

DİZEL MOTORLARDA JP-8 YAKITI UYGULAMALARI

Nizamettin KABAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
2005

APPLICATIONS OF JP-8 FUEL ON DIESEL ENGINES

Nizamettin KABAK

MASTER SCIENCE THESIS

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT

2005

DİZEL MOTORLARDA JP-8 YAKITI UYGULAMALARI

Nizamettin KABAK

**Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Termodinamik Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır**

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Ramazan UĞURLUBİLEK

Temmuz-2005

İÇİNDEKİLER

Şekiller Listesi	v
Tablolar Listesi	vi
Özet	vii
Summary	viii
BÖLÜM 1 Giriş	1
1.1. Çalışma Konusunun Tanımlanması	1
BÖLÜM 2 Petrol Ürünleri ve Motorlarda Kullanılan Yakıtlar	2
2.1. Petrolün Destilasyonu.....	2
2.1.1. Destilasyon Ürünleri.....	2
2.2. Motorlarda Kullanılan Yakıtlar.....	3
2.2.1. Benzin Motorları.....	3
2.2.2. Dizel motorları.....	3
2.2.3. Jet Motorları.....	3
BÖLÜM 3 Yakıtların Özellikleri	5
3.1. Yakıtların Fiziksel Özellikleri	5
3.1.1. Viskozite (Akıcılık) Derecesi	5
3.1.2. Özgül ağırlık.....	6
3.1.2.1 API Özgül Ağırlığı.....	6
3.1.3. Uçuculuk Noktası.....	7
3.1.4. Parlama Noktası	7
3.1.5. Donma Noktası	7
3.1.6. Su ve Tortu Miktarı	8
3.2. Yakıtların Kimyasal Özellikleri	8
3.2.1. Ateşleme Noktası.....	8
3.2.1.1 Setan sayısı	9
3.2.1.2 Dizel İndeksi.....	10

3.2.1.3	Anilin Noktası	11
3.2.2	Kükürt Miktarı.....	11
3.2.3	Kül Miktarı.....	12
3.2.4	Karbon Artıkları.....	12
BÖLÜM 4 Tek Yakıt Tipinin Seçimi		14
4.1.	Tek Yakıttan Beklenen Avantajlar	16
4.1.1.	Teknik Avantajlar	16
4.1.2.	Lojistik Avantajları.....	16
4.1.3.	İşletmesel Avantajlar.....	17
4.2	Tek Yakıtın Dezavantajları.....	17
BÖLÜM 5 Dizel Motorlarında Yanma		18
5.1.	Tutuşma Gecikmesi.....	20
5.1.1.	Bomba Deneyinde Tutuşma Gecikmesine Etkiyen Faktörler	21
5.1.1.1.	Ortam Sıcaklığı	21
5.1.1.2.	Ortam Basıncı (P_a).....	22
5.1.2.	Motorlarda Gerçek Çalışmada Tutuşma Gecikmesine Etkiyen Faktörler	23
5.1.2.1.	İşletme Etkenleri.....	24
5.1.2.1.1.	Dönme Sayısı (n)	24
5.1.2.1.2.	Emme Havası Sıcaklığı ve Basıncı (T_e ve P_e).....	25
5.1.2.1.3.	Motorun Yük Durumu (P_{me}).....	26
5.1.2.1.4.	Oksijen Konsantrasyonu.....	27
5.1.2.2.	Yapısal Faktörler	27
5.1.2.2.1.	Sıkıştırma Oranı (ϵ)	27
5.1.2.2.2.	Motorun Soğutma Koşulları	28
5.1.2.2.3.	Püskürtme Kalitesi.....	29
5.1.2.2.4.	Yakıt Faktörleri	30
5.2.	KontROLSÜZ Yanma	30
5.3.	Difüzyon Kontrollü Yanma	31
5.4.	Art Yanma.....	33

5.5.	Genişleme Olayı	33
5.6.	Egzoz Olayı	34
5.7.	Yanma Verimi ve İis Oluşumu	36
BÖLÜM 6 Deneysel Çalışmalar.....		37
6.1.	Yapılan Laboratuar Çalışmaları.....	37
6.2.	HOBART Uçak Çalıştırıcısı İle Yapılan Test Çalışmaları.....	39
6.2.1.	HOBART Uçak Çalıştırıcısı Özellikleri	39
6.2.2	HOBART Uçak Çalıştırıcısının JP-8 Yakıtı Testi Sonuçları	43
6.2.3	HOBART Uçak Çalıştırıcısının Dizel Yakıtı Testi Sonuçları.....	44
6.2.4	HOBART Uçak Çalıştırıcısının Püskürtme Avans Ayarı Değiştirilerek JP-8 İle Çalıştırılması	45
6.3	RD 270 RUGGERİNİ Dizel Motor İle Yapılan Test Sonuçları.....	48
6.3.1	RD 270 RUGGERİNİ Dizel Motorunun Özellikleri.....	48
6.3.2.	RD 270 RUGGERİNİ Dizel Motor Test Sonuçları	49
6.3.2.1	RD 270 RUGGERİNİ Dizel Motorun Motorin ile Çalıştırılması	50
6.3.3	Pancar Motor A.Ş. Tesislerinde RD 270 RUGGERİNİ	
	Dizel Motor İle Yapılan Test Çalışmaları.....	53
BÖLÜM 7 JP-8'e (F-34) Geçiş Sorunları		54
7.1	Çözücülük	54
7.2	Yağlama	54
BÖLÜM 8 Yurt Dışında Yapılan Çalışmalar.....		55
8.1	Belçika'da Yapılan Çalışmalar.....	55
8.2	Kanada'da Yapılan Çalışmalar	55
8.3	Almanya'da Yapılan Çalışmalar	56
8.4	İtalya'da Yapılan Çalışmalar.....	56
BÖLÜM 9 Sonuçlar ve Öneriler		59

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil-4.1 NATO Yakıt Tiplerinin Karbon Atom Sayıları.....	14
Şekil-5.1 Dizel Motorunda Yanma Fazları ile Silindir Basıncının Gelişimi	19
Şekil-5.2 Tutuşma Gecikmesinin Ortam Sıcaklığı ile Değişmesi	22
Şekil-5.3 Tutuşma Gecikmesinin Ortam Basıncı ile Değişmesi.....	23
Şekil-5.4 Dizel Motorunda Dönme Sayısının Tutuşma Gecikmesine Etkisi	25
Şekil-5.5 Dizel Motorunda Emme Havası Sıcaklığının Tutuşma Gecikmesine Etkisi.....	26
Şekil-5.6 Dizel Motorunda Yük Durumunun Tutuşma Gecikmesine Etkisi ...	27
Şekil-5.7 Dizel Motorunda Sıkıştırma Oranının Tutuşma Gecikmesine Etkisi	28
Şekil-5.8 Dizel Motorunda Motor Boyutlarının Tutuşma Gecikmesine Etkisi	29
Şekil-5.9 Dizel Motorunda Enjektör Boyutlarının Tutuşma Gecikmesine Etkisi	30
Şekil-5.10 Dizel Motorunda Püskürtme Ve Yanma Kanunu	32
Şekil-5.11 Egzoz Açılma Noktasının P-V Diyagramına Etkisi	35
Şekil-6.1 HOBART Uçak Çalıştırıcısı	40
Şekil-6.2 HOBART Uçak Çalıştırıcısı Soğutma Sistemi	42
Şekil-6.3 HOBART Uçak Çalıştırıcısı Yağlama ve Yakıt Sistemleri.....	42
Şekil-6.4 Perkins Motorda Dizel ve JP-8 Yakıtı İle Avans Ayarı Değiştirilmiş Durumda (JP-8) Egzoz Gazı Sıcaklık Değişimi	46
Şekil-6.5 Perkins Motorda Dizel ve JP-8 Yakıtı İle Avans Ayarı Değiştirilmiş Durumda (JP-8) Egzoz Gazı Sıcaklık Değişimi.....	47
Şekil-6.6 RD 270 Ruggerini Dizel Motor	48
Şekil-6.7 RD 270 Ruggerini Dizel Motor.....	49
Şekil-6.8 Ruggerini Dizel Motorda Değişik Yakıt Karışımlarının Egzoz Gazı Çıkış ve Silindiri Kafası Sıcaklıklarına Etkisi	51
Şekil-6.9 Ruggerini Dizel Motorda Yakıt Cinsine Göre Yoğunluk ve Yakıt Tüketimi Değişimleri.....	52

TABLolar LİSTESİ

Tablo-4.1 Motorin ve JP-8 Yakıtının Özellikleri	15
Tablo-6.1 10 Numara Yağ İle JP-8 Karışımı	37
Tablo-6.2 20/50 Dizel Yağı İle JP-8 Karışımı	38
Tablo-6.3 140 Numara Şanzıman Yağı İle JP-8 Karışımı	38
Tablo-6.4 90 Numara Dişli Yağı JP-8 Karışımı.....	38
Tablo-6.5 Ay Çiçek Yağı İle JP-8 Karışımı	39
Tablo-6.6 Hobart Uçak Çalıştırıcısı Boyutları	39
Tablo-6.7 Hobart Uçak Çalıştırıcısı Jeneratör Özellikleri.....	40
Tablo-6.8 Hobart Uçak Çalıştırıcısı Motor Özellikleri.....	41
Tablo-6.9 F-34 (JP-8) Yakıtı ile Gerçekleştirilen Test Sonuçları.....	43
Tablo-6.10 F-54 (Dizel) Yakıtı ile Gerçekleştirilen Test Sonuçları	44
Tablo-6.11 Püskürtme Avans Ayarı Sonrası JP-8 ile Gerçekleştirilen Test....	44
Tablo-6.12 RD 270 Ruggerini Dizel Motor Özellikleri	45
Tablo-6.13 RD 270 Ruggerini Motorun Çeşitli Yakıt Tipleri ile Yüksüz Olarak 2750 Dev/Dak sabit Hızda Çalıştırılması	50
Tablo-6.14 RD 270 Dizel Motor Yük Verilerek Test Sonuçları (Pancar Motor A.Ş./İstanbul).....	53

ÖZET

Bu çalışmada; HOBART uçak çalıştırıcısına ait Perkins dizel motoru ile bomba yükleme cihazına ait RD 270 Ruggeneri dizel motorlarının dizel yakıtına alternatif olarak Jet Yakıtı (JP-8) ile çalıştırılması, bu uygulamaların avantaj/dezavantajları ve motor performansına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu etkileri gözlemlemek için, konu motorlar jet yakıtı ve motorin ile ayrı ayrı çalıştırılmış daha sonra bu testler değişik oranlarda JP-8 yağ karışımları ile motor çalıştırılarak tekrarlanmış ve sonuçlar kaydedilmiştir.

HOBART uçak çalıştırıcısı 200 saat süre ile çalıştırılmıştır. 200 saatte değiştirilmesi gereken yakıt filtresi 100 saat sonra tıkanmıştır. Bunun sebebinin iyi bir çözücü olan JP-8'in motorin ve yakıt karışımları tarafından oluşturulan atıkları, yakıt tankından ve yakıt sisteminden temizlemesi ve sonuçta oluşan zamksı çamurun (gom) filtrelerde ve yakıt sistemi elemanlarında birikmesi olduğu değerlendirilmiştir. Bu sebeple HOBART uçak çalıştırıcısı teknik dokümanına JP-8 ile çalıştırılması durumunda 90 saat sonra filtrenin değiştirilmesi ve yakıt deposunun temizlenmesi ifadesi eklenmiştir.

Ayrıca 200 saatlik çalışma sonucu yakıt pompası sökülerek incelenmiştir. Yapılan ölçüm sonucu bir aşınma tespit edilmemiş sadece pompa üzerinde matlaşma görülmüştür. Bu matlaşmanın JP-8'in yağlayıcı özelliğinin az olması nedeniyle olduğu ve aşınmanın 200 saatten uzun sürede meydana gelebileceği değerlendirilmiştir.

HOBART uçak çalıştırıcısının JP-8 ile yapılan testlerinde, motorinle çalışmaya göre egzoz gazı çıkış sıcaklığında % 6 artış görülmüştür. Motorun püskürtme avans ayarı değiştirilerek (ÜÖN'ya 21 derece kala) JP-8 ile

çalıştırıldığında, ayar yapılmadan JP-8 ile çalıştırılmaya göre egzoz gazı çıkış sıcaklığında % 1,63 oranında azalma görülmüştür.

RD 270 RUGGERİNİ dizel motoru ile yapılan test işlemlerinde dizel motor JP-8 yakıtı, dizel yakıt, %20'lik 10 numara yağ ile JP-8 karışımı, %25'lik 20/50 dizel yağ ile JP-8 karışımı, %20'lik 140 numara şanzıman yağ ile JP-8 karışımı, %20'lik 90 numara dişli yağ ile JP-8 karışımı ve %15'lik ay çiçek yağ ile JP-8 karışımları hazırlanarak çalıştırılmıştır. Bu çalışma sonucu egzoz gazı, silindir kafası sıcaklıkları ve motorun yakıt tüketimleri kaydedilmiştir. Motora yük verilememiş ancak gaz kolundan ayar yapılarak motor 2750 RPM hızla çalıştırılmıştır.

4 adet RD 270 RUGGERİNİ dizel motoru yük verilerek test edilmek amacıyla Pancar Motor A.Ş./İstanbul'a götürülmüş burada yapılan testlerde motorlar JP-8 ve motorin ile bremze edilmiştir. Motorlara ortalama 8.2 Kpa yük verilmiş ve motor performansları ölçülmüştür. Motorların JP-8 ile çalışmasında motorine göre % 2'lik güç kaybı görülmüştür. Ayrıca egzoz sıcaklıklarının ortalama % 4, silindir kafası sıcaklıklarının ise ortalama % 10 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Sayılan bu mahsurlara rağmen askeri amaçlı bütün dizel motorlarında JP-8 yakıtının kullanımı kolay temin edilmesi, depolanmada özelliklerini muhafaza edebilmesi, düşük sıcaklıklarda donmaya karşı mukavemeti, tek tip yakıt için tek tip alt yapı (depolama, nakliyat) gerektirmesi, yanlış yakıt kullanma veya yakıtların karışma problemini ortadan kaldırması gibi nedenlerden dolayı tercih edilebilir

SUMMARY

In this study; we observe advantage/disadvantages and effects of engine performance of using diesel fuel, JP-8 on the HOBART Aircraft Generator's Perkins diesel engine and Bomb Lifting Unit's RD 270 RUGGERINI diesel engine.

In the aim of observing this effects on the engines; first they are separately run with diesel fuel and JP-8 then they run with the different mixtures of JP-8 and oil. HOBART Aircraft Generator operated 200 hours on the base. The filter that must be changed after 200 hours was plugged after 100 hours. We think that the reason of this problem is; JP-8 is a very good solvent and it solves the materials that was made by diesel fuel and this materials are captured in the fuel filter and other parts of the fuel system. For this reason this statement was added to HOBART's technical document "If you operate HOBART Aircraft Generator with JP-8 fuel filter must be changed and fuel tank must be cleaned after 100 hours periodically.

In addition to this; after 200 hours operation, fuel pump was disassembled and inspected. After metric measurement there was no abrasion on the pump, but only dull colour on the pump piston surface. We think that this colour change is happened because JP-8 is not a good lubricator and abrasion on the fuel pump will come to existence in more than 200 hours. HOBART is operated 50-100 hours in the bases in one year. For this reason we think that this engine can run with JP-8 without any modification on the engine.

While testing HOBART with JP-8 the fuel consumption increases %3 and exhaust gas temperature increases % 5 than running with diesel fuel.

Four RD 270 RUGGERINI diesel engines was operated with JP-8 and diesel fuel at Pancar Engine Company/Istanbul. Average 8.2 KPa load was

given to the engines and engine performance was measured. The power taken from the engines decreased 2 % while operating with JP-8. In addition to this Exhaust gas temperature increased average 4 % and cylinder head temperature increased average 10 % while operating with JP-8.

In spite of this disadvantages using JP-8 for all of the diesel engines in military will be preferred because of these reasons; easy to provide, having durable characteristics while storage, resistant to freeze in lower temperatures, one fuel needs one substructure (transportation,storage), using one fuel avoid wrong fuel usage and mixing the fuel with other fuels.

BÖLÜM 1 GİRİŞ

1.1 ÇALIŞMA KONUSUNUN TANIMLANMASI

Bu çalışmada; Hobart uçak çalıştırıcısına ait Perkins dizel motoru ile bomba yükleme cihazına ait RD 270 Ruggerini dizel motorlarının dizel yakıtına alternatif olarak Jet Yakıtı (JP-8) ile çalıştırılması, bu uygulamaların avantaj/dezavantajları ve motor performansına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Motorlar üzerindeki çalışmalara başlamadan önce JP-8 ve motorinin yoğunlukları ile parlama noktaları laboratuvar ortamında ölçülmüştür. Daha sonra JP-8 yakıtının yağlayıcılık özelliğini arttırmak ve yoğunluğunu motorinin yoğunluğuna yaklaştırmak için JP-8 yakıtı 10 numara yağ, 20/50 dizel yağı, 140 numara şanzıman yağı, 90 numara dişli yağı ve ay çiçek yağı değişik oranlarda karıştırılmış ve bu karışımların yoğunluğu ve parlama noktaları ölçülmüştür.

Değişik yakıt tiplerinin etkilerini gözlemlemek için konu motorlar jet yakıtı ve motorin ile ayrı ayrı çalıştırılmış daha sonra bu testler değişik oranlarda JP-8 yağ karışımları ile motor çalıştırılarak tekrarlanmış ve sonuçlar kaydedilmiştir.

BÖLÜM 2 PETROL ÜRÜNLERİ VE MOTORLARDA KULLANILAN YAKITLAR

Dünyanın her yanında, kara ve deniz altının çeşitli derinliklerinde çok uzun yıllar önce hayvansal ve bitkisel artıkların ayrışması sonucunda oluşan hidrokarbon bileşikleri mevcuttur. Hidrokarbonlar hidrojen ve karbon bileşikleri olup, normal sıcaklık ve basınç şartlarında gaz, sıvı ve katı halde bulunurlar.(1)

Petrol en geniş tanımı ile, yer yüzünde tabii olarak mevcut bulunan tüm hidrokarbonları kapsar. Bileşiminde az miktarda kükürt(S), azot (N), oksijen(O₂) ve çeşitli mineralleri ihtiva eder. Daha dar ve ticari anlamda ise "PETROL";

- a) Ham petrol (Crude Oil) denilen sıvı birikimler
- b) Tabii gaz (Natural Gas) adı verilen gaz birikimler
- c) Bileşimine göre asfalt mum veya bitüm olarak adlandırılan katı birikimler olarak tanımlanabilir.(2)

2.1 Petrolün Destilasyonu

Ham petrol birbirinden güçlükle ayrılabilen maddeler karışımıdır. Ham petrolden; petrol gazı, gaz yağı, benzin, motorin, jet yakıtı, fuel oil, yağlama yağları, mum ve asfaltik bitüm gibi çeşitli ürünler elde edilir. Destilasyon öncesi ham petrol tuzlarından arındırılır. Önce, düşük sıcaklıklarda buharlaşan ürünler atmosferik damıtma kulesinde, diğerleri de vakum kulesinde destile edilir.(3)

2.1.1 Destilasyon Ürünleri

Benzin, jet yakıtı, motorin, madeni yağlar ve solventlerin oluşturduğu gruba Beyaz Ürünler denir. Rafinerilerden aşağıdaki ürünler elde edilir.(4,5)

Gaz Ürünler : Propan ve bütan (LPG),

Beyaz Ürünler : Benzin, nafta, jet yakıtı, motorin, maden yağı ve solventler

Katı ve Siyah Ürünler : Parafin wax, hafif-orta-ağır fuel oil, asfalt, kok ve kükürt.

2.2 Motorlarda Kullanılan Yakıtlar

2.2.1 Benzin Motorları

Benzin buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılan yakıttır. İyi bir benzinin alçak sıcaklıkta buharlaşabilmesi, vurutuya karşı mukavemet göstermesi (yüksek oktan sayısı), gom (yapışkan maddelerin az olması) ve kimyasal yapısının kararlı olması gerekir.(6)

2.2.2 Dizel Motorları

Ham petrolün damıtılması sırasında 200-300 °C kaynama aralığında alınan bir ürün olan motorin dizel yakıtıdır. Dizel motorları belirli evsafıta bir yakıtla çalışacak şekilde dizayn edilmişlerdir. Dizel motorları ve sıkıştırma ile çalışan makineler, gazyağı ile destile ham petrol arası düşük uçuculuk özelliğine sahip bir yakıtla çalışırlar.(1)

2.2.3 Jet Motorları

Jet yakıtları gaz yağı tipi ve wide cut tip olmak üzere iki tip imal edilirler.

Wide cut tipi jet yakıtı daha çok askeri uçaklarda, gaz yağı tipi ise sivil uçaklarda kullanılır. Sivil maksatla kullanılan yakıt tipinin imalinde daha çok ekonomi ve emniyet ön planda tutulduğu halde askeri amaçlı kullanılacak yakıtın kolayca temini hususu ön planda tutulur.

Uçucu bileşikleri ihtiva etmesinden dolayı ilk önceleri gaz yağı jet yakıtı olarak kullanılmış ise de yüksek irtifalar için daha düşük donma noktalı yakıtta ihtiyaç duyulmuş ve bu maksatla JP şartnameleri tespit edilmiştir.(8)

BÖLÜM 3 YAKITLARIN ÖZELLİKLERİ

Dizel motorlarında yakıt püskürtme sistemlerinin uzun ömürlü olmasının ve iyi bir yanma temin edilmesinin, yakıtın cinsi ve durumuyla çok yakından ilgisi vardır. Bu nedenle dizel yakıtlarında bazı özelliklerin aranması ve bir dizelcinin bunları iyi bilmesi gerekir.(9)

3.1 Yakıtların Fiziksel Özellikleri

3.1.1 Viskozite (Akıcılık) Derecesi

Sıvıların akmaya karşı direncini ifade eden bir ölçüdür. Sıvıların bu özelliğini ölçmede çok çeşitli aletler yapılmışsa da bunlardan en çok kullanılanı Saybolt viskozimetresidir.

Bir yakıtın saybolt viskozitesi; viskozimetreye konan 70cm^3 yakıtın 60cm^3 ünün kabın dibindeki belli çapta delikten akması için geçen zaman (saniye) olarak tarif edilir. Burada yakıtın akması için gereken zaman uzadıkça viskozite yüksek yani yakıt kalın, zaman kısaldıkça viskozite düşük yani yakıt incedir.

Viskozite daima ölçüldüğü sıcaklıkta ifade edilir. Örneğin, dizel motorlarında kullanılan yakıtların viskoziteleri $100\text{ }^{\circ}\text{F}$ 'da 35-70 S.U.S (Saybolt Universal Saniye) arasındadır.

Dizel motorlarında kullanılan yakıtların viskoziteleri; aynı zamanda yakıt sistemini de yağladıklarından yüksek, fakat enjektörün küçük deliklerinden püskürtülerek kolay parçalanmalarını temin etmek için de düşük olmalıdır. Birbirine zıt olan iki destek, her iki işe uygun olan viskozitenin seçimi ile karşılanır.(9)

Viskozite gereğinden yüksek olmamalıdır. Çünkü viskozitenin artması, püskürtme sırasında büyük bir direncin meydana gelmesine neden olur.

Dizel motorların yakıtlarındaki yüksek viskozite dumanlı egzoz gazlarına, düşük viskozite ise enjektörün aşınmasına, yakıt pompası kaçaklarına neden olmaktadır.(10)

3.1.2 Özgül Ağırlık

Belli hacimdeki yakıt ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranına o yakıtın özgül ağırlığı denir. Yani birim hacminin ağırlığıdır. Genel olarak özgül ağırlığı büyük olan yakıtlar, daha fazla karbon taşıdıklarından büyük ısı enerjisine sahiptirler.

Yakıtın özgül ağırlığı elde edildiği ham petrolün cinsine göre değişir. Yoğunluk kg/litre veya lb/galon olarak ifade edildiği gibi, hidrometre ile okunan ve derece olarak ifade edilen birimleri de vardır.

Dizel yakıtların özgül ağırlığı 60⁰ F (15,5 ⁰C)'de 0,835 ile 0,934 arasındadır.(9)

3.1.2.1 API Özgül Ağırlığı:

Bu deyim, özgül ağırlığı birden büyük ve derece olarak ifade eden ve Amerika'da çok kullanılan bir özgül ağırlık sistemidir. Metrik sistemdeki özgül ağırlık ile API özgül ağırlığı arasında şöyle bir bağlantı vardır;(9)

$$\text{API özgül ağırlığı} = \frac{141,5 - 131,5}{(\text{Özgül Ağırlık } 60/60 \text{ } ^\circ\text{F})}$$

Yakıtın ağırlığı API serisi içinde viskozite ve tutuşma kalitesinin müsaade ettiği sınırlar içinde düşük olmalıdır. Çünkü azami ekonomi yüksek ağırlıklı

yakıtlar ile elde edilir. Diğer petrol ürünlerinde olduğu gibi dizel yakıtlar da 60 °F'a göre ayarlanmış hacim esasına göre satılır. Yakıtın sıcaklık ve miktarı bilindikten sonra standart tablolardan 60 °F'daki hacim tayin edilir. 60 °F'daki özgül ağırlık bir cismin 60 °F'daki birim hacminin ağırlığının 60 °F'daki suyun ağırlığına oranıdır.(11)

3.1.3 Uçuculuk Noktası

Genel olarak sıvıların sıvı durumdan gaz duruma geçme sıcaklığına uçuculuk noktası denir. Dizel yakıtının uçuculuğu, damıtma sıcaklığının % 90'ı ile ifade edilir. Şöyle ki; bir yakıt damıtım sıcaklığına kadar ısıtılırsa miktarının % 90'ı buhar haline geçebilmelidir.

Uçuculuk kabiliyeti yüksek yakıtlar bilhassa küçük dizel motorlarında egzoz sıcaklığını, yakıt sarfiyatını ve dumanı azaltır.(9)

3.1.4 Parlama Noktası

Bu iş için yakıtlar, içinde termometre olan bir kaba konur ve alttan ısıtılır. Her 5 °C'lik ısınmada üzerine bir alev tutulur ve çekilir. Yakıt belli bir sıcaklığa geldiğinde üst kısımda parlama olur ve söner (devamlı yanmaz). Bu sıcaklık, yakıt içindeki ürünlerin buharlaşmağa başladığı sıcaklık derecesidir.

Parlama noktasının dizel yakıtlarında depolama ve yangını önleme bakımından önemi büyüktür. Genellikle emniyet için yakıtların parlama noktası 65° -150° C arasında olmalı 36 °C'nin altına düşmemelidir.(9)

3.1.5 Donma Noktası

Yakıtın soğuk havalarda kullanılma kabiliyetidir. Belli bir sıcaklığa kadar soğuyan yakıt molekülleri kristalleşir ve sıcaklık daha fazla düşünce donar. Kristalleşmiş yakıt, yakıt sistemini tıkayarak yakıtın akışına engel olur. Bu

nedenle yakıtların donma noktası bölgenin dış hava sıcaklığından 5 -10 °C daha düşük olmalıdır. Donma noktası, motor soğuk iken ve ilk hareket esnasında yakıtın tanktan motora aktarımı için oldukça önemlidir.(9,10)

Donma noktası ile viskozite arasında doğrudan bir ilişki olmadığı halde donma noktası viskozite ile birlikte yükselir veya azalır.

Yüksek donma noktası, yakıtın ısıtılması istisna edilirse, ilk hareket zorluklarına neden olmaktadır. Motorların donma noktası dolayındaki sıcaklıklarda çalıştırılmaları sırasında yakıt filtreleri tıkanır. Bu nedenle gerekli donma noktası makinenin en düşük işletme sıcaklığına bağlıdır.(10)

3.1.6 Su ve Tortu Miktarı

Yakıt içindeki su ve tortu, yakıt pompası ve enjektörlerde aşınma ve paslanmaya yol açar. Normalden fazla su, yakıtın yanmasının düzgün olmamasına sebep olur. Özel santrifüj prensibine göre çalışan aletlerle yakıt içindeki su ve tortu ölçülür. Bu miktar % 0,5 den fazla olmamalıdır.(9)

Dizel yakıtlarında bulunan su ve tortu filtrelerin servis ömürlerini azaltır, yakıt püskürtme donanımının ve makine parçalarının aşınmasına yol açar. Soğuk mevsimlerde yakıt içindeki suyun donması nedeni ile yakıt püskürtme sistemlerinde akamaz ve tıkanmalar meydana gelir.

3.2 YAKITLARIN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

3.2.1 Ateşleme Noktası

Dizel yakıtının silindir içindeki şartlarda kendi kendine ateş alma kabiliyetine, ateşleme noktası denir. Ateşleme noktası iyi olan yakıt düşük sıcaklıklarda yanar. Böylece motor çabuk çalışır, az duman yapar ve yakıt vuruntusu azalır.

Ateşleme noktası yakıtlarda setan sayısı ve dizel indeksi ile ifade edilir.(9)

3.2.1.1 Setan Sayısı

Motorin için en önemli ölçülerden biri olan setan sayısı kendi kendine tutuşabilme kabiliyetini gösteren bir ölçüdür. Setan sayısı tayininde iki ayrı sıvı muhtelif oranlarda karıştırılır ve numune yakıtın vuruntusuna eşit vuruntu yapan durum setan yüzdesi olarak tespit edilir. Burada kullanılan Setan kendiliğinden ateşleme kabiliyeti çok iyi olan ve 100 kabul edilen bir madde, Alfa Metil Naftalin ise kendiliğinden ateşleme kabiliyeti çok zayıf ve 0 kabul edilen bir maddedir.

Setan sayısı ile oktan sayısı aynı motorda saptanırsa da özellikleri bakımından birbirine tamamen zıt iki ölçüdür. Oktan sayısı yükseldikçe benzinin kendi kendine tutuşma kabiliyeti azalır. Buna karşın setan sayısı yükseldikçe motorinin kendi kendine tutuşma kabiliyeti artar.(9,11)

CFR motorunda özel bir düzenle sıkıştırma oranı değiştirilebilmektedir. Setan sayısı saptanırken kullanılan deney yakıtları ise, setan ve alfa metil-naftalindir. Setan bir petrol türevi ya da parafin serisi bir karbonlu hidrojendir. Özgül ağırlığı 0.775, kaynama noktası aralığı 285-290 °C arasında, donma noktası 16 °C ve kimyasal simgesi C₁₆H₃₄'tür. Alfa metil naftalin ise adından da anlaşıldığı gibi naftalin serisi ve bir karbonlu hidrojendir. Özgül ağırlığı 1.025, kaynama noktası 244 °C, donma noktası -21.5 °C ve simgesi C₁₁H₁₀'dur.(10,19)

Setan sayısı saptanacak yakıt, CFR motorunun yakıt deposuna doldurulur. Püskürtme avansı 13° ve motor devri 900 dev/dak da sabitleştirilir, motor çalıştırılır ve yanma tam Ü.Ö.N. da başlayacak şekilde sıkıştırma oranı değiştirilerek yanmayı tam Ü.Ö.N. da başlatan oran saptanır. Motor bu sıkıştırma oranında sabitleştirilir. Depodaki yakıt boşaltılır, yerine setan ve

alfametil-naftalinin belirli yüzdeler halindeki karışımı konur. Bir önceki deney sırasında saptanan şartları gerçekleştirecek şekilde karışım oranları değiştirilir. Aynı şartları gerçekleştiren karışım içindeki setan miktarı, setan sayısı saptanacak yakıtın setan sayısını verir. Örneğin, son karışım içindeki setan miktarı % 60 ise, yakıtımızın setan sayısı 60 olur.

Yakıtın setan sayısı düşük olursa, tutuşma gecikmesi süreci uzar, yatak yükleri artar, makinenin ilk hareketi zorlaşır ve motorda vuruntu oluşur. Setan sayısı fazla yüksek olursa da gecikme süresi çok kısılacığından püskürtülen yakıt fazla uzağa gidmeden, yani tamamen buharlaşmadan tutuşur. Enjektör memesi fazla ısınarak yakıtta kraking yapar ve bu nedenle yanma odasında karbonlaşma oluşur. Yanma kötü ve dumanlı olur.(9)

Bu saydığımız etkenler nedeni ile dizel yakıtlarında setan sayısı 45-60 arasında olmalıdır. Günümüz dizel motorlarında kullanılan yakıtın setan sayıları en yüksek 72.5 ve en düşük 20'dir. Ticari yakıtlarda setan sayısı 25-60 değerleri arasında değişmektedir.(9,10)

3.2.1.2 Dizel İndeksi (DI)

Setan sayısının saptanması pratik bir iş olmadığından bunun yerine aynı anlamı ifade eden ve "dizel indeksi" adı verilen ölçülmesi kolay bir sayı kullanılmaktadır. Dizel indeksinin bulunabilmesi için Anilin noktası ve API özgül ağırlığının bilinmesine gerek vardır.(9)

$$\text{Dizel İndeksi} = \frac{\text{API Özgül Ağırlığı}(60^{\circ}\text{F'da}) \times \text{Anilin Noktası } (^{\circ}\text{F})}{100}$$

3.2.1.3 Anilin Noktası

Anilin noktası eşit hacimde anilin ve numunenin minimum kritik çözünme sıcaklığıdır. Anilin noktası testi motorinin içindeki parafinik yapılı hidrokarbonların miktarını gösterir. Anilinin noktasının yüksek olması motorinde hidrokarbon miktarının yüksek olması demektir.(11)

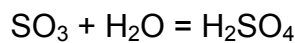
Anilin aromatik hidrokarbonları her zaman, parafinik hidrokarbonları ancak ısıtıldığında eritebilen bir eritkendir. Bu eritkenle motorin eşit hacimlerde karıştırılır ve ısıtılır. Birbiri içinde iyice erimiş olan bu karışım soğumağa bırakılır. Soğuyan eriyik ayrışmağa başlar ve iki ayrı tabaka oluşur. Bu andaki sıcaklığa, yakıtın anilin noktası denir.

Yakıtın anilin noktası böylece bulunduktan sonra API özgül ağırlığının da yardımı ile dizel indeksi saptanır.

Dizel indeksi yükseldikçe yakıtın kendi kendine tutuşma kabiliyeti de artar. Yakıtların dizel indeksleri en az 30 olmalıdır.(9)

3.2.2 Kükürt Miktarı

Yakıtların en önemli özelliklerinden birisi de içindeki kükürt (S) miktarıdır. Ham petrolün damıtılması anında motorin içine karışan kükürt, yanma zamanında oksijenle birleşerek kükürtdioksit (SO₂) veya biraz daha oksijen bulmak suretiyle kükürttrioksit (SO₃) oluşur. Bu gazlardan SO₂ pek tehlikeli değilse de SO₃ gazı özellikle motorun hafif yüklerde çalıştığı ve sıcaklığı düştüğü zamanlarda yanma artıklarından olan su buharı (H₂O) ile birleşerek sülfürik asit (H₂SO₄) oluşturur.



Çok şiddetli bir aşındırıcı olan sülfürik asit, motor parçalarının kısa zamanda aşınmasına ve çamur oluşumuna neden olur. Bu gibi aşınmaları önlemek amacı ile yakıtlardan kükürtü temizleme yolları vardır. Fakat maliyeti artıracığından yakıt içinde normal olarak %1'e kadar kükürte müsaade edilmektedir. Bu miktarın kötü etkilerini de yağlama yağı giderir.(9,26)

3.2.3 Kül Miktarı

Bu özellik, yanma sonunda yakıtın bıraktığı artıkları (külleri) ifade eder. Karbon ve hidrojen bileşiklerinden oluşan yakıtlar aslında hiç kül bırakmadan yanmalıdır.(9)

Yanma sırasında ham petrol içindeki metalik partiküller, karbonatlar ve sülfatlar küllere dönüşürler. Sodyum ve vanadyum tuzlarının belirli oranlardaki bileşikleri dizel motorlarının yanma odalarındaki sıcaklık nedeni ile erir ve yüzeylere yapışarak zımpara tozu gibi aşındırıcı etkiye, korozyona neden olur. Bu sebeple yakıtın kül bırakma yüzdesi % 0,01 den fazla olmamalıdır.(9,10,26)

3.2.4 Karbon Artığı

Yakıt ısıtılarak buharlaştırıldıktan sonra uçucu maddeleri yakılır ve geriye birtakım artıklar kalır, bunlara karbon artıkları denir. Konradson cihazı yardımı ile yapılan bu deney yakıtın yandıktan sonra makine parçaları üzerinde bırakacağı karbon artıklarını göstermesi açısından önemlidir. Motorinde müsaade edilen maksimum karbon artığı % 1'dir.(11)

Eğer dizel yakıtları oldukça yüksek miktarda artık bırakacak madde içeriyorsa eksik yanma sonucunda makine silindirlerinde karbon birikintileri meydana gelecektir.

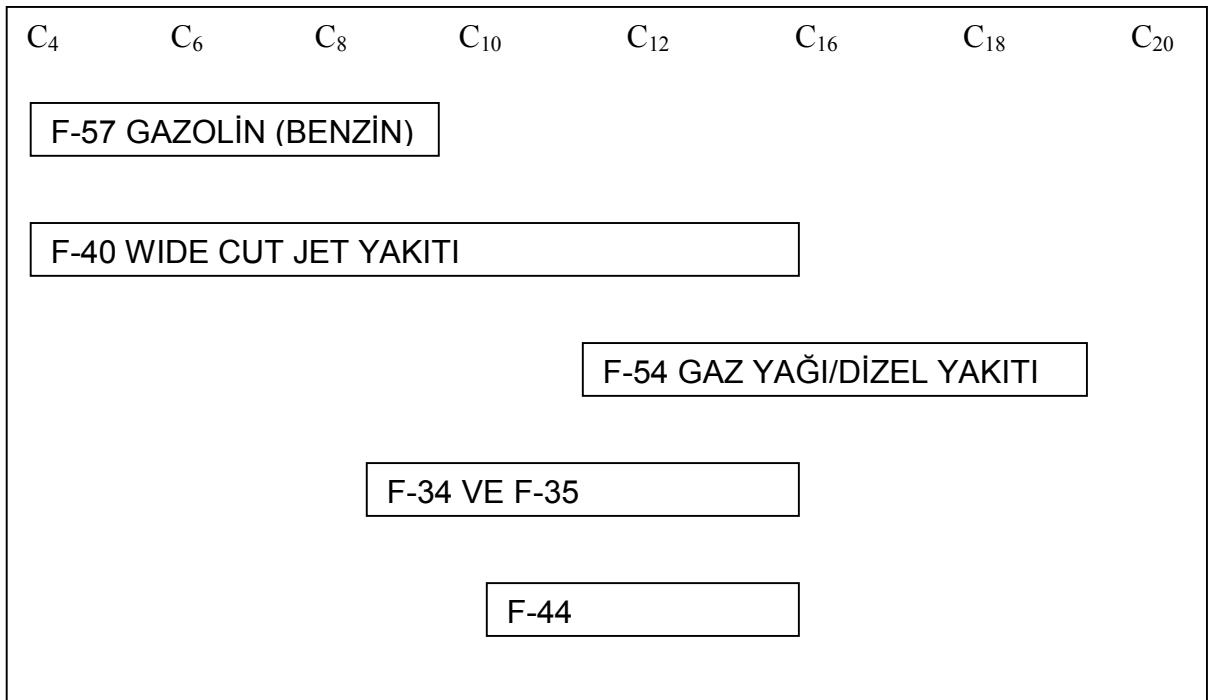
Bir yakıtın yüksek karbon artığı vermesi pistonlar, sübap yuvaları ve sübaplarda karbon yığılmalarına (is oluşumu) sebep olur. Bu artıklar enjektör

memelerinin karbon bağlamasına, meme deliklerinin tıkanmasına ve yağlama yağı ile birleşerek makine için zararlı yapışkan maddelerin oluşmasına neden olur. Bunun sonucu olarak dumanlı egzoz ve ilk harekette zorluklar meydana gelir.(10)

BÖLÜM 4 TEK YAKIT TİPİNİN SEÇİMİ

Ham petrol, birbirinden güçlkle ayrılabilen maddeler karışımıdır. Ham petrolden gaz yağı, benzin, motorin, fuel-oil, yağlama yağları, mum ve asfaltik bitüm gibi çeşitli ürünler elde edilir. Bu ürünler çoğunlukla yalnızca karbon ve hidrojenden oluşmuştur ve hidrokarbon molekülleri olarak adlandırılırlar. Diğer mevcut elementler, miktarlarının azlığı nedeniyle ihmal edilebilirler. Bunlar, az miktarda bulunmasına rağmen ürün karakteri üzerindeki etkisi nedeni ile önem arz ederler. Hidrokarbonlar; molekül içerisindeki karbon atomlarının sayısına ve dizilişine bağlı olarak normal sıcaklık ve basınç şartlarında gaz, sıvı ve katı halde bulunurlar.(12,13)

Tek tip yakıtta hem hafif destilatları, hem de ağır destilatları temsil edecek özellikler bulunmalıdır. Bu nedenle orta destilat grubunda bulunması kaçınılmazdır. C sayıları da C yelpazesinde orta bölgelerde bulunmalıdır. (14)



Şekil 4.1 NATO Yakıt Tiplerinin Karbon Atom Sayıları [15]

Farklı motor tiplerinde emniyetle kullanılabilmeye en yakın tek yakıt tipinin tespitinde; F-34, F-35, F-54 ve F-44 yakıtlarının geniş bir yüzeyde üst üste bindiği görülür. Bu sebeple tek tip yakıt olmaya aday en yakıtlar bu yakıtlardır. Biz çalışmamızda F-34 (JP-8) yakıtını kullanacağız.(15

Tablo 4.1 Motorin ve Jp-8 Yakıtının Özellikleri [12,19]

	F-54 (Motorin)	F-34 (JP-8)
Yoğunluk 15 °C g/cm³	0.820-0.860	0.775-0.840
Parlama Noktası °C (Alevlenme Noktası)	Min 55	Min 38
Donma Noktası °C	Max -18	Max -50
Viskozite 40 °C: mm ² /s -20 °C mm ² /s	2-4.5	1.2 Max 8
Setan Sayısı	Min 45	42.8 Ort. Min 37
Ortalama Isıl Değer MJ/Kg	H _o = 45.7 H _u = 42.45	Min 42.8
Kükürt (%)	0.3	0.3
Destilasyon °C		
% 10	200	209
% 20	220	239
% 50	280	311
Son Nokta	Max 371	Max 473
Kül (% Kütlece)	0.01	
Su ve Dip Tortusu (% hacimce)	0.02	

4.1 Tek Yakıttan Beklenen Avantajlar

4.1.1 Teknik Avantajları

F-34 ve F-35 yakıtının karakteristik özellikleri sivil havacılıkta kullanılan gaz yağı esaslı yakıtlarla hemen hemen özdeştir.

F-34 ve F-35 yakıtlarının mikrobiyolojik kirlenmeye eğilimleri daha azdır ve motorin ve dizel yakıtlarına göre depolanma durumunda özelliklerini muhafaza etmeleri daha kolaydır.

Ticari jet yakıtı F-35'in temini bütün dünya ülkelerinde daha kolaydır ve F-34'e çevrimi ilave katkı maddeleriyle mümkündür.

F-34, F-35'e nazaran mikrobiyolojik koruma ve yağlayıcılık özelliğinin daha fazla olmasına ilaveten düşük sıcaklıklarda donmaya karşı koruma sağlar.

Çok uçucu olan benzin ve F-40'ın bu çalışmada tercih edilmemesi yangın riski nedeniyledir. (16)

4.1.2 Lojistik Avantajları

Sadece bir ürün kullanımı,

Global ürün temin problemlerini ortadan kaldırması ve lojistik temin zincirini basitleştirilmesi,

Güç çalışma ortamlarında kullanıcılar arasında kullanıma imkan tanınması (acil durumda uçak ve diğer destek teçhizatlarının aynı tankerden yakıt ikmali yapması),

Tek tip yakıt için gerekli tek bir alt yapıyla depolama alanı tasarrufu sağlanacak olması.(16)

4.1.3 İşletmesel Avantajları

Altyapı maliyetini düşürmesi, aynı miktar depolama hacmi için daha az bölme gerektirmesi ve temizleme maliyetinin az olması,

Taşıma ve dağıtım maliyetinin düşük olması (Bir tek ürünün sevk ve idaresinin daha kolay ve basit olması),

Sivil kara yakıtlarının çevre kirliliğine daha fazla yol açması (kanun koyucular petrol üreticilerini daha düşük sülfür miktarı içeren ve daha çevreci yakıtlar üretmeleri için zorladıkça mazot fiyatlarının artacağı bir gerçektir). (16)

4.2 Tek Yakıtın Dezavantajları

F-34'ün tek yakıt olarak kullanımının bu yakıtta olan gereksinimi arttırması,

Bazı durumlarda ekipmanlarda küçük modifikasyonlar yapmak ya da katkı maddeleri kullanmak zorunluluğu. (17)

BÖLÜM 5 DİZEL MOTORLARINDA YANMA

Dizel motorlarında yanma olayı, yanma odasına yakıtın püskürtülmeye başladığı andan, yanma ürünlerinin dışarıya atıldığı egzoz zamanı başlangıcına kadar geçen süre içerisindeki karmaşık fiziksel ve kimyasal olayları kapsamaktadır. Dizel motorlarında yanma odası içinde homojen bir karışım yoktur. Yüksek sıcaklık ve basınçtaki ortama püskürtülen yakıtın buharlaşmaya başlaması ile birlikte reaksiyonlar da oluşmaya başlamaktadır. Ancak başlangıçta, bu reaksiyonların hızları çok düşük olduğundan basınçta belirgin bir artış görülmez. Tutuşma gecikmesi süresi sonunda yanma odasındaki alev gözlemlenebilir ve P-V diyagramında basınç artışı belirgin hale gelir.(18)

Dizel motorlarında, yanmanın tutuşma gecikmesinden sonraki aşamasında, benzin motorlarında olduğu gibi yanmış bölgeden yanan bölgeye enerji ve kütle iletimi sonucunda yanmanın belli bir yön ve hızda gerçekleşmesi söz konusu değildir. Dizel motorunda yanma olayını etkileyen ve yanmayı devam ettiren, yanma bölgesindeki sıcaklık, basınç, karışım oranı ve oksijen miktarını belirleyen yerel koşullardır. Ancak yanmanın gelişimi yerel koşullara bağlı olmakla birlikte, komşu bölgelerden olan ısı ve kütle iletimi ve yanma odasındaki hava hareketleri de bu gelişime etkin olmaktadır. Pistonun ÜÖN'ya yakın bir konumunda yanma odasına sıvı halinde püskürtülen yakıt demetini oluşturan damlacıklar ısınır ve buharlaşmaya başlar. Havanın karşı basıncı tarafından frenlenen demette, damlacıklar yavaşlar ve küçük damlacıklar demetin dış kısmına doğru yönelir. Tutuşma için gerekli hava-yakıt oranı sağlandığında ilk yanma burada başlar. (18,19,26)

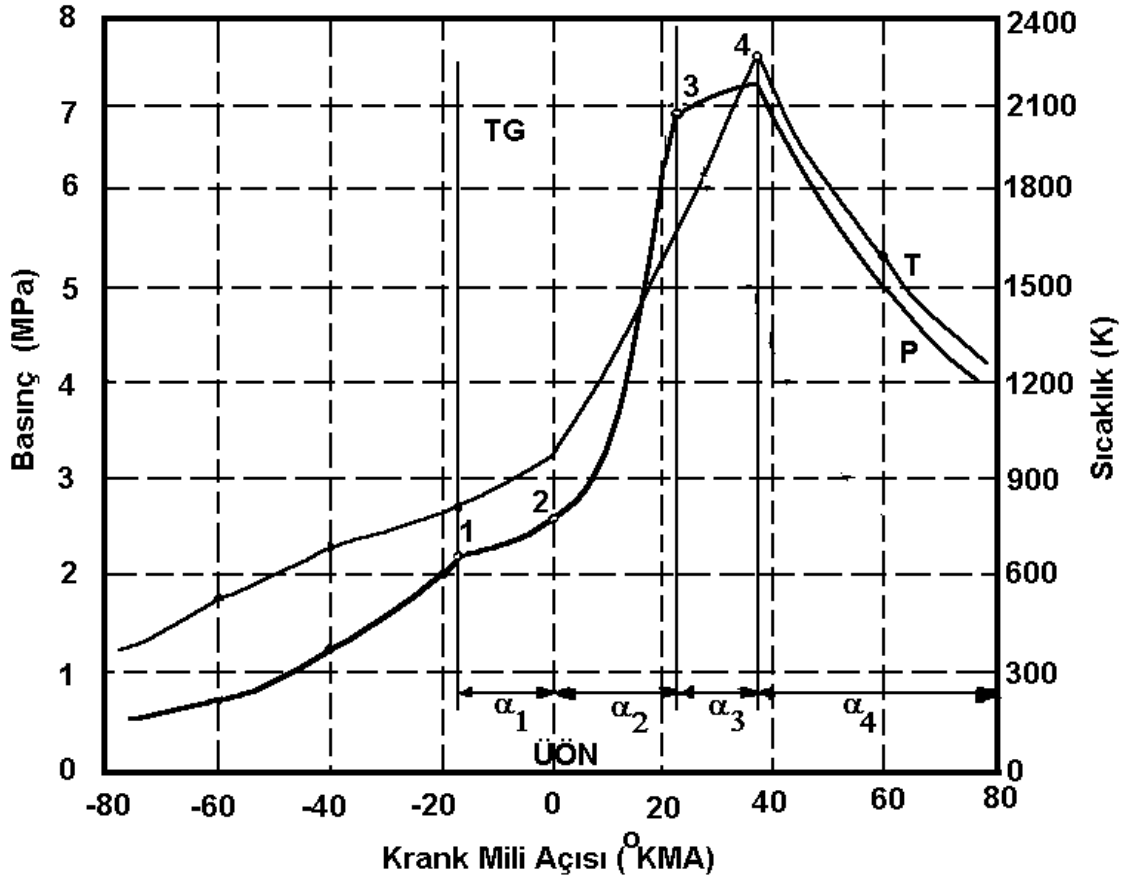
Dizel motorlarındaki yanma olayı dört faza ayrılarak incelenebilir.

A-Tutuşma Gecikmesi,

B-KontROLSÜZ YANMA,

C-Difüzyon Kontrollü Yanma,

Ç-Art Yanma,



Şekil 5.1 Dizel Motorunda Yanma Fazları ile Silindir Basıncının Gelişimi [18]

Burada püskürtme başlangıcı (1) noktasından, tutuşma başlangıcı (2) noktasına kadarki süre tutuşma gecikmesi olarak tanımlanır. Tutuşma gecikmesi sonunda kontrolsüz yanma başlar ve genellikle maksimum basıncın olduğu (3) noktasına kadar devam eder. Daha sonraki yanma fazı difüzyon kontrollü yanma fazı olup, bu fazın maksimum yanma odası sıcaklığına ulaşmaya kadar (4 noktası) devam ettiği kabul edilir. Genişlemenin ilerlemesi sonucu sıcaklığın düşmeye başlaması ile art yanma fazı başlar. (18,19,26)

5.1 Tutuşma Gecikmesi

Püskürtme başlangıcından ilk alevin görölmesine (tutuşma) veya hissedilir basınç artışının gerçekleşmesine kadar geçen süreye tutuşma gecikmesi (TG) denir. Püskürtme piston ÜÖN'ya varmadan başlatılır. Buna püskürtme avansı (PA) denir ve krank mili açısı (KMA) olarak ifade edilir.(10)

Dizel motorlarında yakıt sıvı halde püskürtölür. Silindire giren yakıtın sıcaklığı, silindirdeki sıkıştırılmış havanın sıcaklığından düşüktür.(50-70 °C). Yanma odasına ilk yakıt püskürtölmeye başlandığı andan itibaren damlacıklara ayrılma, buharlaşma, ufak moleküllere parçalanma ve kimyasal reaksiyonlar da başlamaktadır. Ancak kimyasal reaksiyonların başlaması ile ilk görölabilir alevin ortaya çıkışı arasında belli bir süre geçmektedir. Püskürme başlangıcından alevin gözükmesine ve P-V diyagramında basıncın ani olarak artmasına kadar geçen bu süreye tutuşma gecikmesi denilmektedir. Tutuşma gecikmesi süresince yakıt tutuşmaya hazırlanır. Bu süre içinde buharlaşan yakıtın silindir ortamından çektiği ısı nedeniyle silindir basıncında bir azalma gözlenir.(18,19,25,26)

Tutuşma gecikmesi sırasında yakıt damlalara ayrılır, buharlaşır ve hava ile karışır. Bu olaylar fiziksel gecikmeyi (FTG) oluşturur. Ayrıca kimyasal reaksiyonların çok yavaş olması nedeniyle de kimyasal gecikme (KTG) olur. Bu iki gecikme, çakışan bir şekilde birlikte oluşmaktadır. Böylece 1-3 milisaniye kadar süren toplam tutuşma gecikmesi meydana gelir.(18,19)

$$TG = (FTG) + KTG$$

Damlacık etrafındaki ilk tutuşma damlacıktan buharlaşan yakıt ile havanın karışım oranını $\lambda=1$ civarında olduğu yerde başlamaktadır. Çünkü ilk tutuşma kimyasal reaksiyonların hızı önemli rol oynamaktadır ve bu hız $\lambda=1$ civarında en yüksektir. Deneyler 5 μ m'lik bir damlacığın 800 °K'lık ortamda 0,6 ms'de buharlaştığını, buna karşın TG süresinin ise 1 milisaniye olduğunu

göstermektedir. Bu bakımdan, buharlaşmanın yeterli hızda olduğu, TG'nin büyük bir kısmının kimyasal reaksiyonlar tarafından oluşturulduğu söylenebilir.(18)

Tutuşma gecikmesi süresi uzun ise yakıt ile havanın karışması için daha çok zaman var demektir. Tutuşma gecikmesi süresindeki krank dönme açısına gecikme açısı denir. Bu açı krank açısı hızı ile tutuşma gecikmesi süresinin çarpımına eşittir. Yakıt pompası krank miline bağlı olduğundan tutuşmadan önce püskürtülen yakıt miktarı gecikme açısı ile orantılıdır. TG süresi büyük olduğunda, püskürtmenin devam ettiği bu zaman içerisinde yanma odasına giren ve buharlaşan yakıt miktarı artar ve bu yakıt daha sonra kontrolsüz olarak (patlama şeklinde) yandığında ani basınç yükselmesi oluşur. Motorun bu şekilde çalışması dizel vuruntusu olarak adlandırılır. Motorun düzgün yumuşak ve gürültüsüz çalışması için dizel vuruntusunun önlenmesi yani tutuşma gecikmesi süresinin kısaltılması ve bu süre boyunca yanma odasına gönderilen yakıt miktarının minimum tutulması gerekmektedir.(18,19)

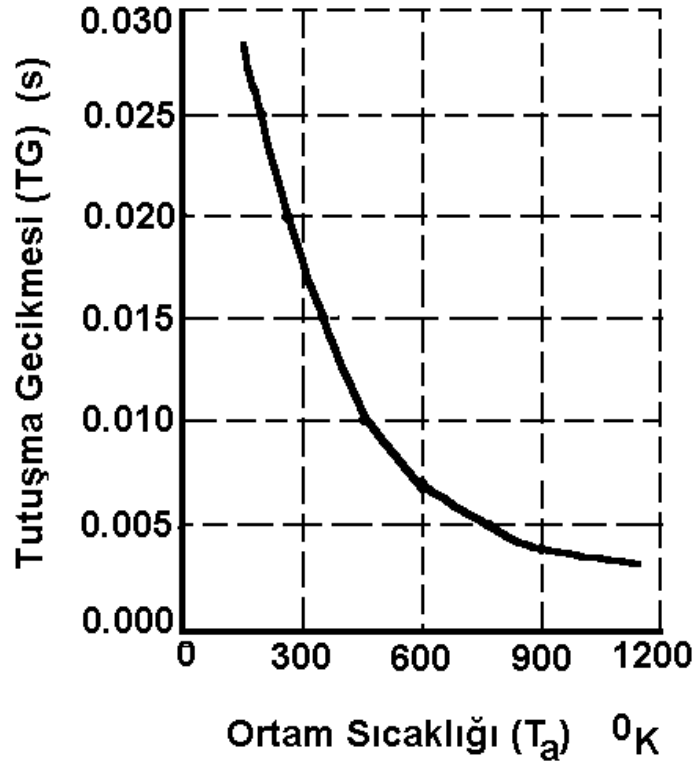
5.1.1 Bomba Deneyinde Tutuşma Gecikmesine Etkiyen Faktörler

TG yanmanın gidişini etkileyen en önemli etkidir. Bu bakımdan TG'yi etkileyen faktörlerin bilinmesi gerekmektedir. TG'nin ölçülmesi ve etki eden faktörlerin belirlenmesi amacıyla bomba (kapalı ve ısıtılmış hacme yapılan püskürtme) ve motor deneyleri yapılmaktadır. Bomba deneyleri tutuşma gecikmesine etki eden parametrelerin birbirinden bağımsız olarak incelenmesi yönünden tercih edilir. Bu deneylere göre TG aşağıdaki iki ana faktörden etkilenmektedir.(18)

5.1.1.1 Ortam Sıcaklığı

Ortam sıcaklığı arttıkça, TG hızla azalmaktadır (Şekil 5.2). Yakıt jetinin duvarlara kadar ulaşması durumunda eğer duvarlar sıcaksa TG süresi önemli ölçüde kısalır. Yanma odası sıcaklığını artırıcı çeşitli yapısal ve motorun

çalışma koşullarına bağlı etkenler de TG'yi azaltıcı yönde etki ederler. (18,19,25)



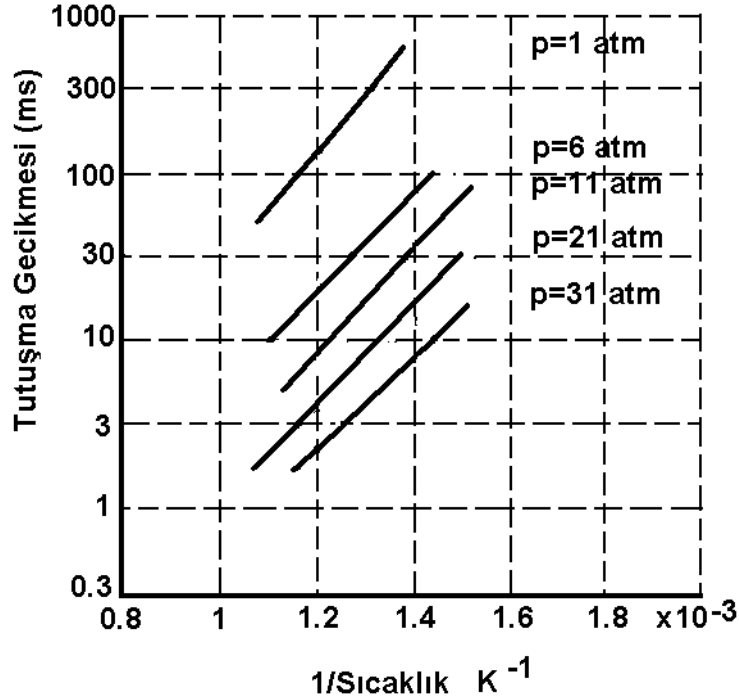
Şekil 5.2 Tutuşma Gecikmesinin Ortam Sıcaklığı ile Değişmesi [18]

5.1.1.2 Ortam Basıncı (P_a)

Ortam basıncının artması, tutuşma gecikmesini azaltmaktadır (Şekil 5.3). Motordaki bu durum ise bombada yapılan deneylerden farklıdır.

Motordaki çalışma koşullarında sıkıştırma süresi boyunca sıcaklık ve basınç sürekli değişmektedir. Ancak püskürtme süresi boyunca (ÜÖN civarında) sıcaklık ve basınçtaki değişim çok fazla değildir. Bu nedenle sabit bir sıcaklık ve basınç kabulü bomba deneylerinin sonucu motor için de ölçü olarak alınabilir. Ancak ortalama sıcaklık ve basınçların daha küçük olacağı dikkate alınmalıdır. Motorlardaki sıkıştırma sonu sıcaklıkları

(600-900 K) için TG'deki değişim azdır. Ön yanma odalı motorlarda soğuma nedeniyle ön yanma odasındaki basınç ve sıcaklık değerleri daha düşük kaldığı için bu tür motorlar TG açısından daha kötü durumdadır.(18,19)



Şekil 5.3. Tutuşma Gecikmesinin Ortam Basıncı ile Değişmesi [18]

5.1.2 Motorlarda Gerçek Çalışmada Tutuşma Gecikmesine Etkiyen Faktörler

Motorlarda yanma odasındaki hava hareketleri ve türbülans nedeniyle, buharlaşma hızı artmakta ve aynı zamanda Hava Fazlalık Katsayısı yerel olarak değişim göstermektedir. Hava hareketleri cidarlarla olan ısı iletimini de etkilemektedir. Bu nedenle bombadaki koşullardan farklı koşullar oluşmaktadır. Düşük sıcaklık seviyelerinde, sıcaklık TG üzerinde daha etkin olduğu için fazla soğutulmuş motorlarda TG süresi daha fazladır.

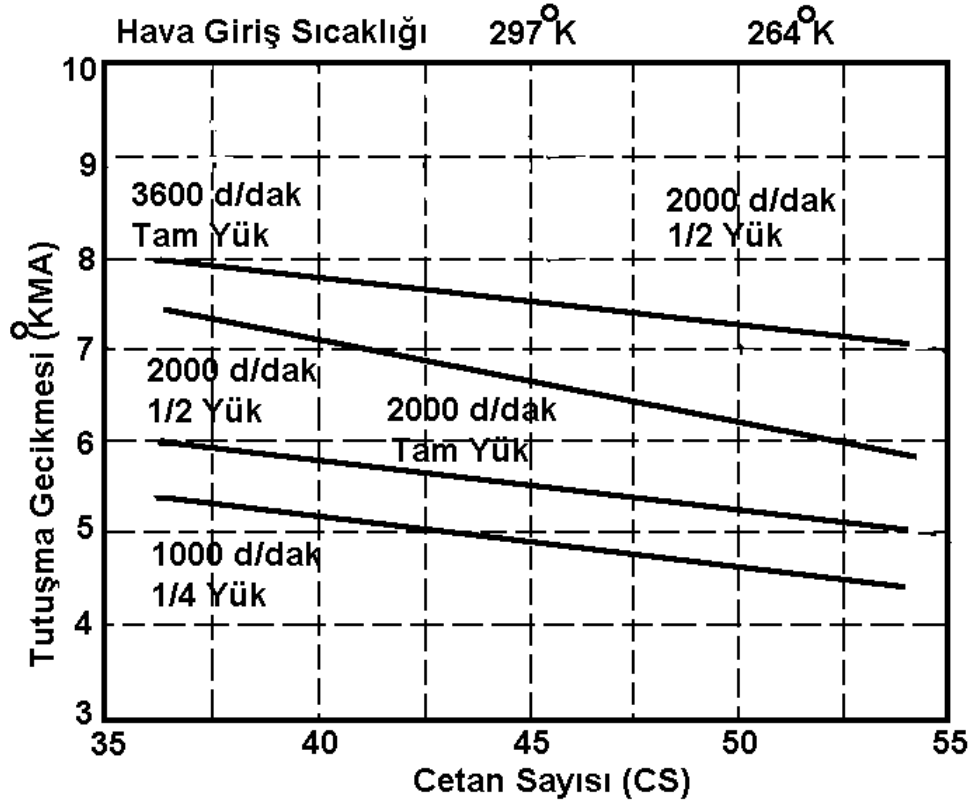
Sonuçta, motorlarda TG'ye etki eden faktörleri işletme etkenleri, yapısal etkenler ve yakıt etkenleri olarak gruplandırabiliriz.(18,19)

5.1.2.1 İşletme Etkenleri

5.1.2.1.1 Dönme sayısı, n

Motor üzerinde yapılan deneylerde, dönme sayısının değişiminin TG'yi etkilediği görülmüştür. Dönme sayısının artması sonucu, bağıl olarak azalan gaz kaçaqları nedeniyle erişilen basınç ve sıcaklıklar artmakta, buna karşın ısı iletimi için ayrılan süre azalmaktadır.

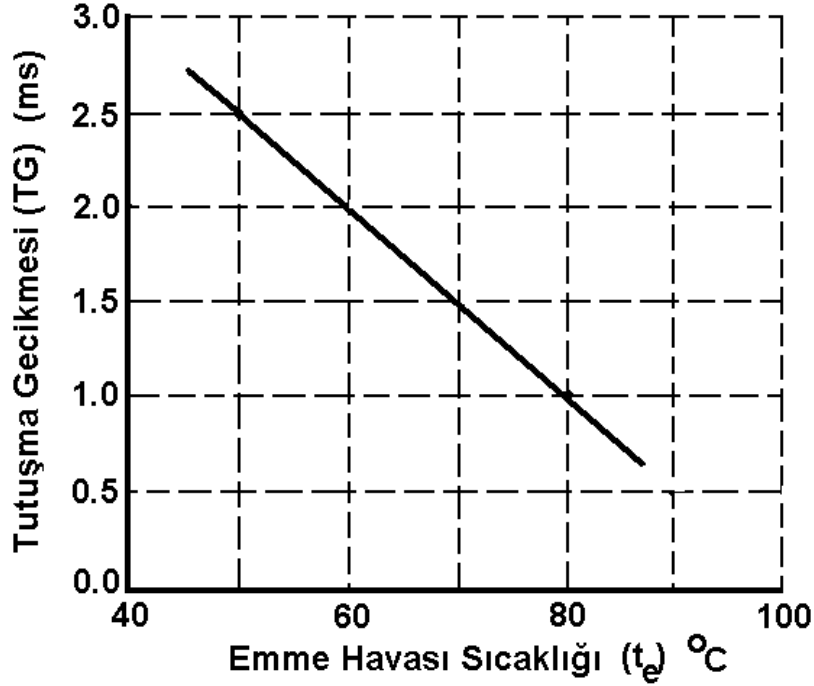
Diğer taraftan artan hava hareketleri sonucu madde ve ısı iletimi artmaktadır. Sonuç olarak artan dönme sayısı ile, TG her zaman azalmaktadır. Ancak TG artan dönme sayısı ile zaman (saniye) olarak azalmasına karşın, ⁰KMA olarak artmaktadır (Şekil 5.4). Bu bakımdan, benzin motorlarının aksine, dizel motorlarında dönme sayısının artması ile birlikte vuruş da artmaktadır. Bu da dizel motorunda dönme sayısını kısıtlayıcı bir etken olarak ortaya çıkmaktadır.(18,19)



Şekil 5.4 Dizel Motorunda Dönme Sayısının Tutuşma Gecikmesine Etkisi [18]

5.1.2.1.2 Emme Hava Sıcaklığı ve Basıncı T_e ve P_e

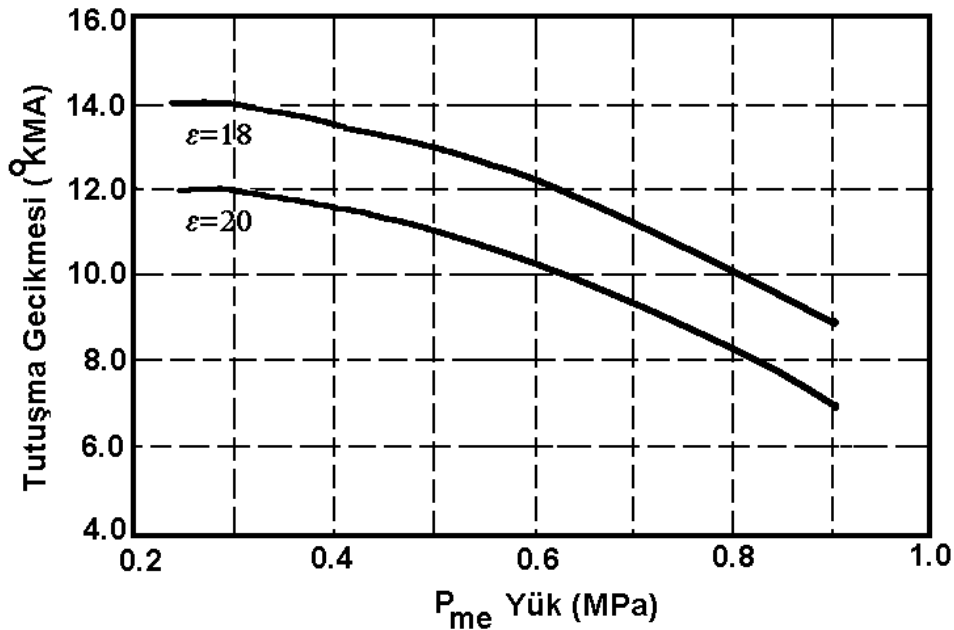
Emme havası sıcaklığı ve basıncı azaldıkça TG artmaktadır (Şekil 5.5). Çünkü sonuçta sıkıştırma sonu değerleri ile birlikte ortalama değerler de düşmektedir. (18,19)



Şekil 5.5 Dizel Motorunda Emme Havası Sıcaklığının Tutuşma Gecikmesine Etkisi [18]

5.1.2.1.3 Motorun Yük Durumu, P_{me}

Motorun yükü (ortalama efektif basıncı) arttıkça giren enerji miktarındaki artışla birlikte sıcaklık seviyesi de artacağından TG zaman ve 0KMA olarak azalacaktır (Şekil 5.6). Dizel motorlarda, normal olarak kısılma kelebeği bulunmadığı için, yük azaldıkça emme basıncında bir düşme olmaz. Ancak Hava Fazlalık Katsayısı (HFK) azaldığı için sıcaklıklar düşer ve TG'si artar. Düşük yüklerde motorun soğumasına engel olmak için, HFK'yı küçük tutmak amacıyla bazı motorlarda kısılma kelebeği kullanılmaktadır. Bu durumda ise sıcaklıklar fazla düşmediği için, tutuşma gecikmesindeki artış daha az olur.(18)



Şekil 5.6 Dizel Motorda Yık Durumunun Tutuşma Gecikmesine Etkisi [18]

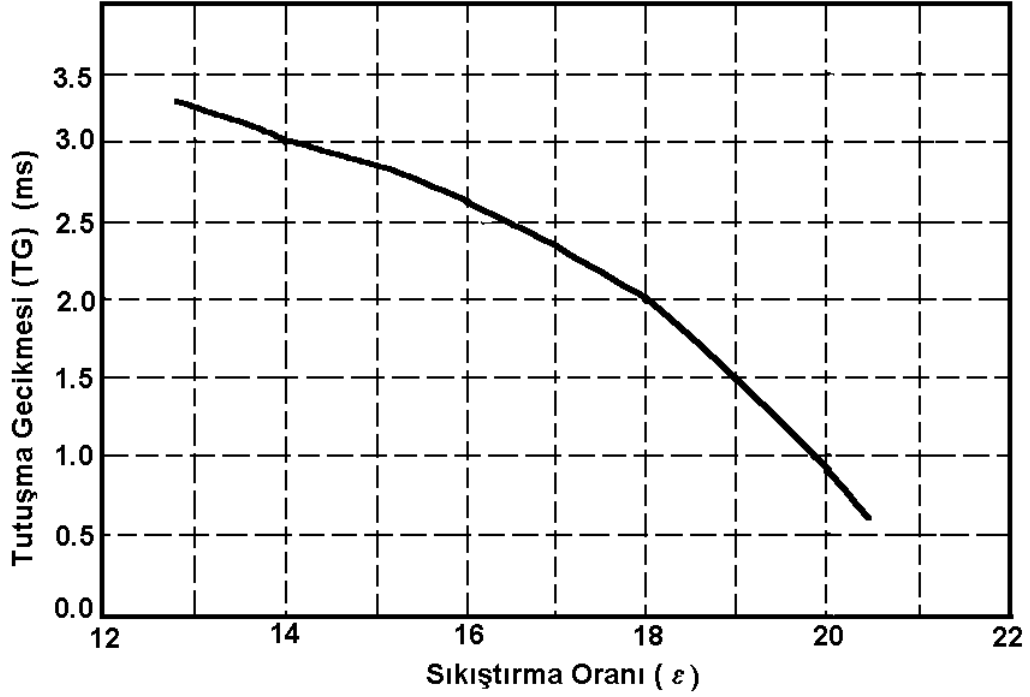
5.1.2.1.4 Oksijen Konsantrasyonu

Yanma odasındaki oksijen konsantrasyonunun TG'ye etkisi büyüktür. Yanma odasında bir önceki çevrimden kalan egzoz gazları, buradaki oksijen konsantrasyonunu düşürmektedir. İyi süpürme yapılmayan 2-zamanlı motorlarda ve NO_x emisyonunu azaltmak amacıyla EGR (egzoz gazları re sirkülasyonu) uygulanan motorlarda, oksijen konsantrasyonunun azalmasıyla birlikte TG büyümektedir.(18,19)

5.1.2.2 Yapısal Faktörler

5.1.2.2.1 Sıkıştırma Oranı ϵ

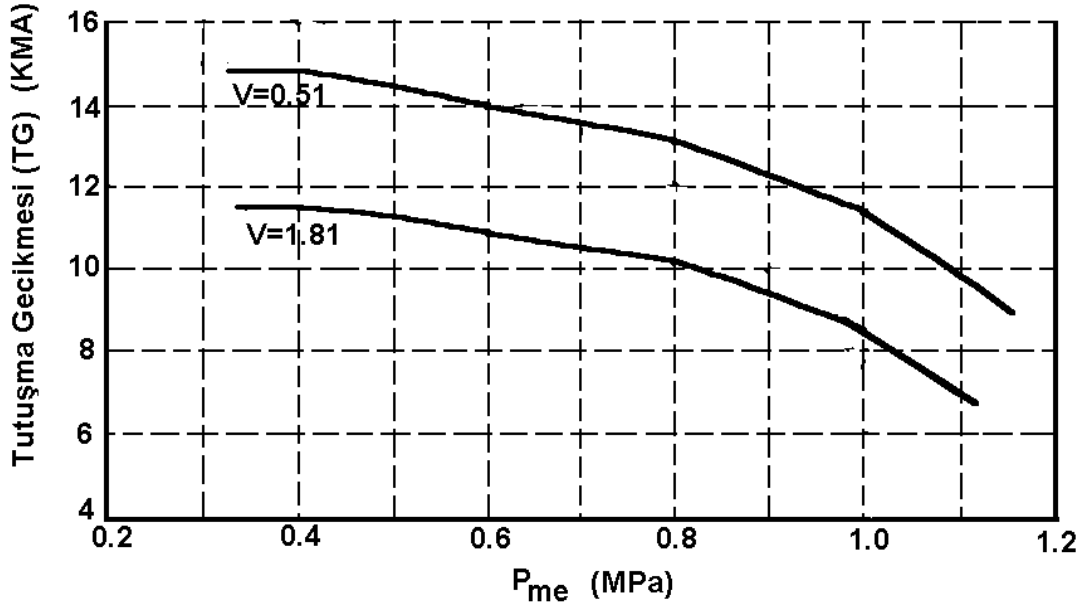
Sıkıştırma oranı artıkça, artan basınç ve sıcaklıklar nedeniyle TG azalmaktadır (Şekil 5.7). Bu nedenle soğumanın daha fazla, dolayısıyla sıcaklıkların düşük olduğu bölünmüş yanma odalı dizel motorlarında sıkıştırma oranı genellikle daha yüksek seçilmektedir.(18,25)



Şekil 5.7 Dizel Motorda Sıkıştırma Oranının Tutuşma Gecikmesine Etkisi [18]

5.1.2.2.2 Motorun Soğutma Koşulları

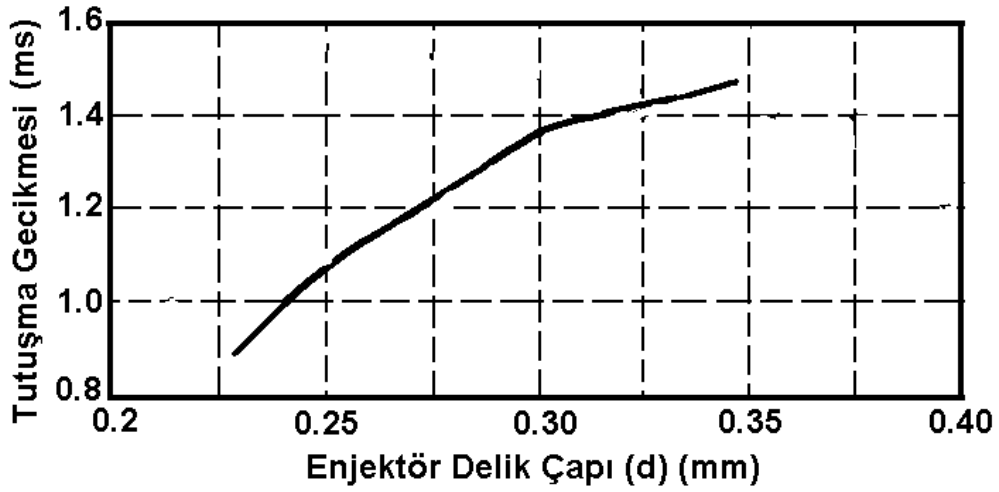
Motorun bazı bölgelerinin yerel olarak daha sıcak olması da TG'ye etki etmektedir. Özellikle ön yanma odalı motorlarda ön yanma odası daha sıcak tutularak TG azaltılmaktadır. Ayrıca motorun boyutları da yanma odası sıcaklıklarını etkilediğinden, TG'ye etki etmektedir. Motor boyutları küçüldükçe, yanma odasının yüzey/hacim oranı da artmaktadır. Böylece soğutmaya giden ısı miktarı artar ve sıcaklıkların düşmesi ile birlikte TG'de artış gösterir. Bu nedenle benzin motorlarının aksine, dizel motorlarında motor boyutu büyüdükçe vuruntu (dizel vuruntusu) azalır (Şekil 5.8). (18,25)



Şekil 5.8 Dizel Motor Boyutlarının Tutuşma Gecikmesine Etkisi [18]

5.1.2.2.3 Püskürtme Kalitesi

TG üzerinde püskürtme kalitesinin (yakıt püskürtme basıncı ve enjektör delik çapının) etkisi pratik sınırlar içinde çok azdır. Çünkü her tip demette, demet kenarında tutuşabilecek çapta küçük damlacıklar bulunmaktadır. Enjektör delik çapının TG'ne etkisi püskürtme basıncından daha fazladır. Delik çapı büyüdükçe damlacık çapları büyüdüğünden TG de artmaktadır (Şekil. 5.9).(18,25)



Şekil 5.9 Dizel Motor Enjektör Boyutlarının Tutuşma Gecikmesine Etkisi [18]

5.1.2.2.4 Yakıt Faktörleri :

TG'yi etkileyen en önemli faktör yakıtın setan sayısıdır. Setan sayısı arttıkça TG azalmaktadır. Ancak setan sayısının çok yükselmesi durumunda da bazı sorunlar çıkmaktadır. Bu durumda yakıt enjektörden çıkar çıkmaz kısa bir mesafede tutuşmakta ve enjektörün uç kısmında koklaşan yakıt, enjektör memesinin tıkanmasına neden olmaktadır. Bu bakımdan motorun dönme sayısına (hızına) bağlı olarak setan sayısı 25-65 sınırları arasında tutulmaktadır. (18,19,25,26)

5.2 Kontrolsüz Yanma

Tutuşma gecikmesinden sonra yanma olayı başlamaktadır. Püskürtülen yakıt demetinin dış kısmında buharlaşma ve hava ile karışma daha iyi şekilde gerçekleşmektedir. Bu nedenle yanma genellikle bu kısımdan başlamaktadır. Ancak dizel motorlarında yanma tutuşmanın oluşabileceği yerel koşulların sağlandığı çeşitli merkezlerden başlayabilir.(18,19)

Tutuşma gecikmesi süresince yakıt silindire girmekte ve buharlaşmaktadır. Yanma başladığında ise yakıt oksijenle temas etmekte ve büyük bir hızla yanmaktadır. Kontrolsüz yanma fazında, TG sırasında birikmiş olan yakıt yanarak ani basınç yükselmesine neden olmaktadır. Basınç artış hızı fazla ise silindir, piston, piston pernosu gibi elemanların birbirine çarpması sonucu sert bir ses (dizel vuruntusu) meydana gelir. Yüksek bir basınç yükselme hızı hareketli motor parçalarına ani bir yük uygulanması demek olacağından bu parçalarda yorulmanın sebep olabileceği hasarlar görülebilir. Motorun yumuşak çalışmasının sağlanması için dizel vuruntusunun önlenmesi gerekmektedir. Bu da TG süresinin kısaltılması ve bu süre içinde biriken yakıtın az tutulması ile sağlanır. Dizel motorlarda basınç artış hızı ($dp/d\alpha$) genellikle 0.2-0.3 Mpa/⁰KMA mertebelerindedir. Bu değer 0.4-0.5 Mpa/⁰KMA değerlerine ulaştığında motor sert çalışmaktadır. Kabul edilebilen en yüksek basınç artış hızı da 1 Mpa/⁰KMA değerindedir. Bu sınırın aşılmaması için TG'nin azaltılması gerekmektedir.(18,19)

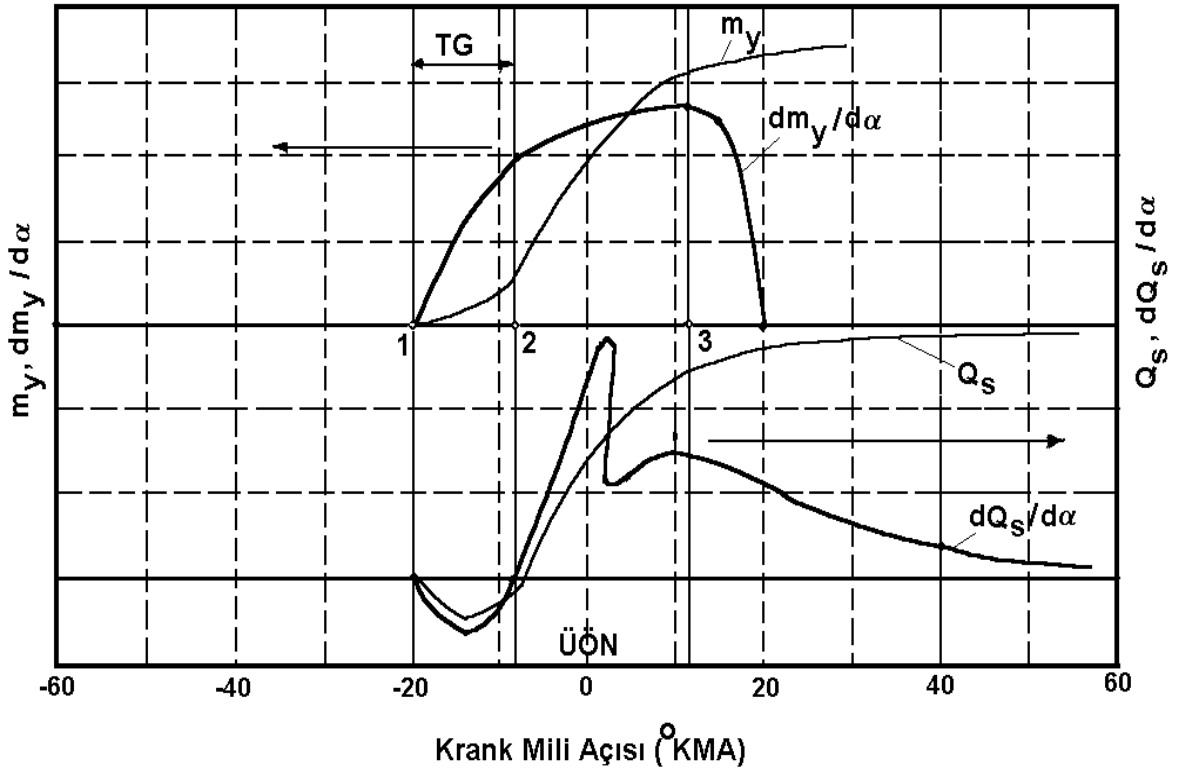
5.3 Difüzyon Kontrollü Yanma

Dizel yanmasının, ana yanmayı oluşturan üçüncü fazı difüzyon kontrollü yanmadır. TG sırasında yanma odasında biriken yakıtın ani olarak yanmasından sonra kontrollü yanma aşamasına geçilir. Ani yanma süresi sonunda, sıcaklık ve basınç çok yüksek olduğundan bu safhayı takiben püskürtülen yakıt oksijen bulunca hemen yanar. Bu fazda yanma hızı, buharlaşma hızı ve yakıt buharının hava ile karışma hızı ile belirlenmektedir. Yakıt demetinin kalitesi (ortalama damlacık çapı) hava hareketleri ve HFK'nın yerel olarak birden büyük değere sahip olması bu faz için özellikle önemlidir.

Difüzyon yanmasında yanma hızı, önceden karışmış yakıt-hava karışımlarında ilerleyen alev cephesinden farklı olarak tanımlanmalıdır. Dizel yanma odasında uygun koşullar sağlandığında yakıtın buharlaşması ve tutuşması birden fazla noktada gerçekleşmektedir.(18,19)

Bu nedenle yanma hızını, oda içinde açığa çıkan toplam ısı miktarının değişimi olarak tanımlamak gerekmektedir. Yanma odasında ısının açığa çıkış hızı buharlaşma hızı, difüzyon ve kimyasal reaksiyonlarda belirlenmektedir.

Kontrollü yanma fazında, yakıtın yanma hızı karışımın oluşum hızı ile kontrol edilmektedir (Şekil 5.1). Sıcaklıkların yüksek olduğu ÜÖN'ya yakın konumlarda yanmanın tanımlanmasına çalışılmaktadır. Karışma ve buharlaşma yeterince hızlı değil ise yanma genişlemenin ileri aşamalarında tamamlanmış olacaktır. Ancak genişleme sonucu sıcaklıklar düşeceğinden yakıtın tümünün yanması olasılığı da azalacaktır. Bu durumda tam yanmamış karbon partikülleri (is) oluşur ve motorun verimi düşer.(18,19,26)



Şekil 5.10 Dizel Motorunda Püskürtme ve Yanma Kanunu [18]

Motorun ısı veriminin yüksek olması için yanmanın mümkün olduğunca ÜÖN'ya yakın tamamlanması istenir. Ancak yanmanın başlangıcında da, dizel vuruntusunun önlenmesi açısından, ani olarak yanan miktarın az olması istenmektedir. Ayrıca yanmanın uzun sürmesi de istenmemektedir. Bu koşullar birbirleri ile çelişmekte olduğundan, yumuşak çalışma ve yüksek verim (ekonomiklik) arasında bir optimizasyon gereklidir.

Dizel motorunda $dm_y/d\alpha$ yakıt püskürtme hızı (püskürtme kanunu) ve püskürtülen bu yakıtın yanması sonucu birim KMA başına doğan ısı miktarının ($dQ_s/d\alpha$ yanma kanunu) değişimi genelde Şekil 5.10'deki gibidir. Bu şekilde püskürtülen yakıt miktarı (toplam püskürtülen miktarın yüzdesi olarak) m_y ve açığa çıkan ısı miktarı (toplam ısı miktarının yüzdesi olarak) Q_s eğrileri ile verilmiştir. (18,19,26)

5.4 Art Yanma

Kumandalı yanma sonundan egzoz süpabının açılmasına kadar geçen süre art yanma safhası olarak ele alınır. Yanma sürecinde maksimum sıcaklığa ulaşıldıktan sonra art yanma fazı başlar. Art yanmada yanma hızı, yine difüzyon hızı ve karışım oluşum hızı ile belirlenmektedir. Ayrıca çok zengin karışımlarda eksik yanmış yanma ürünleri de art yanma sırasında yanarlar.(18,19)

Genişleme zamanında gerçekleşen art yanma ÜÖN'den sonra 70-80 °KMA kadar devam eder. Yanmanın egzoz zamanına geçilmeden önce tamamlanması gerekmektedir. (18)

5.5 Genişleme Olayı

Genişleme zamanı boyunca motordan güç elde edilmektedir. Sıkıştırma zamanından farklı olarak burada ısı geçişi yalnız sıcak gazlardan çeperlere doğrudur.

Genişleme zamanı sonlarında genişleme eğrisi sıkıştırma eğrisi gibi devam eder.

5.6 Egzoz Olayı

Silindirlerdeki yanma ürünlerinin dışarı atılmasına egzoz olayı denir. Bu olay dört ve iki zamanlı motorlarda farklıdır.

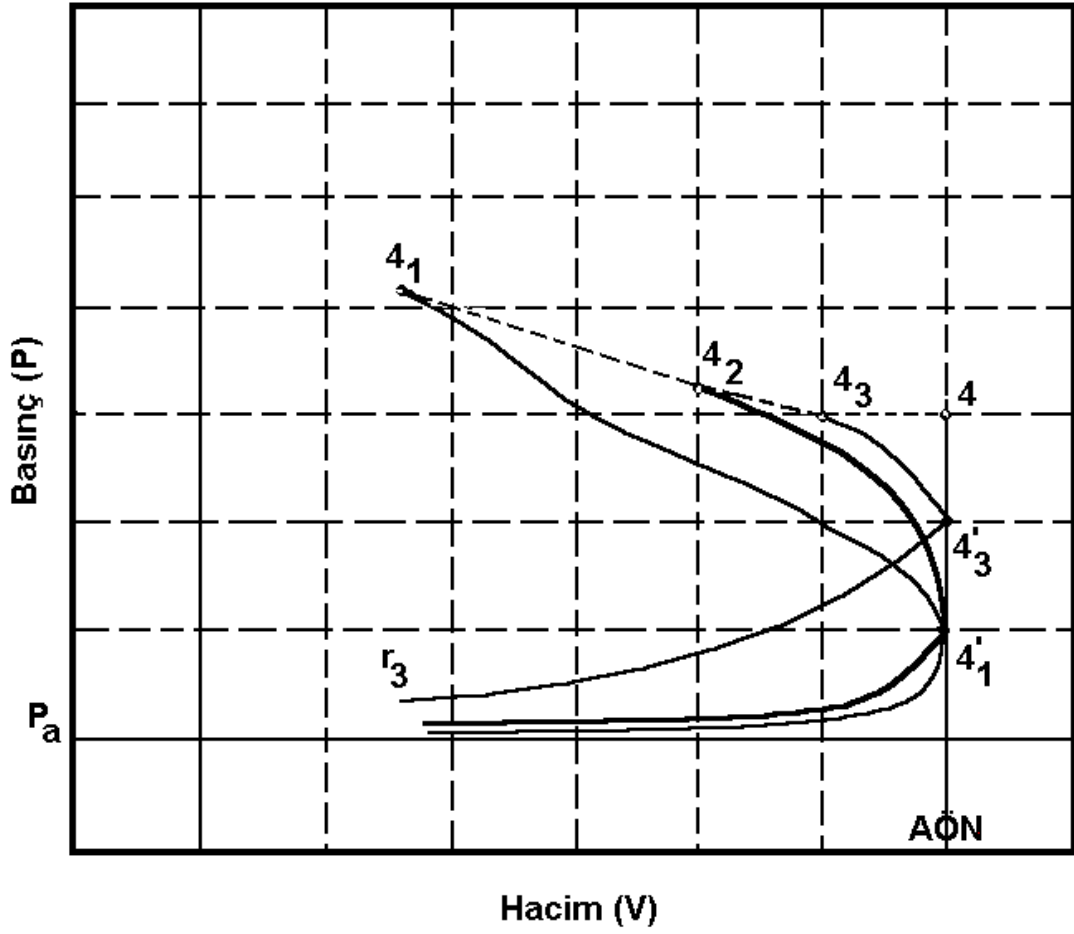
Dört zamanlı motorlarda egzoz olayı gazların akışına göre çeşitli fazlar içerisinde incelenebilir.

İlk faz egzoz supabının açılmasından AÖN'ya kadar geçen zamandır. Egzoz süpabı açıldığında gazların basıncı 0.3-0.5 MPa olup, hızları 600-700 m/s'dir. Gazların yaklaşık %60-70'i bu fazda dışarı çıkar.

İkinci fazda piston AÖN'dan ÜÖN'ya doğru hareket ederken , silindirde kalan ürünlerini dışarı atar. Bu fazda gazların hızı ortalama 200-250 m/s civarındadır.

Son fazda ise yanma ürünleri, silindire emilen taze hava veya yakıt-hava karışımının etkisiyle dışarı atılır. Supap bindirmesi yoksa bu faz oluşmaz.(18)

Egzoz açılma avansının farklı değerleri p-V diyagramını farklı şekilde etkiler(Şekil 5.11) Egzoz süpabı 4_1 noktasında, yani çok erken açılırsa genişlemedeki iş kaybı $4_14_4'_1$ alanı olacaktır. Bu büyük bir kayıptır. Eğer egzoz süpabı 4_3 noktasında, yani geç açılırsa genişlemedeki iş kaybı $4_34_4'_3$ alanı normalden küçük olur. Buna karşılık $4'_3f_3$ kısmında gazların dışarı çıkarılması için daha çok iş sarf edilir. Bu nedenle egzoz supabı, toplam egzoz kayıplarının en az olduğu 4_2 gibi bir noktada açılmalıdır.(18,19)



Şekil 5.11 Egzoz Açılma Noktasının P-V Diyagramına Etkisi [18]

Egzoz gazlarının sıcaklığı yüke, dönme sayısına ve stroka bağlıdır. Bu değer;

Yüksek dönme sayılı dizel motorlarda $T_r = 700-800 \text{ } ^\circ\text{K}$

Benzin motorlarında $T_r = 900-1000 \text{ } ^\circ\text{K}$

sınırları arasındadır.

5.7 Yanma Verimi Ve İs Oluşumu

Dizel motorlarında verimli yanma için, yanma odasında yeterli hava ve yanma için yeterli süre bulunmalıdır. Ayrıca sıcaklıkların da yerel olarak yeterli düzeyde (yükseklikte) bulunması gerekmektedir. Yanma olayını yanma odasındaki ortalama değerlerden çok yerel koşullar etkilemektedir. Bu bakımdan motorun düşük dönme sayılarında hava hareketlerinin azlığı, yüksek dönme sayılarında ise yetersiz süre ve düşük volümetrik verim sonucu eksik kalan hava miktarı nedeniyle yanma verimi düşmektedir. Eksik yanmanın en belirgin sonucu is oluşumudur.

Geç yapılan püskürtme, ya da uzun süren TG sonucunda yanmanın egzoz zamanına doğru uzaması da is oluşumuna neden olur.

İs, motor elemanlarının ömrünü olumsuz etkiler, piston ve silindirleri aşındırır. İis, ayrıca segman yuvalarına girerek segmanları aşındırır. Supap oturma yüzeylerinde birikerek supapların iyi kapanmasını önler. Bunun sonucu olarak, buradaki sıcak egzoz gazlarının oluşturduğu daimi akım supaplarının hasar görmesine neden olur. Ayrıca egzoz gazları içindeki is partikülleri çevre sağlığı açısından zararlıdır.

İis ölçümü, birim hacim egzoz gazlarındaki partiküllerin ağırlıkları ölçülerek kantitatif olarak veya foto elektronik yöntemlerle egzoz gazı koyuluğu ölçülerek kalitatif olarak yapılmaktadır.(18,19,26)

BÖLÜM 6 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 YAPILAN LABORATUAR ÇALIŞMALARI

Laboratuar çalışmaları kapsamında öncelikli olarak JP-8 ve dizel yakıtın yoğunlukları ve alevlenme sıcaklıkları test edilmiştir.

JP-8 YOĞUNLUK = 0.792 g/cm³ 22 °C

ALEVLENME NOKTASI = 49 °C

MOTORİN YOĞUNLUK = 0.810 g/cm³ 22 °C

ALEVLENME NOKTASI = 63 °C

Daha sonra 10 numara yağ, 20/50 Dizel yağı, 140 numara şanzıman yağı, 90 numara dişli yağı ve ayçiçek yağı ile JP-8 karışımları hazırlanmıştır. Bu karışımların yoğunlukları ölçülmüş ve yoğunluğu dizel yakıtı en yakın olan karışımların alevlenme noktaları test teçhizatında ölçülmüştür.

Tablo 6.1. 10 Numara Yağ İle JP-8 Karışımı

Karışım Oranı % (10 Numara Yağın JP-8'e Oranı)	Yoğunluk (g/cm ³)
3	0.793
5	0.794
10	0.799
15	0.804
20	0.811
% 20'lik karışımın alevlenme noktası 50 °C'dir.	

Tablo 6.2. 20/50 Dizel Yağı İle JP-8 Karışımı

Karışım Oranı % (20/50 Dizel Yağının JP-8'e Oranı)	Yoğunluk (g/cm ³)
5	0,797
10	0,798
15	0,803
20	0,807
25	0,812
% 25'lik karışımın alevlenme noktası 53,5 °C'dir.	

Tablo 6.3. 140 Numara Şanzıman Yağı İle JP-8 Karışımı

Karışım Oranı % (140 Numara Yağın JP-8'e Oranı)	Yoğunluk (g/cm ³)
5	0,797
15	0,806
20	0,815
% 20'lik karışımın alevlenme noktası 63 °C'dir.	

Tablo 6.4. 90 Numara Dişli Yağı JP-8 Karışımı

Karışım Oranı % (90 Numara Yağının JP-8'e Oranı)	Yoğunluk (g/cm ³)
5	0,796
20	0,808
% 20'lik karışımın alevlenme noktası 54,5 °C'dir.	

Tablo 6.5. Ay Çiçek Yağı İle JP-8 Karışımı

Karışım Oranı % (Ay Çiçek yağının JP-8'e Oranı)	Yoğunluk (g/cm³)
5	0,800
10	0,805
15	0,820
% 15'lik karışımın alevlenme noktası 56 °C'dir.	

6.2. HOBART UÇAK ÇALIŞTIRICISI İLE YAPILAN TEST ÇALIŞMALARI

Hobart uçak çalıştırıcısı ile yapılan test çalışmaları kapsamında uçak çalıştırıcısı dizel motoru hem yüklü hem de yüksüz olarak JP-8 ve motorin ile çalıştırılmıştır.

6.2.1. HOBART Uçak Çalıştırıcısı Özellikleri

Tablo 6.6. HOBART Uçak Çalıştırıcısı Boyutları [20]

Treyler Dahil Uzunluğu	75,5 inç (1918 mm)
Treyler Genişliği	58 inç (1473 mm.)
Treyler Dahil Yüksekliği	63,75 inç (1632 mm.)
Treyler Dahil Yerden Yüksekliği	7,5 inç (191 mm)
Ağırlığı (Boş Yakıt Tankı ile)	2410 pounds (1093 kg)



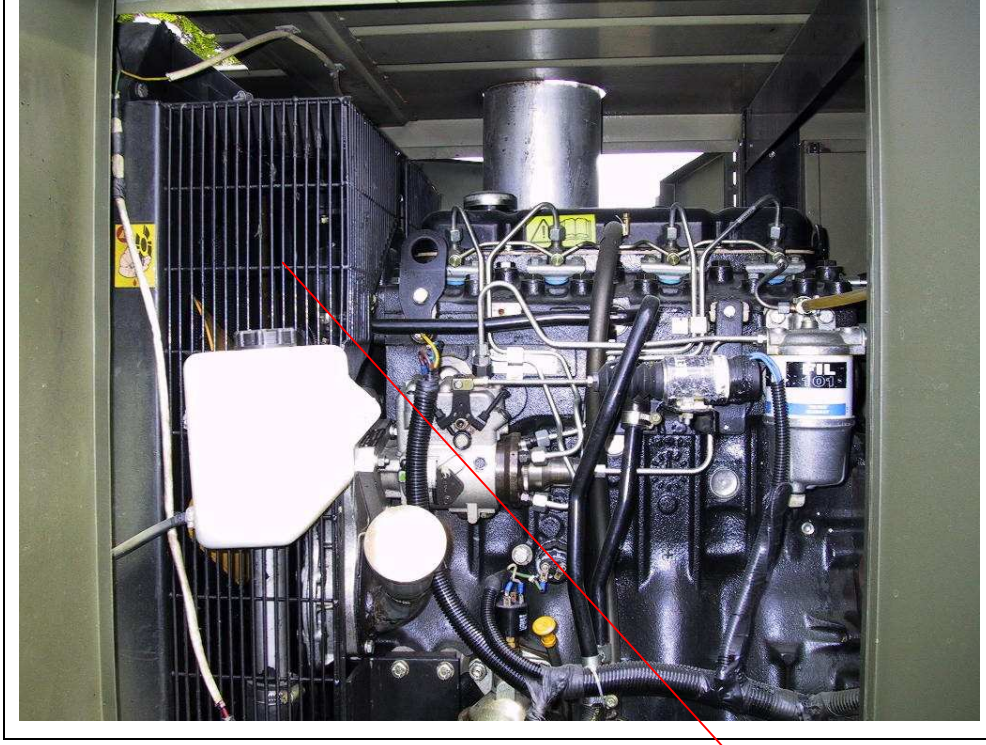
Şekil 6.1 HOBART Uçak Çalıştırıcısı

Tablo 6.7 HOBART Uçak Çalıştırıcısı Jeneratör Özellikleri [20]

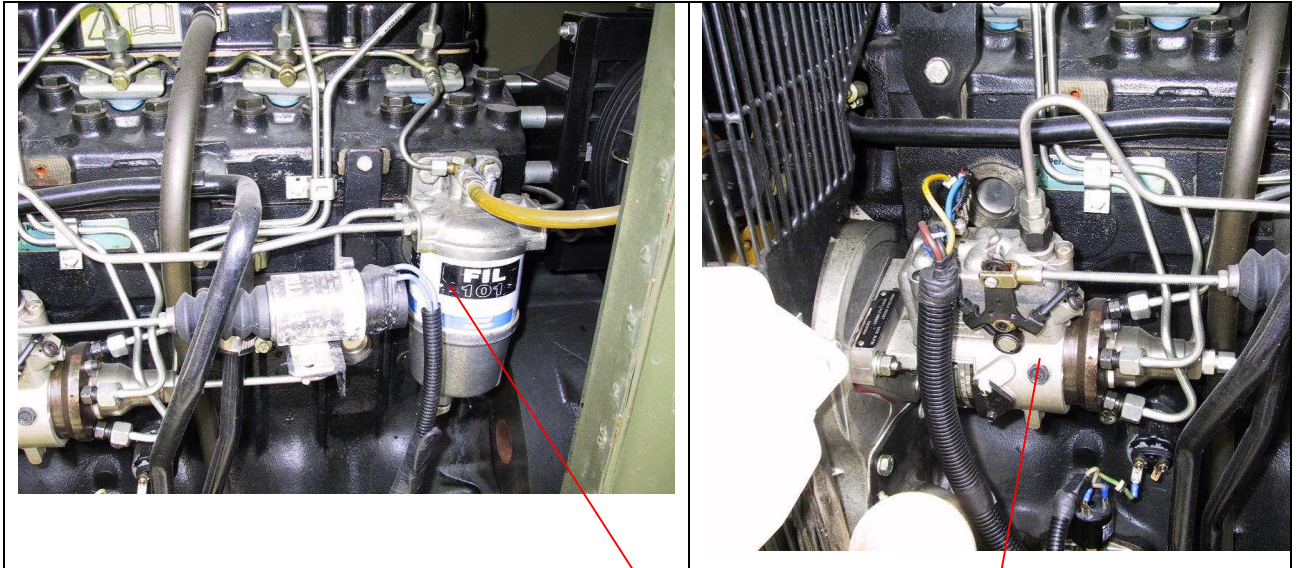
Voltaj	28,5 Volt DC
Yük Kapasitesi Oranı	550 Amper 28.5 Volt DC sürekli
Başlangıç Akım Kapasitesi	2000 Amper Maksimum
Akım Ayarlama Kapasitesi	300-2000 Amper
Çalışma Hızı	2000 dev/dak
Çıkış Gücü	15,7 KW

Tablo 6.8. HOBART Uçak Çalıştırıcısı Motor Özellikleri [20,27]

Üretici	Perkins Diesel
Model	4.236
Tip	4-silindir,4-strok,direkt püskürtmeli
Silindir Çapı	98,43 mm. (3,875 inç)
Toplam Silindir Hacmi	236 kübik inç (3.86 lt)
Piston Kursu	127 mm. (5 inç)
Püskürtme Sırası	1-3-4-2
Motor Dönme Yönü	Önden Bakıldığında Saat Yönü
Sıkıştırma Oranı	16/1
Maksimum Döndürme Momenti	201 ft.lb. (28 kg.m.) 1200 dev/dak
Püskürtme Avansı	Üst ölü Noktadan 23⁰ Önce
Termostat Açılma Sıcaklığı	77-83 ⁰C
Termostat Tamamen Açılma Sıc.	94 ⁰C
Motor Ağırlığı	269 kg. (592 lb.)
2000 dev/dak Güç	70 HP
Yağ Kapasitesi	7,57 lt
Soğutucu Kapasitesi	(Radyatör Hariç) 9,36 lt.
Elektrik Sistemi	12 Volt DC
Boşta Hız	1000 +/- 50 dev/dak
Yakıt Tankı Kapasitesi	21,5 U.S. Galon (81,4 lt.)
Yüksüz Maksimum Hız	2100 +/- 100 dev/dak



Şekil 6.2 HOBART Uçak Çalıştırıcısı Soğutma Sistemi



Şekil 6.3 HOBART Uçak Çalıştırıcısı Yağlama ve Yakıt Sistemi

6.2.2 HOBART Uçak Çalıştırıcısının JP-8 Yakıt Testi Sonuçları

HOBART uçak çalıştırıcısı motoru JP-8 yakıtı ile önce rölantide 20 dakika çalıştırılmış sonra 2200 dev/dak devirde yüksüz olarak 15 dakika ve en son olarak 1050 amper yük uygulanarak 5 dakika çalıştırılmıştır. Tüm çalışma işlemleri süresince motor devri, motor gövde sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı, motor yağı basıncı, filtre girişi hava sıcaklığı ve egzoz sıcaklıkları ölçülmüştür.

Test işleminde ortam sıcaklığı 16 °C olarak ölçülmüştür. (Rakım 789 m.)

Tablo 6.9 F-34 (JP-8) Yakıtı İle Gerçekleştirilen Test Sonuçları

	1000 dev/dak Rölanti	2150 dev/dak Yüksüz	2100 dev/dak 1100 Amper Yüklü
Çalışma Süresi	20 Dakika	15 Dakika	5 Dakika
Motor Devri	1000 dev/dak	2150 dev/dak	2100 dev/dak
Verilen Yük	-	-	26 V 1100 Amper
Motor Gövde Sıcaklığı	58 °C	84 °C	104 °C
Soğutma Suyu Sıcaklığı	57,2 °C	87,8 °C	87,8 °C
Yağ Basıncı	62 psig	60 psig	60 psig
Filtre Girişi Hava Sıcaklığı	21°C	27 °C	31 °C
Egzoz Gazı Sıcaklığı	91 °C	166 °C	366 °C

6.2.3 HOBART Uçak Çalıştırıcısının Dizel Yakıtı Testi Sonuçları

HOBART uçak çalıştırıcısı motoru motorin ile önce rölantide 20 dakika çalıştırılmış sonra 2150 dev/dak devirde yüksüz olarak 15 dakika ve en son olarak 1100 amper yük uygulanarak 5 dakika çalıştırılmıştır. Tüm çalışma işlemleri süresince motor devri, motor gövde sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı, motor yağı basıncı, filtre girişi hava sıcaklığı ve egzoz sıcaklıkları ölçülmüştür.

Test işleminde ortam sıcaklığı 13 °C olarak ölçülmüştür. (Rakım 789 m.)

Tablo 6.10 F-54 (Dizel) Yakıtı ile Gerçekleştirilen Test Sonuçları

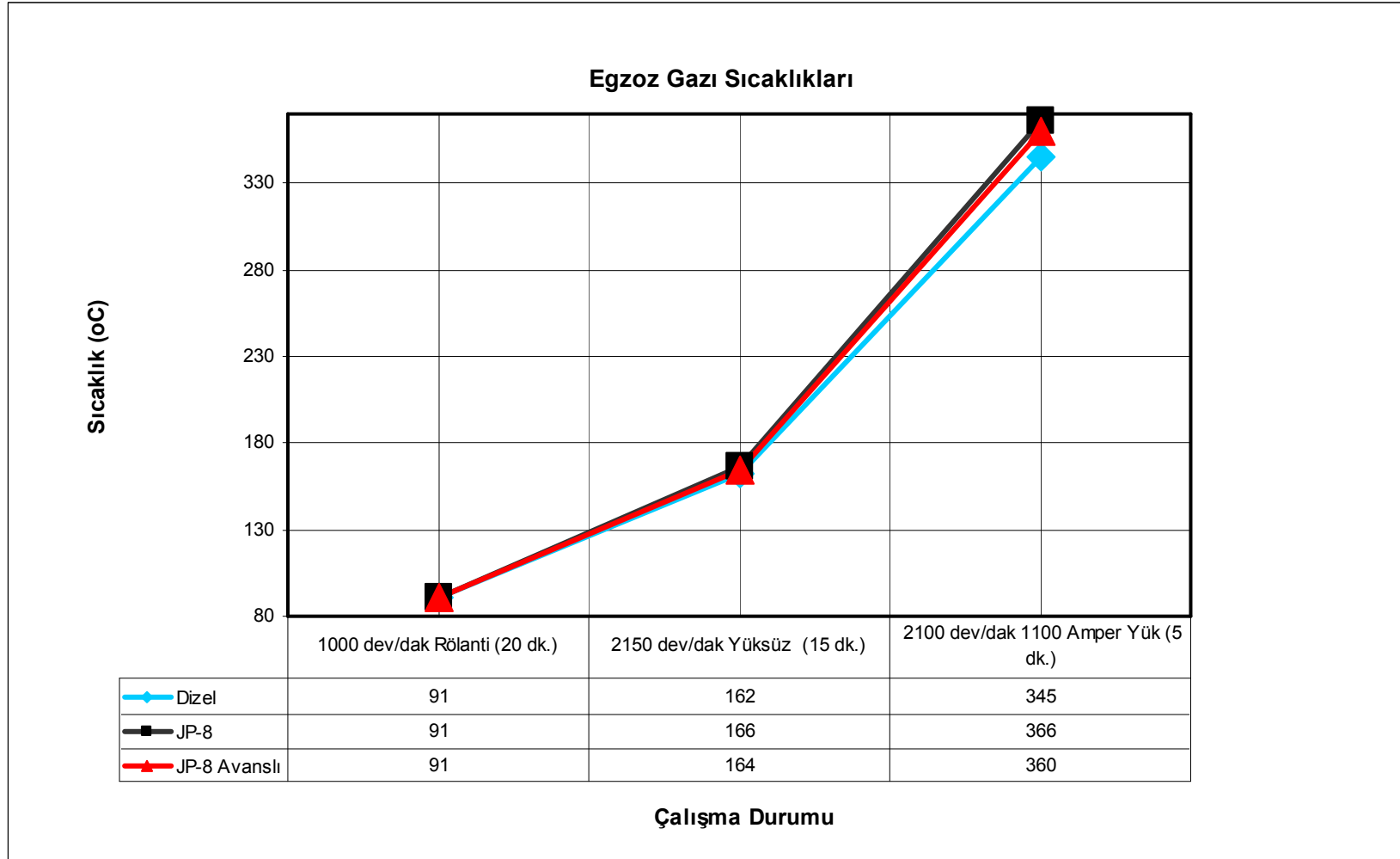
	1000 dev/dak Rölanti	2150 dev/dak Yüksüz	2100 dev/dak 1100 Amper Yüklü
Çalışma Süresi	20 Dakika	15 Dakika	5 Dakika
Motor Devri	1000 dev/dak	2150 dev/dak	2100 dev/dak
Verilen Yük	-	-	25 V 1100 Amper
Motor Gövde Sıcaklığı	55 °C	81 °C	86 °C
Soğutma Suyu Sıcaklığı	57,2 °C	82,2 °C	87,7 °C
Yağ Basıncı	62 psig	62 psig	61 psig
Filtre Girişi Hava Sıcaklığı	20 °C	24 °C	25 °C
Egzoz Gazı Sıcaklığı	91 °C	162 °C	345 °C

6.2.4 HOBART Uçak Çalıştırıcısının Püskürtme Avans Ayarı Değiştirilerek JP-8 İle Çalıştırılması

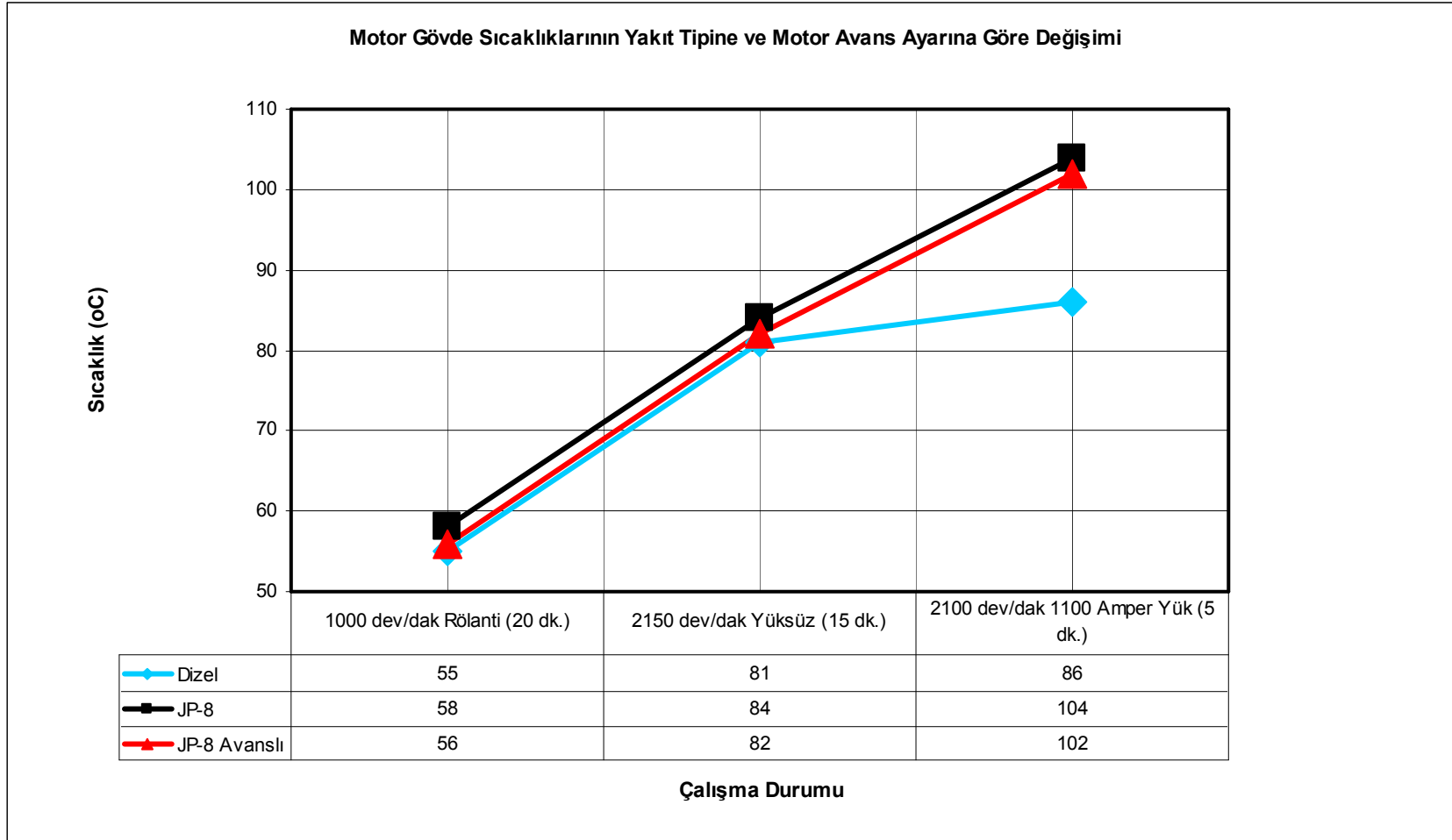
HOBART uçak çalıştırıcısının ÜÖN'dan 23 derece önce olan püskürtme avansı yapılan ayar işlemiyle ÜÖN'dan 21 derece önceye getirilmiştir. Daha sonra motor JP-8 ile önce rölantide 20 dakika sonra 2150 dev/dak devirde yüksüz olarak 15 dakika ve en son olarak 1100 amper yük uygulanarak 5 dakika çalıştırılmıştır. Tüm çalıştırma işlemleri süresince motor devri, motor gövde sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı, motor yağı basıncı, filtre girişi hava sıcaklığı ve egzoz sıcaklıkları ölçülmüştür.

Tablo 6.11. Püskürtme Avansı Ayarı Sonrası JP-8 ile Gerçekleştirilen Test

	1000 dev/dak Rölanti	2150 dev/dak Yüksüz	2100 dev/dak 1100 Amper Yüklü
Çalışma Süresi	20 Dakika	15 Dakika	5 Dakika
Motor Devri	1000 dev/dak	2150 dev/dak	2100 dev/dak
Verilen Yük	-	-	25 V 1100 Amper
Motor Gövde Sıcaklığı	56 °C	82 °C	102 °C
Soğutma Suyu Sıcaklığı	57,2 °C	87,8 °C	87,7 °C
Yağ Basıncı	62 psig	62 psig	61 psig
Filtre Girişi Hava Sıcaklığı	20 °C	25 °C	30 °C
Egzoz Sıcaklığı	91 °C	164 °C	360 °C



Şekil 6.4. Perkins Motorda Dizele ve JP-8 Yakıtı ile Avans Ayarı Değişirilmiş Durumda (JP-8) Egzoz Gazı Sıcaklık Değişimi



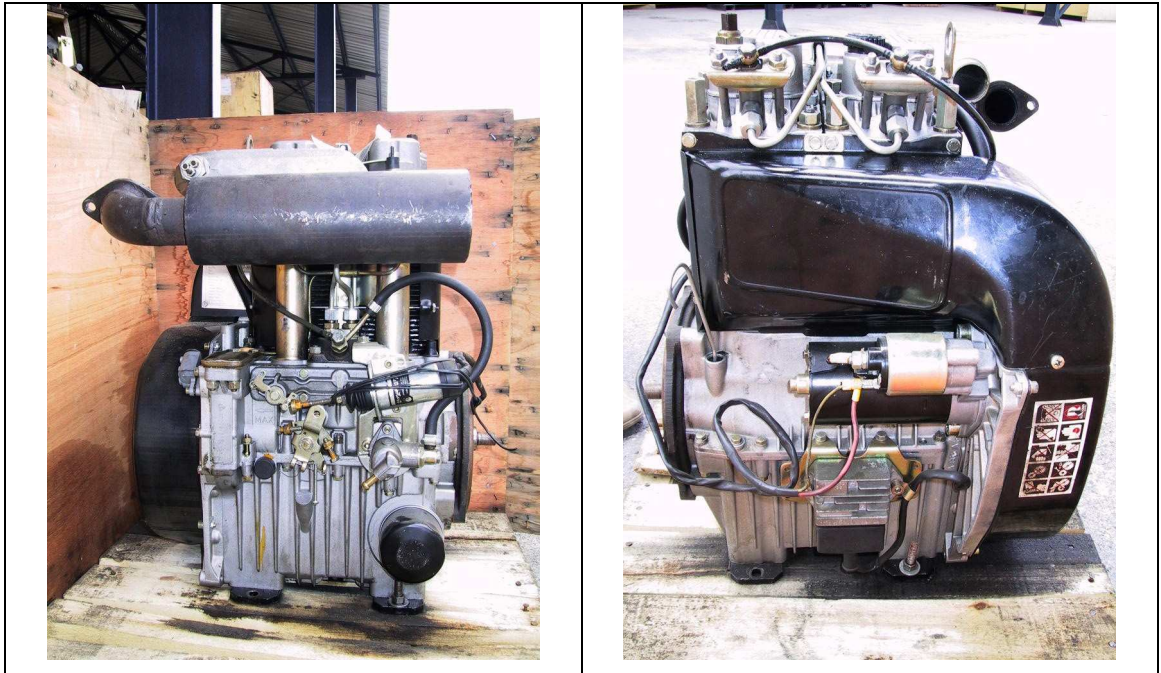
Şekil 6.5. Perkins Motorda DizeI ve JP-8 yakıtı ile Avans Ayarı Değiştirilmiş Durumda (JP-8) Motor Gövde Sıcaklık Değişimi

6.3 RD 270 RUGGERİNİ DİZEL MOTOR İLE YAPILAN TEST SONUÇLARI

6.3.1 RD 270 RUGGERİNİ Dizel Motorunun Özellikleri

Tablo 6.12. RD 270 Ruggerini Dizel Motor Özellikleri [21]

Yakıt Deposu Kapasitesi	10,5 lt.
Yağ Kapasitesi	2,7 lt.
Silindir Sayısı	2
Sıkıştırma Oranı	18:1
Silindir Çapı	92 mm
Strok	75 mm
Silindir Hacmi	1130 cm³
Güç	27,2 HP
Devir	3000 dev/dak



Şekil 6.6. RD 270 Ruggerini Dizel Motor



Şekil 6.7. RD 270 Ruggerini Dizel Motor

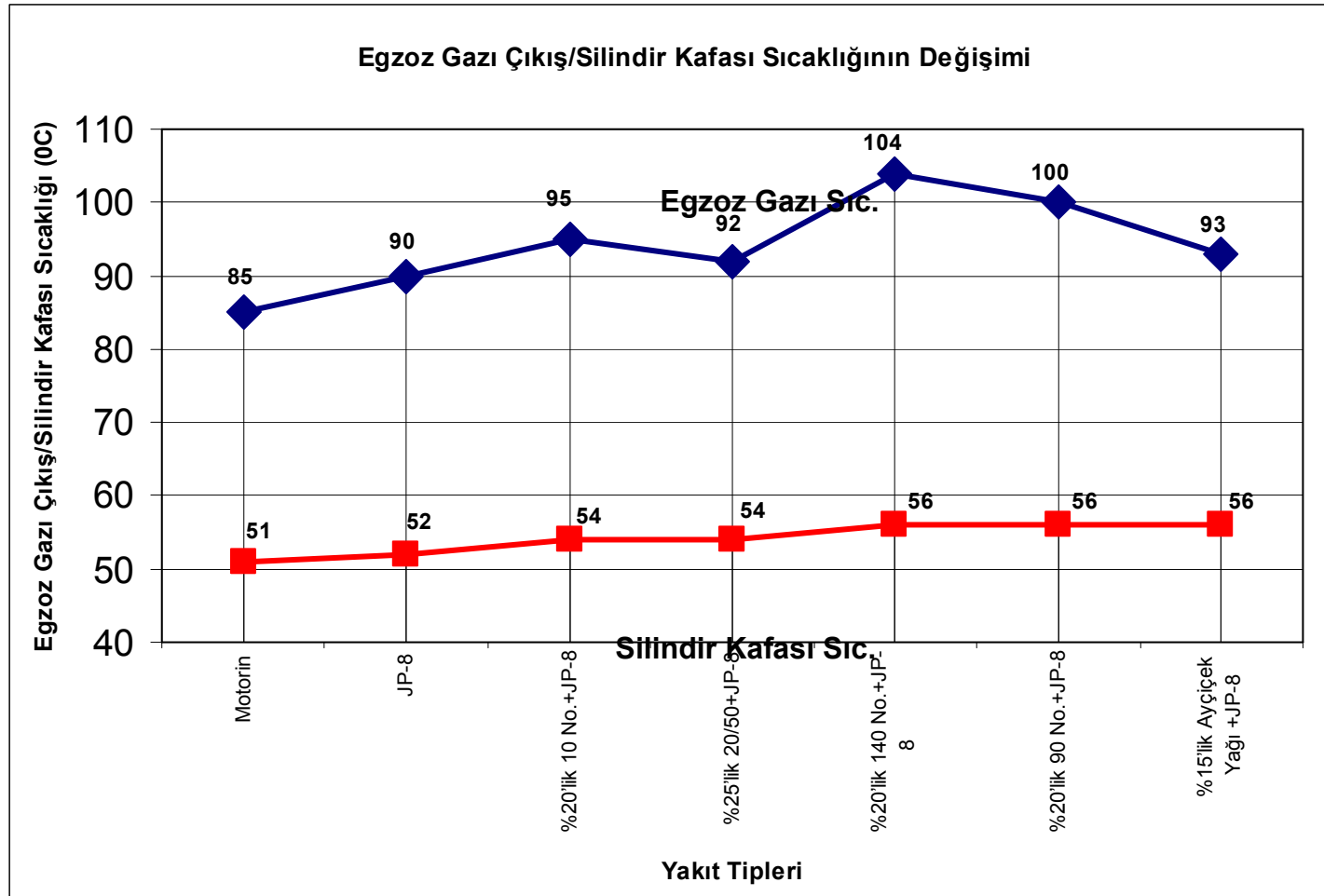
6.3.2. RD 270 RUGGERİNİ Dizel Motor Test Sonuçları

Testlerde çevre sıcaklığı 9 °C olarak ölçülmüştür. (rakım 789 m.) Bu test işlemlerinde dizel motor JP-8 yakıtı, motorin, %20'lik 10 numara yağ ile JP-8 karışımı, %25'lik 20/50 dizel yağı ile JP-8 karışımı, %20'lik 140 numara şanzıman yağı ile JP-8 karışımı, %20'lik 90 numara dişli yağı ile JP-8 karışımı ve %15'lik ay çiçek yağı ile JP-8 karışımları hazırlanarak dizel motor çalıştırılmıştır. Bu çalışma sonucu egzoz gazı, silindir kafası sıcaklıkları ve motorun yakıt tüketimleri kaydedilmiştir. Motora yük verilememiş ancak gaz kolundan ayar yapılarak motor 2750 dev/dak hızla çalıştırılmıştır.

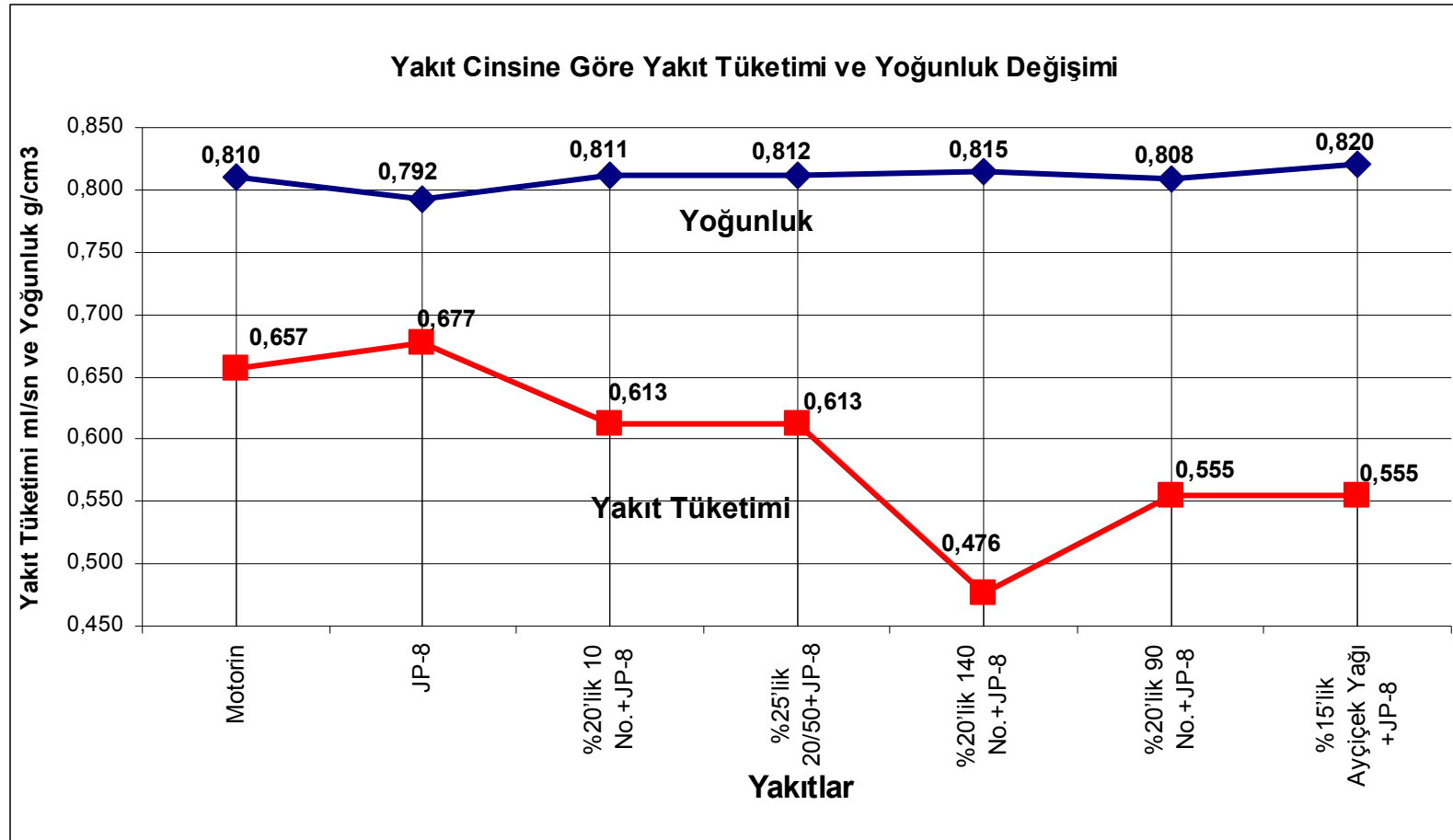
6.3.2.1 RD 270 RUGGERİNİ Dizel Motorun Çeşitli Yakıt Tipleri ile Çalıştırılması (Ortam Sıcaklığı 9 °C)

Tablo 6.13. RD 270 Ruggerini Motorun Çeşitli Yakıt Tipleri İle Yüksüz Olarak 2750 Dev/Dak Sabit Hızda Çalıştırılması

Yakıt	Yoğunluk (g/cm ³)	Alevlenme Nokta (°C)	Çalışma süresi (dk)	Motor Devri (dev/dk)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)	Silindir Kafası Sıcaklığı (°C)	Yakıt Tüketimi (ml/sn)
Motorin	0.810	63	20	2750	85	51	0.657
JP-8	0.792	49	20	2750	90	52	0.677
%20'lik 10 No.+JP-8	0.811	50	20	2750	95	54	0.613
%25'lik 20/50+JP-8	0.812	53.5	20	2750	92	54	0.613
%20'lik 140 No.+JP-8	0.815	63	20	2750	104	56	0.476
%20'lik 90 No.+JP-8	0.808	54.5	20	2750	100	56	0.555
%15'lik Ayçiçek Yağı +JP-8	0.820	56	20	2750	93	56	0.555



Şekil 6.8. Ruggerini Dizel Motorda Değişik Yakıt Karışımlarının Egzoz Gazı Çıkış ve Silindir Kafası Sıcaklıklarına Etkisi (Yüksüz 2750 dev/dak Sabit Hızda)

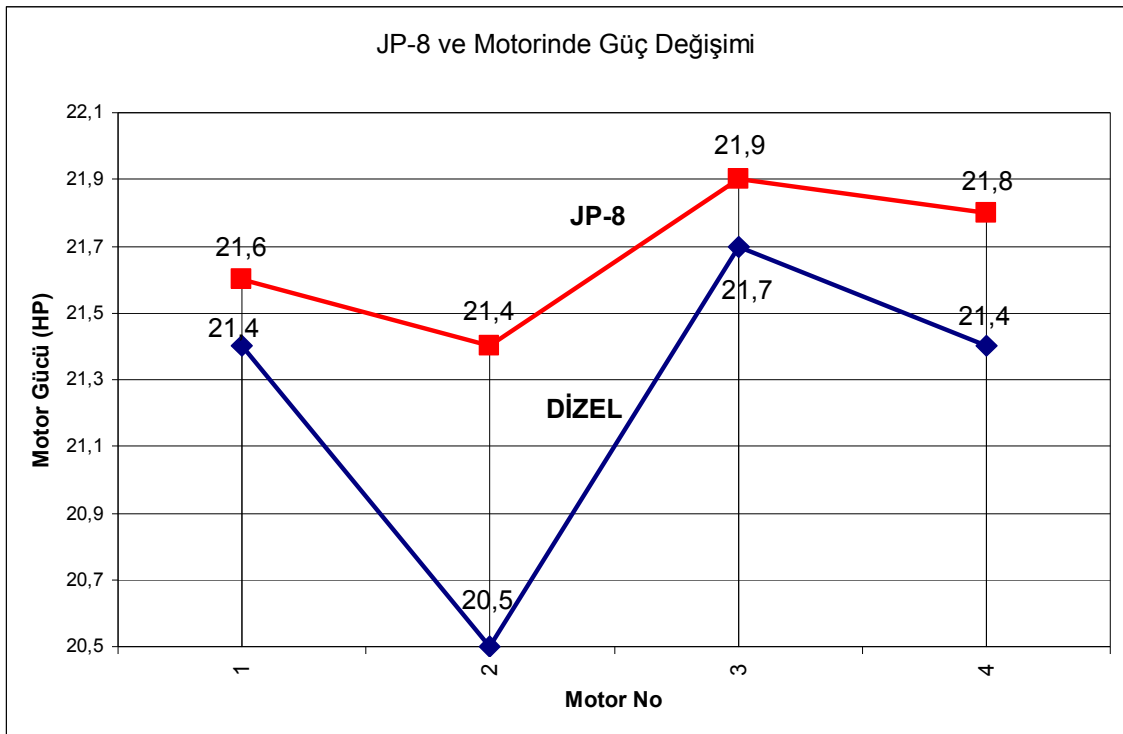


Şekil 6.9. Ruggeri Dizele Motorunda Yakıt Cinsine Göre Yoğunluk ve Yakıt Tüketimi Değişimleri (Yüksüz 2750 dev/dak Sabit Hızda)

6.3.4 PANCAR MOTOR A.Ş. TESİSLERİNDE RD 270 RUGGERİNİ DİZEL MOTOR İLE YAPILAN TEST ÇALIŞMALARI

Tablo 6.14. RD 270 Dizel Motor Yük Verilerek Test Sonuçları

Motor	Yakıt	Yük (Kp)	Devir (Dev/Dak)	Güç (HP)	Egzoz Sıcaklıkları(°C)	Silindir Kafa Sıcaklıkları(°C)
1 Nolu	Mazot	8,2	2642	21,6	425-445	54-71
	JP-8	8,2	2612	21,4	440-463	66-87
2 Nolu	Mazot	8,1	2654	21,4	414-467	52-73
	JP-8	7,9	2606	20,5	438-483	65-81
3 Nolu	Mazot	8,2	2675	21,9	407-445	57-78
	JP-8	8,2	2648	21,7	424-455	62-81
4 Nolu	Mazot	8,2	2657	21,8	449-417	53-74
	JP-8	8,2	2610	21,4	468-440	71-84



Şekil 6.10. Ruggerini Dizel Motorun Dizel Yakıt ve JP-8 İle Çalıştırılmasında Elde Edilen Güç Değerleri

BÖLÜM 7 JP-8'E (F-34) GEÇİŞ SORUNLARI

7.1 Çözücülük

Deney için hazırlanan JP-8 (F-34) ve yağ karışımlarında herhangi bir ayrışma olmamıştır. Bunun sebebi JP-8'in çok iyi bir çözücü olmasıdır.

HOBART uçak çalıştırıcısı JP-8 kullanılması için servise verildiğinde filtre değişim periyodu 200 saat olmasına rağmen 100 saat sonunda filtre tıkanması görülmüştür. Bunun sebebinin iyi bir çözücü olan JP-8'in mazot ve yağ karışımları tarafından oluşturulan atıkları yakıt tankından ve yakıt sisteminden temizlemesi olduğu ve sonuçta oluşan zamksı çamurun (gom) filtrelerde ve yakıt sistemi elemanlarında tekrar tutulması olduğu değerlendirilmiştir. Bunun önlenmesi için HOBART uçak çalıştırıcısı teknik dokümanlarına motorun JP-8 ile çalıştırılmaya başlamasından 90 saat sonra filtre değişiminin yapılacağı ve yakıt tankının temizleneceği ifadeleri konulmuştur.

7.2 Yağlama

JP-8 (F-34)'ün yağlayıcılık özelliği (kalitesi) F-54'ten daha düşüktür. Bu sebeple JP-8 kullanılması sonucunda artan aşınmayı önlemek için hareketli parçaların yağlanma ihtiyacı ortaya çıkacağı düşünülmüştür. Bu sebeple JP-8 içine değişik oranlarda yağ ilavesi ile yakıtın yağlayıcılık özelliği arttırılmaya çalışılmıştır. Ayrıca HOBART uçak çalıştırıcısı 200 saat süre ile JP-8 ile çalıştırılmıştır. Bu çalışma sonucu yakıt pompası sökülmüş ve yapılan ölçüm sonucu bir aşınma tespit edilememiş sadece pompa üzerinde matlaşma görülmüştür. Bu matlaşmanın JP-8'in yağlayıcı özelliğinin az olmasında dolayı olduğu değerlendirilmiş ve aşınmanın 200 saatten çok daha uzun sürede meydana gelebileceği kararına varılmıştır.

BÖLÜM 8 YURT DIŞINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

NATO'ya üye ülkeler hem laboratuvarlarda hem de gerçek çalışma şartlarında kapsamlı deneyler yapmışlardır.

8.1 Belçika'da Yapılan Çalışmalar

Belçika'da F-34 kullanılarak 833 saat süreyle çalıştırılan dönel tip Bosch EP/VAG tip pompa üretici firmaya gönderilmiş ve yapılan ölçümlerde pompa elemanları üzerinde herhangi bir aşınma görülmemiştir.

6 silindirli tek sıra, 110 HP, 4 tonluk, BSA VIEM tip kamyon motoru, Bosch marka rotary tip pompa kullanılarak jet yakıtı ile test edilmiş, motor gücünde % 6'lık bir düşüş meydana gelmiştir.

Caterpillar CEPS tipi motor 2000 saat süreyle test edilmiş, anormal bir veri kaydedilememiş, yalnızca yakıt tüketiminde % 4.2'lik bir artış meydana gelmiştir.

8.2 Kanada'da Yapılan Çalışmalar

Leopar tanklarında tam yüklü savaş halinde performans testleri yapılarak; tankta 300 m'ye ivmelenmede ve maksimum hızda belirgin bir fark görülmemiş, %40, %50, %60 eğimde daha yavaş olduğu; arazi testinde %5 daha yavaş olduğu görülmüştür.(24)

1990 yılında BMLVW tip, 8 silindirli, 4 stroklu, sıkıştırma oranı 18.3:1, direkt püskürtmeli, su soğutmalı motora sahip bir araçta jet yakıtı ile test yapılmış, ortalama %3'lük bir güç kaybı, ivmelenmenin bir miktar düştüğü, maksimum hızda 0.5 km/h azalma olduğu görülmüştür. Test sürücüsü farkı anlayamamıştır.(24)

Turbo şarjlı, 225 KW, 4 stroklu, indirekt püskürtmeli, su soğutmalı, Bosch tip yakıt enjeksiyon sistemli, STEYR WD 615.98 tip motora sahip bir araçta 210 saat süreyle dayanıklılık testi yapılmış; motorun gücünde %6'lık, aracın performansında %10'luk bir azalma meydana gelmiştir. Pompa üretici firmaya gönderilmiş ve yapılan ölçümlerde pompa elemanları üzerinde herhangi anormal bir aşınma görülmemiştir.(24)

8.3 Almanya'da Yapılan Çalışmalar

Mb 873 501 Leopar 2, dört stroklu, en direkt püskürtmeli, turbo şarjlı, düz tip yakıt pompalı, su soğutmalı, 1100 KW gücünde, tank motoru test edilmiştir. F-54 kullanıldığında 1043 KW, F-34 kullanıldığında ise 948 KW güç elde edilmiştir. Motor ayarı yapılmadan test edildiğinde %9 güç kaybı gözlemlenmiş, başka bir belirgin etki görülmemiştir.(24)

VW Golf 4 stroklu, en direkt püskürtmeli, dönel tip yakıt pompalı, su soğutmalı, 40 KW güce sahip motorda F-54 kullanıldığında 39 KW, F-34 kullanıldığında ise 38 KW güç elde edilmiş, güç kaybı %3.6 olarak gerçekleşmiştir. Aynı tip motora sahip araç, 90 000 km. yol testine tabi tutulmuş, 30 000 km. sonunda maksimum hızda %10 güç kaybı görülmüş, 70 000 km. sonunda herhangi bir fark görülmemiştir.(24)

DB OM 342 tip, 98 KW gücündeki kamyon motoru herhangi bir ayar yapılmaksızın güç testine tabi tutulmuş, F-54 kullanıldığında 98 KW, F-34 kullanıldığında ise 94 KW güç elde edilmiş, güç kaybı %5 olmuştur.(24)

8.4 İtalya'da Yapılan Çalışmalar

Fiat 8062.02 tip motorda F-34 kullanıldığında; %4 güç kaybı, Fiat 8280.22 tip motorda %10 güç kaybı, Fiat 8062.24 tip motorda da %4 güç kaybı meydana geldiği gözlemlenmiştir.(24)

BÖLÜM 9 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Araştırmacılar uzun yıllar, değişik yakıtlarla çalışabilen motorlar üzerinde çalışmışlardır. Fakat yakıtların çok değişik özellikler arz etmesi yüzünden “çok yakıtlı motor” çalışmaları başarılı olamamıştır. Bilhassa yakıtların uçuculuğu, viskozitesi, tutuşma kabiliyetleri, vurutuya karşı dayanımları gibi özellikleri farklı çalışma özellikli motorları gerekli kılmaktadır.

“Çok yakıtlı motorlar” düşüncesinden olumlu sonuç alınamayınca bu defa “tek yakıtlı motorlar” kavramı gündeme gelmiştir. Bunun temel düşüncesi askeri ihtiyaçlardan kaynaklanmaktadır. Petrol krizlerinin yaşandığı, büyük tabii afetlerin meydana geldiği zamanlarda, harp zamanlarında, her türlü yakıtın, her yerde kolayca bulunması mümkün olmayabilir. İşte bu şartlarda her türlü aracın tek bir yakıt türüyle çalışabilmesi arzu edilmektedir. Bu çalışmanın gayesi bu sebeplere dayanmaktadır.

Konu ile ilgili çalışmalar askeri amaçlı olmak üzere dünyanın birçok ülkesinde yapılmıştır. Bütün araştırmalarda ortaya konan temel fikir, böyle bir yakıtın bütün hidrokarbon yelpazesini temsil edebilen C sayılarına sahip olmasıdır.

Gerek Avrupa ülkelerinde gerekse Amerika’da yapılan çalışmaların tamamında düşünülen yakıt türünün motorun orijinal yakıtıyla aynı performansı vermediği görülmüştür. Global bakıldığında denemelerin motora fazlaca zarar vermediği, performans düşüşünün de değişik çözüm yolları ile giderilebileceği görülmüştür.

Yaptığım çalışmada yukarıda bahsedilen çalışmalara benzer bir çalışmadır. Tek yakıt düşüncesi olarak orta C sayılı hidrokarbonların meydana getirdiği ve askeri amaçlı tüm alanlarda kullanılan ve kolay temin edilen (JP-8) yakıtı seçilmiştir.

Önce JP-8 ve dizel yakıtının yoğunluğu ve parlama noktası laboratuvar testleri ile ölçülmüştür. Daha sonra JP-8 yakıtının yağlayıcılık özelliğini arttırmak yoğunluğunu ve parlama noktasını dizel yakıtına yaklaştırmak için % 20'lik JP-8 10 numara yağ, % 25'lik JP-8 20/50 dizel yağı, % 20'lik JP-8 140 numara şanzıman yağı, % 20'lik JP-8 90 numara dişli yağı, % 15'lik JP-8 ay çiçek yağı karışımları hazırlanmış ve bu karışımların yoğunlukları ve parlama noktaları ölçülmüştür. Hazırlanan yakıt karışımlarında bir ayrışma olmamıştır.

HOBART uçak çalıştırıcısı ile yapılan testlerde deney motoru rölantide, maksimum devrinde ve yük altında çalıştırılmıştır. Bu çalışma esnasında motor önce motorin ile daha sonra JP-8 ile ve en sonunda motorun püskürtme avans ayarı değiştirilerek JP-8 ile çalıştırılmış, motor yağı basıncı, soğutma suyu sıcaklığı değişimi, motor gövde sıcaklığı, egzoz gazı çıkış sıcaklıkları ölçülmüştür.

HOBART uçak çalıştırıcısının JP-8 ile yapılan testlerinde, motorinle çalışmaya göre egzoz gazı çıkış sıcaklığında % 6 artış görülmüştür. Motorun püskürtme avans ayarı değiştirilerek (ÜÖN'ya 21 derece kala) JP-8 ile çalıştırıldığında, ayar yapılmadan JP-8 ile çalıştırılmaya göre egzoz gazı çıkış sıcaklığında % 1,63 oranında azalma görülmüştür.

Ayrıca HOBART uçak çalıştırıcısının 200 saat süre ile JP-8'le çalıştırılması sağlanmış, filtre değişim periyodu 200 saat olmasına rağmen 100 saat sonunda filtre tıkanması görülmüştür. Bunun sebebinin iyi bir çözücü olan JP-8'in motorin ve yakıt karışımları tarafından oluşturulan atıkları, yakıt tankından ve yakıt sisteminden temizlemesi ve sonuçta oluşan zamksı çamurun (gom) filtrelerde ve yakıt sistemi elemanlarında birikmesi olduğu değerlendirilmiştir. Bunun önlenmesi için HOBART uçak çalıştırıcısı teknik dokümanlarına motorun JP-8 ile çalıştırılmaya başlamasından 90 saat sonra filtre değişiminin yapılacağı ve yakıt tankının temizleneceği ifadeleri konulmuştur.

200 saatlik çalışma sonunda yakıt pompası sökülmüş ve yapılan ölçüm sonucu bir aşınma tespit edilememiş sadece pompa üzerinde matlaşma görülmüştür. Bu matlaşmanın JP-8'in yağlayıcı özelliğinin az olmasında dolayı oluştuğ değerlendirilmiş ve aşınmanın 200 saatten çok daha uzun sürede meydana gelebileceği kararına varılmıştır.

RD 270 RUGGERİNİ dizel motoru ile yapılan test işlemlerinde dizel motor JP-8 yakıtı, dizel yakıt, %20'lik 10 numara yağ-JP-8 karışımı, %25'lik 20/50 dizel yağı-JP-8 karışımı, %20'lik 140 numara şanzıman yağı-JP-8 karışımı, %20'lik 90 numara dişli yağı-JP-8 karışımı ve %15'lik ayçiçek yağı-JP-8 karışımları hazırlanarak çalıştırılmıştır. Bu çalışma sonucu egzoz gazı, silindir kafası sıcaklıkları ve motorun yakıt tüketimleri kaydedilmiştir. Motora yük verilememiş ancak gaz kolundan ayar yapılarak motor 2750 dev/dak hızla çalıştırılmıştır.

4 adet RD 270 RUGGERİNİ dizel motoru yük verilerek test edilmek amacıyla Pancar Motor A.Ş./İstanbul'a götürülmüş burada yapılan testlerde motorlar JP-8 ve motorin ile bremze edilmiştir. Motorlara ortalama 8.2 Kpa yük verilmiş ve motor performansları ölçülmüştür. Motorların JP-8 ile çalışmasında motorine göre % 2'lik güç kaybı görülmüştür. Ayrıca egzoz sıcaklıklarının ortalama % 4, silindir kafası sıcaklıklarının ise ortalama % 10 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Diğr ülkelerde yapılan araştırmalarda motorun JP-8 ile çalışması durumunda motor performansında %3-10 arasında düşme olduğu görülmüştür. Ancak bu eksikliğn, pompa ayarları ile giderilebileceği başka araştırmacılar tarafından belirtilmektedir.

Sayılan bu mahsurlara rağmen tek yakıt kullanımı; JP-8'in bütün dünyada temin edilmesinin kolaylığı, depolanmada özelliklerini muhafaza edebilmesi, düşük sıcaklıklarda donmaya karşı mukavemeti, tek tip yakıt için tek tip alt yapı

(depolama, nakliyat) gerektirmesi, yanlış yakıt kullanma veya yakıtların karışma problemini ortadan kaldırması gibi nedenlerden dolayı tercih edilebilir

Motorlarda yapılacak küçük değişiklik ve ayarlarla JP-8 yakıtının gaz türbinli hava araçlarının yanında, dizel motorlu kara ve deniz araçlarında da iyi bir performans sağlayabileceği ve ileriki yıllarda yaygın olarak kullanılabilceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- (1) Baraescu, R.A. and Lusco, J.J., "Performance, Durability and Low Temperature Evaluation of Fuels1", 1983
- (2) AKOR., A.J.,Chancellor, W.J. and Raubach,N., "The Potensiel of Palm Oil As a Motor Fuel", Transactions of ASAE, 1983
- (3) Gardner L. And Whyte, "Jet Fuel Specifications" Fuels and Lubricants Laboratory Division of Mechanical Engineering National Research Council of Canada Ottawa, Ontario, Canada, 1985
- (4) Arslanoğlu M., Gögüş Y., "Sıvı YakıtlarınYanmasında Bileşenlerin Uçuculuğunun Etkisi," ODTÜ Enerji Grubu Rapor No:3 Ankara, 1993
- (5) Chin J.S., Lefebvre A.H., "Steady-State Evaporation Characteristics of Hydrocarbon Fuel Drops", AIAA, Vol.21 No 10, pp 1437-1443, 1985
- (6) Kuo K., "Principles of Combustion," John Wiley and Sons Inc. 1976
- (7) Chin J.S., Lefebvre A.H., "The Role of The Heat-Up Period İn Fuel Drop Evaporation," İnt.J.Turbo Jet Engines, Vol.2, pp 315-325, 1985
- (8) Rudey R.A., Grobman J.S., "Characteristics and Combustion of Future Hyrocarbon Fuels," Section AGARD Lecture Series 96, 1978
- (9) Bilginperk H., "Orta Dereceli Endüstriyel Teknik Okulları Dizel Motorları Ders Kitabı", İstanbul 1978
- (10) Küçükşahin, F., "Dizel Motorları", Teknik Okullar İçin Beta Yayınları, 92-98, Ankara 1980

- (11) Madeni Yağ Şube Müdürlüğü, “Yakıtlar ve Yağlar”, 52-56-611, 1980
- (12) STANAG 4270 Aviation Fuel For For Future NATO Land Based Turbine Powered Military Aircraft, 1983
- (13) NATO Single Fuel Concept, D/DLSS/93/4/10, Mart 96
- (14) AGARD Propulsion and Energetics Panel Working Group 13 on Alternative Jet Engine Fuels, Temmuz 1982.
- (15) PETROLOFİSİ A.Ş., “Yakıtlar ve Yağlar,” 1985
- (16) Yule, A.J., and Bolado, R., “Fuel Spray Burning Region and Initial Conditions”, Combustion and Flame, Vol.55,No1,pp.1-12, 1984
- (17) Bayson, F.,Ayers, W.H., Swithenbank,J., and Pan Z., “Three Dimensional Model of Spray Combustion in Gas Turbine Combustors.” Journal of Energy, Vole 6.No.6,pp.368-375, 1982
- (18) Safgönül B., Ergeneman M., Arslan H.E., Soruşbay C. “İçten Yanmalı Motorlar” İTÜ Makine Fakültesi Otomotiv Ana Bilim Dalı, Birsen Yayınevi-1999
- (19) Borat O., Balcı M., Sürmen A., İçten Yanmalı Motorlar, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-2, 1994
- (20) HOBART Ground Power OM-2062/ Operation And Maintenance Manual Jet-Ex 4D/Spec. 7003B Jan 1991
- (21) RD 270 Operation and Maintenance Manual
- (22) Asheim, J.P., and Peters J.E., “Alternative Fuel Spray Behavior” Journal of Propulsion and Power, Vol. 5. No.3, pp. 391-398, 1989

(23) Jiang, T.L., and Chiu H.H., "Theory of Bipropellant Combustion, Part II- Conjugate, Normal and Composite Combustion In a Liquid Propellant Rocket Combustion Chamber" AIAA pp 86-221, 1986

(24) Law, C.K., and Chung S.H., "An Ignition Criterion For Droplets in Sprays" Combustion Science and Technology, Vol 22 Nos.1/2, pp 17-26, 1980

(25) Kuşhan Battal Prof.Dr., "Otto ve Dizel Motorları" Bilim Teknik Yayınevi 8. Baskı İTÜ 1995

(26) Palavan Selim "Gemi Diesel Motorları" Cilt 1 İTÜ Matbaası, 1950

(27) PERKINS Motor Genel Teknik Değerleri, Tarma Tarım Makineleri A.Ş.