32] Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Second Edition, Vol. 10, pp. 463-484, Interscience Publishers a Division of John Wiley and Sons. Inc., Newyork (1965).
- [33] Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Second Edition, Vol. 10, pp. 370-398, Interscience Publishers a Division of John Wiley and Sons Inc., Newyork (1965).
- [34] NEUMÖLLER, O.A., Römps Chemie-Lexion, 7. Auflage, Vol. 4, s. 2140-2142, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart (1976).
- [35] Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis, Second Edition, Vol. 8, pp. 422-470, Interscience Publishers Division of John Wiley and Sons, Newyork (1974).
- [36] NEUMÖLLER, O.A., Römps Chemie-Lexion, 7. Auflage, Vol. 1, s. 68-74, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart (1976).
- [37] Fuel from Farms, A Product of the Solar Energy Information Data Bank, Midwest Research Institute, No. EG-77-C-01-4042, USA (1980).
- [38] Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis, Second Edition vol. 4, pp. 495-586, Interscience Publishers Division of John Wiley and Sons, Newyork (1974).
- [39] GÖLDER, L.Ö., "Alternative I.C.Engine Fuels and Air Pollution." Semınar on Alternative Energy Sources and Environmental Problems, TIBİD Yayın No.8, s. 1-17, Ankara (1978).
- [40] HARKER, J.H., BACKHURST, J.R., Fuel and Energy, pp. 146, Academic Press, London (1981).
- [41] THORPE, J.F., WHITELEY, M.A., Thorpe's Dictionary of Applied Chemistry, 4. Edition, Vol. 1, pp. 360-361, Lowe and London (1961)
- [42] Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, 4. Auflage, Band. 8, s. 90-91, Verlag Chemie, Weinheim-Newyork (1974).
- [43] SAYIN, I., SUNAY, M., YILMAZ, A., Füzel Yağlarının Oluşumu ve Eskişehir İspirto Fabrikasından Elde Edilen Füzel Yağının Tanımlanması, TOBİTAK Kimya Araştırma Bölümü, Yayın No. 135, Kocaeli (1984).
- [44] 1 Nisan 1989 tarihinde Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. İstanbul Bölge Müdürlüğü'nden Özel Görüşme ile Alınan Bilgi.
- [45] 1 Nisan 1989 tarihinde Türk Dış Ticaret Derneği Genel Sekreteri Ekonomist Murat Tuna'dan Özel Görüşme ile Alınan Bilgi.
- [46] SZWARC, A., BRANCO, G.M., "Automotive Use of Alcohol in Brazil and Air Pollution Related Aspects." SAE, No.850390.
- [47] GÖLDER, L.Ö., "Technical and Economical Aspects of Ethanol as an Automotive Fuel for Turkey." Proc. of the IV. Int. Sym. on Alcohol Fuel Technology, Vol. 1, pp. 347-352,

Brazil (1980)

- [48] BORAT, O., Benzin-Metanol Karışimli Otto Motorları, TÜBİTAK-MAG, Proje No. 483, İstanbul (1979).
- [49] JÜNTGEN, H., SCHULZE, J., WIEGAND, D., "Einsatzmöglichkeiten der direkten und indirekten Kohleverflüssigung ein Beispiel der Kraftstoffherzeugung, Erdöl und Kohle-Erdgas-Petrochemie Vereinigt mit Brennstoff-Chemie, Band. 36, 3, s. 113-121 (1983).
- [50] ALLSUP, J. R., "Methanol/Gasoline Blends as Automotive Fuel." SAE, No. 750763.
- [51] "A Technical Assessment of Alcohol Fuels, Alternate Fuels Committee of The Engine Manufacturers Association." SAE, No. 820261.
- [52] KELLER, J. I., "Alcohols as Motor Fuel?" Hydrocarbon Processing, Vol. 2 pp. 127-138 (1979).
- [53] GOODGER, E. M., Alternative Fuels, Chemical Engineering Resources, pp. 141-142, The Mac Millan Press Ltd., London (1980).
- [54] OSTEN, D. W., SELL, N. J., "Methanol-Gasoline Blends: Blending Agent to Prevent Phase Separation." Fuel, Vol. 62, pp. 268-270 (1983).
- [55] KARAOSMANOĞLU, F., AKSOY, H. A., CİVELEKOĞLU, H., "The Effects of Isopropanol Addition on Gasoline-Alcohol Motor Fuel Blends." Journal of the Institute of Energy Vol. LXI, pp. 125-128 (1988).
- [56] MISLAVSKAYA, V. S., LEONOW, V. E., MISLAVSKII, N. O., RYZHAK, I. A., "Conditions of Phase Stability in a Gasoline-Methanol-Cyclohexanol-Water System." The Soviet Chemical Industry, Vol. 14, 3, pp. 270-273 (1982).
- [57] JOHNSON, L. J., GEORGETON, G. K., SOMMERFELD, J. T., "Temperature Effects on of Gasoline, Ethanol-Water Azeotrope and Miscibility Additives." Proc. Summer Comput. Simul. Conf., No. 1, pp. 530-536 (1981).
- [58] ENGLIN, B. A., KYUREGYAN, S. K., LEVINSON, G. I., DEMIDENKO, K. A., GOLOSAVA, V. F., "Low-Temperature Properties of Gasoline-Methanol." ZH-KHIM (1978), Abst. No. 15. p. 25 (1977)
- [59] CHELLIAH, V. S., CROOKES, R. J., JANOTA, M. S., "Use of Gasoline-Alcohol Blends in a Spark Ignition Engine with Different Levels of Simulated Turbo charging." Proc. of the IV. Int. Sym. on Alcohol Fuels Technology, Vol. 1, pp. 207-214, Brazil (1980).

- [60] SVAHN, L.G.G., "Specifications of Alcohol Motor Fuel." Proc. of the IV. Int. Sym. on Alcohol Fuels Technology, Vol. 1, pp. 325-330, Brasil (1980)
- [61] NIERHAUVE, B., "Methanol-Gasoline Blended Fuels in West Germany-Specification and Early Field Experience.", Proc. of the IV. Int. Symn. on Alcohol Fuels Technology, Vol. 1, pp. 319-324, Brasil (1980).
- [62] MOELLER, H., MAJUNKE, H.J., Motor Fuel, Eur. Pat. Appl. EP 171440 A1, pp. 1-9, FRG (1986).
- [63] CROWLEY, A.W., KUEBRICH, J.P. ROBERTS, M.A., KOEHL, W.J., WASHER, W. L., WOTRING, W.T., "Methanol-Gasoline Blends Performance in Laboratory Tests and in Vehicles." SAE, No. 750419.
- [64] KRESCHMER, C.B., WIEBE, R., "Solubility of Water in Alcohol-Hydrocarbon Mixtures." Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 37, No. 11, pp. 1130-1132 (1945).
- [65] TERZONI, G., ANCILLOTTI, R.P.F., "Water Tolerability of Ethanol-Gasoline Blends." Proc. of the IV. Int. Sym. on Alcohol Fuels Technology Vol. 1, pp. 331-335, Brasil (1980)
- [66] LAST, A.J., LAWSON, A., SIMMONS, E.W., MACKAY, D., TSANG, M., MAUND, G.B., "Oxygen Sensor Equipped Engine Operation on Methanol/Gasoline Blends and Phase Separation Problems." Proc. of the IV. Int. Sym. on Alcohol Fuels Technology Vol. 1, pp. 225-231, Brasil (1980).
- [67] BEBA, A., "Etanol/Benzin Karışımı Yakıtların Karakteristiklerinin incelenmesi." I. Yanma Simpozyumu, s. 183-202, Bursa (1983).
- [68] BERNARDT, W., "Future Fuels and Mixture Preparation Methods for Spark Ignition Automobile Engines." JPECS, Vol. 3, pp. 139-150 (1977).
- [69] HOBBS, E.M., KERSEY, V.L., "Test Vehicle Experience with Ethanol-Extended Fuels Driveability and Corrosion." Proc. Refin. Dep. API, Vol. 65, pp. 77-106 (1986).
- [70] SCHELLER, A., "Tests on Unleaded Gasoline Containing 10% Ethanol-Nebraska Gasohol." Proc. of the II. Int. Sym. on Alcohol Fuels Technology, 2-1 (1-5), FRG (1977).
- [71] PORTER, J.C., WIEBE, R., "Alcohol as an Antiknock Agent in Automotive Engines." Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 44, No.5, pp. 1098-1104 (1952).
- [72] KAMPEN, W.H., "Engines Run Well on Alcohol.", Hydrocarbon Processing, Vol. 59, No.2, pp. 72-75, (1980)

- [73] INGAMELLS, J.C., LINDQUIST, R.H., "Methanol as a Motor Fuel or a Gasoline Blending Component." SAE, No. 750123.
- [74] STAMPER, K.R., "Fleet Trials Using Methanol/Gasoline Blends." Proc. of the IV. Int. Sym. on Alcohol Fuels Technology, Vol. 1, pp. 563-571, Brazil (1980)
- [75] PINTO, F.B.P., "Aspects of the Design, Development and Production of Ethanol Powered Passenger Car Engines." Proc. of the IV. Int. Sym. on Alcohol Fuels Technology, Vol. 1, pp. 361-372, Brazil (1980).
- [76] MENHARD, M.K., LOECK, H., "Results from Basic Research on Alcohol Powered Vehicles." Proc. of the IV. Int. Sym. on Alcohol Fuels Technology, Vol. 1, pp. 557-562, Brazil (1980).
- [77] DEMİR SOY, M., "Motorlu Araçların Gelecekteki Enerji Kaynakları." II. Otomotiv ve Yan Sanayi Semp., Endüstri Mühendisliği, 1, s. 242-252, Bursa (1989).
- [78] SKINNER, W., VILJOEN, H., "Corrosion of Carburettor Materials in Contact with Petrol-Ethanol Mixtures." Corrosion and Coatings South Africa, pp. 5-10, (1981)
- [79] CODLING, V.J., "The Development and Testing of an Anti-Corrosive Additive for Alcohol Fuels." Proc. of the IV. Int. Sym. on Alcohol Fuels Technology, Vol. 1, pp. 285-288, Brazil (1980).
- [80] FOTEDAR, H.L., "Some Aspects of Component Wear in Alcohol Engines." Proc. of the IV. Int. Sym. on Alcohol Fuels Technology, Vol. 1, s. 675-681, Brazil (1980).
- [81] ALLSUP, J.R., GURNEY, M.D., "Comparisons of Gasohol and Gasoline in Laboratory and Field Trials." Proc. of the IV. Int. Sym. on Alcohol Fuels Technology, Vol. 1, pp. 551-556, Brazil (1980)
- [82] DEMİR SOY, M., "Alternatif Yakıt Olarak Alkollerin Benzin ve Diesel Motorlarında Kullanılması." I. Yanma Sempozyumu, s. 203-214, Bursa (1983).
- [83] Annual Book of ASTM Standards, Information Document on Gasohol (Motor Fuel Containing 10% Volume of Ethanol in Gasoline), Vol. 25, pp. 920-937 (1981).
- [84] SCHOONVELD, G.A., RILEY, R.K., THOMAS, S. P. SHIFF, S., "Exhaust Valve Recession With Low-Lead Gasolines." Automotive Engineering, pp. 72-76, 1987.
- [85] GÜLDER, Ö.L., Etanol, Etanol-Benzin Karışımlarının Otomobil Yakıtı Olarak Teknik Yönleri, TÜBİTAK-MAG Proje No. 526, Ankara (1981).

- [86] BRINKMAN, N.D., GALLOPOULOS, N.E., JACKSON, M.W., "Exhausts Emissions, Fuel Economy and Driveability of Vehicles Fueled with Alcohol-Gasoline Blends." SAE, No. 750120.
- [87] PEFLEY, R.K., ADELMAN, H.G., SUGA, T., VANN, L.G., WIENS, F.J., "Methanol/Ethanol/Gasoline Blends in Stratified Charge Engine Vehicles." Proc. of the Int. Sym. on Alcohol Fuels Technology, Vol. 1, pp. 701-707, Brasit (1980).
- [88] ECKLUND, E.E., Demostration and Commercialization of Alcohol/Gasoline Blends in U.S.A., Proc. of the Int. Sym. on Alcohol Fuels Technology, Vol. 1, pp. 787-793, Brasit (1980).
- [89] JOHNSON, R.T., "A Comparision of Gasoline, Methanol and a Methanol/Water Blend as Spark Ignition Engine Fuels." Proc. Int. Sym. Alcohol Fuel Technology Conf. No. 771175, 4-3 (1-7), Springfield (1978).
- [90] GARDINER, D.P., BARDON, M.F., "The Effect of Cranking Speed on Cold Starting Performance with Methanol Fuels." Proc. of the VII. Int. Sym. on Alcohol Fuels, pp. 191-195 Paris (1986).
- [91] CANTON, E.J., LESTZ, S.S., MEYER, W.E., "Lean Combustion of Methanol-Gasoline Blends in a Single Cylinder SI Engine." SAE, No. 750698.
- [92] DURGUN, O., KIZILTAN, E.E., "Motorlarda Etil Alkol Karışımlarının Kullanılması." II. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, Endüstri Mühendisliği 1, s. 222-230, Bursa
- [93] DURGUN, O., "Motorlarda Benzin-Etilalkol-izopropanol Karışımlarının Kullanılması." II. Yanma Sempozyumu, s. 325-337, İstanbul (1989).
- [94] HUNT, V.D., The Gasohol Handbook, Industrial Press. Inc., New-york (1981).
- [95] Small-Scale Fuel Alcohol Production, United States Dept. of Agruculture, Washington, D.C., (1980).
- [96] UGURLUBİLEK, M.R., Yüksek Hızlı Hafif Hizmet Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Metil Alkolün Kullanılması, Doktora Tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Eskişehir (1990).
- [97] Annual Book of ASTM Standards, Vol. 25 (1982).
- [98] HENGLEIN, F.A., Grundriss der Chemischen Technik, 11. Auflage, s. 638, Verlag Chemie, Weinheim/Bergstr (1963).
- [99] DIN Taschenbuch 32, Mineralöle und Brennstoffnormen, s. 138-141, Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin (1973).

- [100] PERRIN,D.D., ARMAREGE,W.L.F., Purification of Laboratory Chemicals, Second Ed., pp. 47, Pergamon Press, London (1980).
- [101] ABD MIL-G-53006, Appendix Test Method 2.
- [102] T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Rasat Bilgisi Üzerinde Özel Yazışma, Sayı AB. 3. 1160, 4/1821, Ankara (1988).
- [103] ZERBE,C., Mineral Öle und Verwandte Produkte, s. 700-720, Springer Verlag Berlin (1952).
- [104] CREMER,H,W., DAVIES,T., Chemical Engineering Practice, Vol. 5, pp. 504-505, London (1958).
- [105] Verein Deutscher Ingenieure, VDI 2456, Blatt 2 (1973)
- [106] GÖNÜLTAS,B., ARSLAN,E., ERGENEMAN,M., SARAÇOĞLU,S., SORUŞBAY,C., Motor Laboratuvar Notları, İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi Matbaası, Sakarya (1983).
- [107] ZERBE,C, Mineral Öle und Verwandte Produkte, s. 491, Springer Verlag Berlin (1952).
- [108] SAFGÖNOL,B., İ.T.Ü. Makina Fakültesi, 1988-1989 Motor Ders Notları, s. 84-88, İstanbul (1988).

ÖZGEÇMİŞ

1959 yılında doğdu. İ.T.Ü. Kimya Mühendisliği Bölümü'nden 1982 yılında Lisans, 1984 yılında Yüksek Lisans Derecesi aldı ve doktora öğrenimine başladı. 1983 yılından beri İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi'nde Kim.Yük.Müh. olarak görev yapmaktadır.

