

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

139660

GEMİ DİZEL MOTORLARINDA  
ENERJİ EKONOMİSİ

139660

Gemi Makinaları İşletme Müh. Fırat BOLAT

FBE Makina Müh. Anabilim Dalı Enerji Makinaları Programında  
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Burhan SUNGU (YTÜ)

Prof. Feriyyul Hüçükkaramuklu Feriyyulkkonuklu

Prof. Dr. Ahmet Bayülken Bayülken

İSTANBUL, 2003

TC. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	iv
KISALTMA LİSTESİ .....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	viii
ÖNSÖZ .....	ix
ÖZET .....	x
ABSTRACT .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
2. UYGULANABİLECEK YÖNTEMLER .....	3
2.1 Toplam Direnci Azaltma .....	3
2.1.1 Sürtünme Direncini Azaltma .....	3
2.1.1.1 Teknenin Bakım Tutumu .....	5
2.1.2 Artık Direnci Azaltma .....	6
2.1.2.1 Artık Dirence Etki Eden Faktörler .....	7
2.2 Sevk Verimini Artırma .....	10
2.2.1 Gemi ve Pervane Arasındaki Karşılıklı Etkiler .....	10
2.2.2 Sevk Verimine Etki Eden Verimler .....	13
2.2.2.1 Tekne Verimi .....	13
2.2.2.2 Pervane verimi .....	14
2.2.2.3 Tekne Arkasındaki Pervane Verimi .....	14
2.2.2.4 Rölatif dönme verimi .....	14
2.2.2.5 Şaft Verimi .....	14
2.2.2.6 Pervane Çapının Sevk Verimine Etkisi .....	15
2.2.3 Pervanelerde Kavitasyon .....	16
2.2.4 Pervanelerin Bakım Tutumu .....	17
2.3 Makine Dairesinde Verimi Artırma .....	17
2.3.1 Ana Makinenin Yakıt Giderini Azaltma .....	18
2.3.1.1 Ana Makinenin İşletme Şartlarına Uygun Çalıştırılması .....	18
2.3.1.2 Planlı Bakım Tutum .....	55
2.3.2 Jeneratörün Yakıt Giderini Azaltma .....	55
2.3.2.1 Tek Jeneratörle Seyir. ....	56
2.3.2.2 Jeneratörlerde Daha Ucuz Yakıt Kullanılması .....	57
2.3.2.3 Şaft Jeneratörü Kullanılması .....	57
2.3.3 Atık Enerjinin Geri Kazanılması .....	58
2.3.3.1 Turbojeneratör Kullanılması .....	59
2.3.3.2 Turbokompaunt Sisteminin Kullanılması .....	61

2.3.3.3	İnsineratör Kullanılması .....	62
2.3.4	Elektrik Enerjisi Tüketiminin Azaltılması.....	62
2.4	Seyir Veriminin Arttırılması.....	63
2.4.1	Oto Pilot Kullanılması .....	64
2.4.2	Uygun Hızda Seyir .....	65
2.4.3	Uygun Rotada Seyir.....	65
2.4.3.1	Rüzgarın Gemi Üzerindeki Etkisi.....	66
2.4.3.2	Akıntılar.....	67
2.4.4	Uygun Balast ve Trimde Seyir .....	67
3.	VERİLER .....	69
3.1	M/V YASA EMİRHAN Gemisindeki Enerji Kayıpları.....	69
3.1.1	Ana Makinenin Efektif Özgül Yakıt Sarfıyatının Artması Sonucu Yakıt Kaybı ..	69
3.1.2	Gemide Şaft Jeneratörü Olmadığı İçin Oluşan Kayıplar .....	72
3.1.3	Gemide Turbojeneratör Olmadığı İçin Oluşan Kayıplar .....	72
3.1.4	Tekne Altının Temizlenmesi İle Elde Edilen Kazançlar .....	73
3.1.5	İnsineratör Kullanılması İle Elde Edilen Kazançlar .....	74
3.1.6	Yanma Katalizörü (CP 3500) Kullanılması İle Elde Edilen Kazançlar .....	74
3.1.7	Geminin Yıllık İşletme Gideri.....	75
3.1.8	Ofis ve Gemi Personelinin Dikkat Etmesi Gereken Hususlar .....	75
3.1.8.1	Teknik ve Operasyon Müdürlerinin Dikkat Etmesi Gereken Hususlar .....	75
3.1.8.2	Güverte Personelinin Dikkat Etmesi Gereken Hususlar.....	75
3.1.8.3	Makine Personelinin Dikkat Etmesi Gereken Hususlar .....	76
4.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	77
	KAYNAKLAR.....	79
	ÖZGEÇMİŞ.....	81

## SİMGE LİSTESİ

$C_f$	Sürtünme direnç katsayısı
$C_B$	Deplasman katsayısı
$C_t$	Toplam direnç katsayısı
$\nabla/L^3$	Deplasman - boy sayısı
$\Delta V_A$	Geminin ortalama iz hızı
$V_A$	Geminin kıçındaki akışkan hızlarının ortalama değeri
$V$	Geminin hızı
$W$	İz katsayısı
$R$	Gemi direnci
$\Delta R$	Emme kuvveti
$t$	Emme katsayısı
$\eta_T$	Sevk verimi
$\eta_H$	Tekne verimi
$\eta_R$	Relatif dönme verimi
$\eta_S$	Şaft verimi
$\eta_O$	Pervane verimi
$P_E$	Teknede Oluşan Efektif güç
$P_T$	Toplam güç
$V_A$	Akışkan hızlarının ortalama değeri
$T$	İtme kuvveti
$Q_0$	Moment
$P_D$	Pervaneye sevk edilen güç
$P_B$	Fren beygir gücü
$L$	Gemi boyu
$Q_1$	Yakıtın yanması sonucu oluşan toplam ısı miktarı
$Q_2$	Sistemden çıkan ısı miktarı
$C_v$	Sabit hacimde gazların özgül ısısı
$CP$	Sabit basınçta gazların özgül ısısı
$T_5$	Genişleme sonu sıcaklığı
$T_4$	Sabit basınçta yanma sonu sıcaklığı
$T_3$	Sabit hacimde yanma sonu sıcaklığı
$T_2$	Sıkıştırma sonu sıcaklığı
$T_1$	Sıkıştırma başlangıç sıcaklığı
$\varepsilon$	Sıkıştırma oranı
$\omega$	Basınç artma oranı
$\rho$	Ön genişleme oranı
$\delta$	Genişleme oranı
$V_e$	Emilen gerçek havanın hacmi
$V_o$	Teorik havanın hacmi
$G_e$	Emilen gerçek havanın ağırlığı
$G_o$	Teorik havanın ağırlığı
$G_a$	Sıkıştırma başlangıcında silindirde bulunan toplam gaz miktarı
$G_r$	Emme başlangıcında silindirde bulunan artık gazların miktarı
$P_a$	Emme sonunda toplam gazların basıncı
$V_a$	Emme sonunda toplam gazların hacmi
$T_a$	Emme sonunda toplam gazların sıcaklığı
$P_r$	Emme başlangıcında artık gazların basıncı

Vr	Emme başlangıcında artık gazların hacmi
Tr	Emme başlangıcında artık gazların sıcaklığı
Po	Atmosfer basıncı
Vh	Strok hacmi
To	Sıcaklık
Pi	Ortalama endike basınç
Vh	Strok hacmi
Wi	Endike iş
Wy	Yanma işi
Wg	Genişleme işi
Wk	Kompresyon işi
$\phi$	Düzeltme katsayısı
Ni	Endike güç
i	Silindir sayısı
n	Devir sayısı
Vh	Strok hacmi
z	Üretim periyodu.
bi	Endike özgül yakıt sarfıyatı
B	Saatteki toplam yakıt harcamı
Ni	Endike güç
Hu	Yakıtın alt ısı değeri
$\eta_i$	Endike ısı verim
Pe	Ortalama efektif basınç
Pm	Mekanik kayıplar nedeniyle oluşan ortalama kayıp basınç
Ne	Efektif güç
Nm	Mekanik kayıpların gücü
Pe	Ortalama efektif basınç
$\eta_e$	Efektif verim
N	Personel sayısı
BHP	Efektif beygir gücü

## KISALTIMA LİSTESİ

AÖN	Alt Ölü Nokta
BHP	Brake Horse Power
DO	Diesel Oil
HFO	Heavy Fuel Oil
HP	High Pressure
IMO	International Maritime Organization
ISM	International Safety Management
LCB	Length of Central Buoyancy
LP	Low Pressure
MARPOL	Marine Pollution Convention
MGO	Marine Gas Oil
RPM	Revolution Per Minute
SPC	Self Polishing Copolymer
TCS	Turbo Compound System
ÜÖN	Üst Ölü Nokta



## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Deplasman katsayılarına göre toplam direnç katsayılarının değişimi..... 8
Şekil 2.2	Deplasman katsayısına bağlı olarak güç ve hız değişimi..... 9
Şekil 2.3	Pervane çapının gemi boyuna oranının w üzerindeki etkisi..... 11
Şekil 2.4	İz katsayısı değeri ve emme katsayısı değeri değişimi..... 12
Şekil 2.5	Pervane çapına bağlı olarak güç ve devir sayısı değişimi..... 15
Şekil 2.6	Devir sayısına göre pervane veriminin artışı..... 16
Şekil 2.7	MITSUI MAN B&W 6S50MC makinesinin enerji dağılımı..... 19
Şekil 2.8	Teorik karma çevrimin basınç-hacim değişimi..... 20
Şekil 2.9	Yanmayı oluşturan fazlar.....32
Şekil 2.10	Çeşitli yakıtların indikatör diyagramları.....34
Şekil 2.11	Çeşitli püskürtme basınçlarında damla çaplarının bulunma çoklukları.....36
Şekil 2.12	Viskozite ile damlacık çapı değişimi.....43
Şekil 2.13	Türboşarjer devri ile besleme havası basıncı değişimi.....49
Şekil 2.14	Türboşarjerde kirliliğin etkili olduğu bölümler..... 50
Şekil 2.15	Kirliliğin kompresöre etkisi.....51
Şekil 2.16	Dual basınçlı sistem.....60
Şekil 2.17	Belirli bir hızdaki dümen açılarına göre, döndürme ve tarama eğrileri.....65

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Toplam direnç katsayılarının L.C.B.' ye göre değişimi .....	9
Çizelge 2.2 $\epsilon$ , $\rho$ ' nun değişimine göre termik verim .....	22
Çizelge 2.3 Yakıtın viskozitesine göre dinlendirme tank sıcaklığı .....	45
Çizelge 2.4 Servis tank sıcaklığının yakıt viskozitesine göre değişimi.....	46
Çizelge 2.5 Yakıt viskozitesi ile separasyon sıcaklığı değişimi .....	46
Çizelge 2.6 Yakıt püskürtme viskozitesinin sıcaklık ile değişimi .....	47
Çizelge 2.7 Ana makine ısı dağılımı.....	61
Çizelge 2.8 TCS kullanımının ana makine yakıt harcatmına etkisi.....	62
Çizelge 2.9 Deniz suyu sıcaklıklarına göre gemilerin çalışma oranları .....	63
Çizelge 3.1 Ana makinenin belirlenmiş basınç değerleri .....	69
Çizelge 3.2 Ana makinenin belirlenmiş güç değerleri.....	70
Çizelge 3.3 Ana makinede elde edilen basınç değerleri .....	70
Çizelge 3.4 Ana makinede elde edilen güç değerleri.....	71
Çizelge 3.5 Yıllık işletme giderleri.....	76



## ÖNSÖZ

Küreselleşen dünya ekonomik düzeninde ticaret -özellikle de deniz ticareti- ile uğraşabilmek gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Piyasada var olabilmek isteyen gemi sahipleri, gittikçe zorlaşan rekabet koşulları karşısında durabilmek için işletme giderlerini en aza indirmek zorundadırlar. İşletme giderleri içerisinde en büyük payı oluşturan yakıt giderlerini en aza indirebilen gemi sahipleri rakipleri karşısında güç kazanmaktadır. Dünya deniz ticaret filusunda ana tahrik makinası olarak en çok dizel motorları kullanılmakta bununla birlikte enerji ekonomisi uygulamaları ile yakıt sarfiyatları dikkate değer oranlarda azaltılabilmektedir.

Hedeflenen yakıt tasarrufu miktarı; işletme koşulları ile doğrudan alakalıdır. Bu tezde öncelikle gemi dizel motorlarına uygulanan enerji ekonomisi yöntemleri ortaya konulmuş, ikinci aşamada ise bu teze ait uygulama çalışmalarını gerçekleştirebilmek üzere 1 sene süresince vardiya mühendisliğini yaptığım 10600 BHP gücünde ana makinaya sahip Emirhan isimli geminin yakıt giderlerinin hangi oranda düşürülebileceği sorusuna cevap bulmaya çalışılmıştır.

Tezin hazırlanmasında bana yardımcı olan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Burhan Sungu'ya, çok değerli görüşlerinden faydalandığım hocam Prof. Dr. Ahmet Bayülken'e, uygulama çalışmalarını yapmama izin veren başta Genel Müdür Sn. Kpt. Erbil Özkaya, Filo Müdürü Sn. Müh. Mehmet Kayhan ve Teknik Müdür Sn. Müh. Ünsal Sunar olmak üzere Yasa Denizcilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. yetkililerine, uygulamalar sırasında benden yardımlarını esirgemeyen Emirhan gemisi Kaptanı Sn. Burak Bulut'a, Baş Mühendisi Sn. Ali Bülent Atayman'a ve bütün gemi mürettebatına teşekkür ederim.

## ÖZET

Gemi Dizel Motorlarında Enerji Ekonomisi isimli tezde gemi dizel motorlarında enerji ekonomisini etkileyecek tüm parametreler ve bu parametrelerin her birinin enerji ekonomisini ve dolayısıyla yakıt tasarrufunu hangi oranda etkileyeceğini saptama çalışması yapılmıştır.

Tezin ilk bölümünde bir geminin enerji ekonomisini etkileyecek faktörler belirtildi ve bu faktörlerin veriminin nasıl yükseltilebileceği ortaya konuldu. Saptanan faktörlere dair M/V YASA EMİRHAN gemisinde uzun periyotlu uygulama çalışmaları yapıldı.

Tezin ikinci bölümünde ise uygulama çalışmalarından elde edilen sonuçlara istinaden gemi dizel motorlarında enerji ekonomisi uygulamalarının yapılmasıyla toplam yıllık işletme giderlerinin hangi oranda azaltılabileceği ortaya konuldu.

**Anahtar kelimeler:** Denizcilik, Gemi Dizel Motorları, Enerji Ekonomisi

## **ABSTRACT**

In this thesis title of "Energy Economy In Marine Diesel Engines" all parameters and the ratio of these parameters were aimed to be determined which are effecting the energy economy and fuel savings of the marine diesel engines.

In the first part of the thesis it was set down how would the efficiency is increased through explaining all factors which can effect the energy economy of a ship. In relation with this factors a long-period practical work had been done on board M/V YASA EMIRHAN.

In the second part with the light of these practical work's results it was aimed to be set down that what ratio could be total yearly managing expenses be decreased when the energy economy applications were performed.

**Keywords:** Maritime, Ship, Marine Diesel Engines, Energy Economy



## 1. GİRİŞ

Sınırlı olan enerji kaynakları, günümüzde gelişen teknolojilere rağmen kolaylıkla ve ucuza sağlanamamaktadır. Bu da bu konuda yeni çalışmalar ve gelişmelerle elde edilen sonuçları sistemlere uygulamayı gerekli kılmıştır. Çünkü, sistemlerin çalışması için gerekli olan enerjinin elde edilme maliyeti işletme giderlerini büyük oranda etkilediğinden enerjinin daha ekonomik kullanımı büyük önem kazanmaktadır.

İşletme giderlerinin minimize edilmesi diğer sektörlerde olduğu gibi denizcilik sektöründe de büyük önem taşımaktadır. Uluslar arası rekabete açık olan bu sektörde gemi sahipleri gemi işletme giderlerini minimize edebilme oranına paralel, rekabet şansları da o oranda artacaktır. Hiçbir denizcilik firmasının rekabet şartlarına uymadan gelişebilmesi ve varlığını sürdürebilmesi mümkün değildir.

Denizcilik sektörünün ana kapitali olan gemilerin işletme giderlerini oluşturan başlıca harcamalar şunlardır:

- Sigorta
- Bakım-tutum giderleri
- Kumanya
- Yakıt
- Personel maaşları
- Liman ve kanal geçiş ücretleri
- Klas kuruluşu giderleri
- Yağlama yağı

Gemi sahibinin sigorta, klas kuruluşu, liman ve kanal geçiş ücretleri ile ilgili harcamalarının kısılması üzerinde herhangi bir etki oluşturması mümkün değildir. Ayrıca personel maaşı ve kumanya harcamalarında da yapılması planlanacak bir tasarruf, beraberinde başka problemleri de getirecektir. İşletmecinin üzerinde önemle duracağı ve etki edebileceği giderler bakım-tutum, yakıt ve yağlama yağı giderleridir. Yakıt giderleri hem diğer giderlerden fazladır, hem de bakım-tutum ve yağlama yağı giderlerini de etkilemektedir. Dolayısıyla yakıt giderlerinin minimize edilmesi, işletmecilik açısından büyük önem taşımaktadır. Enerji ekonomisi

uygulamalarının gemide kullanılması ile yakıt giderleri azaltılabilmektedir.

Gemide yakıt giderlerinin minimize edilmesi, yakıt sarfiyatına etki eden bütün noktalardaki verimliliğin artırılması ile olur. Bu nedenle, yakıt sarfiyatına etki eden direkt yada endirekt bütün faktörlerin ortaya konulması ve bu faktörlerdeki verimliliğin artırılması gereklidir.

Geminin hareket edebilmesi için makine dairesinde bulunan ana makinenin çalışıp güç üretmesi, bu gücün ana makineye bağlı şaftla pervaneye iletilmesi ve gemiye etki eden dirençlerin yenilmesi gereklidir. Tahrik gücünün elde edilip, geminin hareket edebilmesi için gemi bünyesinde gerekli olan elektrik enerjisinin üretilmesi, makinelerin yağlanması, soğutulmasını ve belli sistemlerin ısıtılmasını sağlayacak pompa, kazan, seperatör gibi yardımcı makinelerde devrede olmasını gerekli kılmaktadır. Ayrıca gemiye yön verecek olan dümen, seyir ve haberleşme teçhizatının da kullanılması gereklidir. Bununla birlikte seyir halindeki geminin uygun trimde ve uygun rotada belirlenen istenen hızda yol alması da önemli faktörlerdendir. Bu nedenle, gemide en büyük yakıt sarfiyatına sahip olan gemi makinelerinde, yakıt sarfiyatını düşürecek enerji ekonomisi uygulamaları bütün gemiyi kapsayacak biçimde gerçekleştirilmelidir.

Yapılan bu çalışmada enerji ekonomisine, enerji ekonomisi açısından, yakıt giderlerine etki eden yapısal durumdan işletmecilik noktasına kadar bütün faktörler ele alınmış, bu faktörlerin verimliliğinin nasıl arttırılabileceği ve etkilerinin hangi değerde olduğu ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçların ışığında bu çalışmalar, YASA Denizcilik Ticaret AŞ'ye ait 2001 yapımı NK Klaslı Türk bayraklı 52400 DWT'luk dökme yük gemisi M/V YASA EMİRHAN gemisi üzerinde uygulanarak, mevcut durum ile verimliliğin arttırılması sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.

## 2. UYGULANABİLECEK YÖNTEMLER

Gemilerin işletme giderleri içinde en büyük miktarlardan birini oluşturan yakıt giderleri, özellikle yakıt fiyatlarının arttığı ve navlunların düştüğü dönemlerde daha büyük önem kazanmaktadır. Geminin mevcut durumuna göre, yapılabilecek enerji ekonomisi çalışmalarıyla bu gideri azaltmak mümkündür. Bu güne kadar yakıt giderlerinin azaltılması ile ilgili yapılan çalışmalarda belli noktalar üzerinde yoğunlaşmıştır. Gemide yakıt giderlerine etki eden bütün faktörler ve onların etki derecesini gösteren çalışmalar yapılmamıştır. Oysa ki, gemi makinelerinin yakıt giderlerinin istenen düzeyde minimize edilmesi, geminin bütününe içine alacak enerji ekonomisi çalışmalarıyla mümkün olabilir. Çünkü gemi makinelerinin yakıt sarfiyatına gemiye ait bir çok faktör etki etmektedir. Yakıt sarfiyatına etki eden bütün faktörlerin ortaya konulması, bu faktörlerin verimlerinin artırılma yollarının belirlenmesi ve mevcut şartların doğru biçimde işletilmesi ile yakıt giderlerini minimize etmek mümkün olabilir.

Yakıt giderlerine etki eden faktörlerin verimlerinin artırılması için yapısal değişikliklere gidilmesi, teknolojik gelişmelerin gemi bünyesine uygulanmasının yanında mevcut operasyon şartlarının iyileştirilmesi ile mümkün olabilir. Belli harcamaları gerektiren iyileştirme çalışmalarının gemi için en uygun şeklinin belirlenmesi geminin yaşı ve servis ömrü ile yakından ilgilidir. Çünkü yapılan yatırım için yapılan harcamaların geri dönüş süresi önemlidir. Ancak yüksek maliyete gerek olmadan yapılabilecek enerji ekonomisi uygulamalarıyla da yakıt giderlerini düşürmek mümkündür.

Gemide yakıt giderlerine etki eden enerji ekonomisi uygulamalarının yapılacağı başlıca faktörler şunlardır: (Deniz, 2000)

1. Toplam direncin azaltılması,
2. Sevk veriminin artırılması,
3. Makine dairesinde bulunan makinelerin verimlerinin artırılması,
4. Seyir veriminin artırılması.

### 2.1 Toplam Direnci Azaltma

#### 2.1.1 Sürtünme Direncini Azaltma

Geminin su üzerinde hareket edebilmesi için, pervaneye iletilen güç ile gemiye etki eden

dirençlerin yenilmesi gereklidir. Geminin istenen hızda ve belirlenen güçte seyir yapabilmesine gemi direnci doğrudan etki eder.

Hareket eden gemiye etki eden toplam direnç, geminin su altındaki dirençleri ile su üstündeki dirençleri toplamına eşittir. Su altındaki dirençler sürtünme direnci ve artık dirençtir. Su üstündeki direnç ise hava direncidir. Hava direnci özellikle konteynır gemilerinde güverteye yüklenen konteynırlar nedeniyle etkisini artırır. Sürtünme direnci dökme yük gemisi ve tanker gibi düşük süratli gemilerde toplam direncin %70-90'ını oluşturur. Bu direnç yolcu gemisi ve konteynır gemileri gibi hızlı gemilerde %40 civarındadır. Sürtünme direnci teknenin ıslak yüzeyi ve sürtünme direnç katsayısı  $C_f$  e bağlıdır. (MAN B&W, 1996)

Gemi makinelerinin enerji ekonomisine etki eden en önemli faktör su altındaki dirençlerdir. Geminin çalışması sırasında tekne üzerindeki boya tabakası zamanla hasara uğrar. Bunun sonucunda tekne sacı üzerinde erozyon olayı baş gösterir. Koruyuculuğunu kaybeden yüzeyler üzerinde pürüzlülük artar. Gemi yüzey pürüzlülüğü aşağıda belirtilen şekillerde oluşmaktadır.

- a. Metal pürüzlülüğü metalin kendi yüzey engebeleri ve korozyon sonucu ortaya çıkan çukurluklar ve metal üzerinde bulunabilecek yada boya içine karışabilecek yabancı maddeler (korozyon ürünleri, toz, gibi).
- b. Yanlış uygulanan boyama tekniği sonucu oluşan pürüzlülük
- c. Boya katmanının kalkması, kabarması gibi sonradan ortaya çıkan bozulmalar.
- d. Biyolojik kirlenme.

Pürüzlülüğü artan yüzeylere deniz canlıları kolaylıkla yapışarak yüzeylerin kirliliğine sebep olur. Bu mekanik kimyasal ve biyolojik etkenler sonucunda gemilerin karma yüzeylerinin sürtünme direnci anar. Gemi tekne yüzeyinin pürüzlülüğünün artışı, geminin sevk sistemi performansını aşağıdaki şekilde etkiler: (Deniz, 2000)

- a. Yüzey sürtünmesinin artışı ile toplam gemi direnci artar.
- b. Pervane üzerine binen yük artar. Bu nedenle gemi sevk veriminin iki elemanı olan pervane açık su ve tekne verimlerini ters yönlerde etkilenmesine sebep olur. Çünkü gemi direncinin artması , gemi pervanesinin içinde çalıştığı ortamı değiştirir. Bunun sonucunda slip'te bir artış ve pervane açık su veriminde bir düşüş gözlenir. (Kresic, 1983)

- c. Pervanenin üzerindeki yükün artması ile pervanenin kavitasyona uğrama olasılığında bir artışa neden olur. (Geisler, 1989)

Bu durumda geminin artan sürtünme direncini yenip belirlenen hızda yol alabilmesi için ana makinenin daha fazla güç üretmesi gereklidir. Güç artışı ile birlikte geminin yükleme ve tahliye yapacağı iki liman arasında yakıt gideri de artar

#### 2.1.1.1 Teknenin Bakım Tutumu

Gemilerin tekne saçlarının korunması ve sürtünme direncinin azaltılması için boyanması gerekir. Bu amaçla çeşitli boya tipleri kullanılır. Gemi üzerindeki boya katmanlarının en üstünde bir ya da iki kat zehirli boya katmanı bulunur. Bu boya, zamana ve geminin su altındaki hareketine bağlı olarak içindeki zehirli suya verir. Bir süre sonunda gemi yüzeyinin zehirlilik durumu, üzerindeki bitkisel ve hayvansal kirlenmeye engel olabilecek düzeyin altına düşer ve tekne yüzeyi mevsime, deniz ortamına ve gemi seyir durumuna bağlı olarak hızla kirlenmeye başlar. Bu kirlenme geminin ışık gören yan yüzeylerinde klorofilli yeşil yosunlar (enteromorpha) gibi ve daha az ışık alan alt yüzeylerinde kahverengi yosunlar(ectocarpus)gibi midye türleri, yanardağ biçimli kabuklular (barnacles), boru kurtçukları ve diatomlar gibi mikrobiyolojik organizmalar ile olur.

Klasik zehirli boyalar bir matris maddesi (epikot, vinil, akrilik ya da klorlu kauçuk) ve bunun içinde bulunan bakır oksit ve organik kalay bileşimleri gibi zehirli maddelerden yapılmaktadır. Zehir, difüzyon kurallarına bağlı olarak suya karışır ve bu karışma, zamanla bir değişme gösterir. Bu zehirlilik miktarının gerekli düzeyin altına düşmesi için gerekli süre genellikle bir yıldır. (Smith, 1984)

Modern zehirli boyalar üzerlerindeki çalışmalar ise sürdürülmektedir .En çok kullanım alanı bulan boya türü, kendi kendine düzgünleşen kopolimer (Self Polishing Copolymer-SPC)boya türü olmaktadır. Bunlarda zehir maddesi, boyanın polimer yapısına bağlı olarak bulunmaktadır. Zehir suyun içinde eriyerek koruyuculuk sağlamakta ve geri kalan polimer iskelet bir süre sonra suyun hareketi ile sürüklenerek, geriye yeni bir boya yüzeyini açığa çıkarmaktadır. Böylelikle hem koruma zamana bağlı olmaktan çıkmakta, hem de tekne yüzeyi gitgide daha düzgünleşmektedir. Bu düzgünleşme ve koruma sağlama öncelikle gemi hareket durumuna bağlıdır. Normal olarak 300µ olarak sürülen boya katmanı, ayda 7-8µ'luk bir aşınma varsayımı ile üç yıla kadar bir koruyuculuk sağlayabilmektedir. (Ünsalan, 1984)

Gemiler gerek tekne ve pervanenin onarım, temizlik ve boyanması, gerekse su altı

sistemlerinin bakımının sağlanması için belli aralıklarla havuzlanırlar. Bu ara havuzlamaların arasında geçen süre, geminin biyolojik kirlenmesi ile yakından ilişkilidir. Gemi havuza alınmasından sonra izlenecek olan işlem sırası aşağıdaki gibidir. (Deniz, 2000)

- a. Gemi üzerindeki biyolojik kirlenmenin temizlenmesi.
- b. Gerekiyorsa gemi üzerindeki eski boya katmanının ve korozyon ürünlerinin tümünden yada bölgesel olarak kazınması. Bu işlem genellikle kumlu, saçmalı ya da yüksek basınçlı su ile çalışan raspalama sistemleri ile yapılmaktadır.
- c. Teknenin tatl su ile yıkanması.
- d. Teknenin fırça yada püskürtme tabancası ile boyanması. Bu boyama önce korozyonu önleyici boya katmanları ile (oleo-reçine ,alüminyum bitüm, kömür katrani-epoksi, klorlu kauçuk gibi) bunların üzerine sürülen zehirli boya katmanları ile olur. Zehirli boya, klasik ya da modern türde olabilir.
- e. Pervanenin parlak bir yüzeye kavuşuncaya kadar cilalanması

Geminin havuzlanmadığı ve tekne kirliliğinin gemi hızının düşmesine yol açması durumunda, sualtı fırçalama sistemleri ile tekne altının temizlenmesi yoluna gidilir. Bu geçici bir çözüm olup, uzun süreli çözüm geminin yeniden etkin bir koruyucu boya ile boyanmasıdır. Ancak geminin havuzlanmadığı ve kirliliğin gemi hızına etki ettiği durumda bu yola baş vurularak olumlu sonuçlar elde etmek mümkündür. (Deniz, 2000)

### 2.1.2 Artık Direnci Azaltma

Artık direnç geminin toplam direncinden gemi ıslak alanına eşdeğer bir levhanın sürtünme direnci çıkarıldıktan sonra kalan dirençtir. Artık direncin büyük yüzdesi dalga direnci olarak kabul edilebilir. Geminin hızı arttıkça artık direnç artar sürtünme direnci azalır. Belli bir Froude sayısından sonra bu azalma durur ve sürtünme direnci hafifçe artar. Su üstünde hareket eden gemilerde iki farklı dalga gurubu meydana gelir: (Kafalı, 1972)

1. Geminin baş tarafından başlayarak dışa doğru açılan dalgalar
2. Geminin hareket doğrultusuna dik enine dalgalar.

Bu dalgalar geminin formuna bağlı olarak aşağıdaki dalga bileşenlerine ayrılırlar: (Kafalı, 1972; Harvald, 1991)

1. Geminin başı etrafında oluşan baş dalgalar,

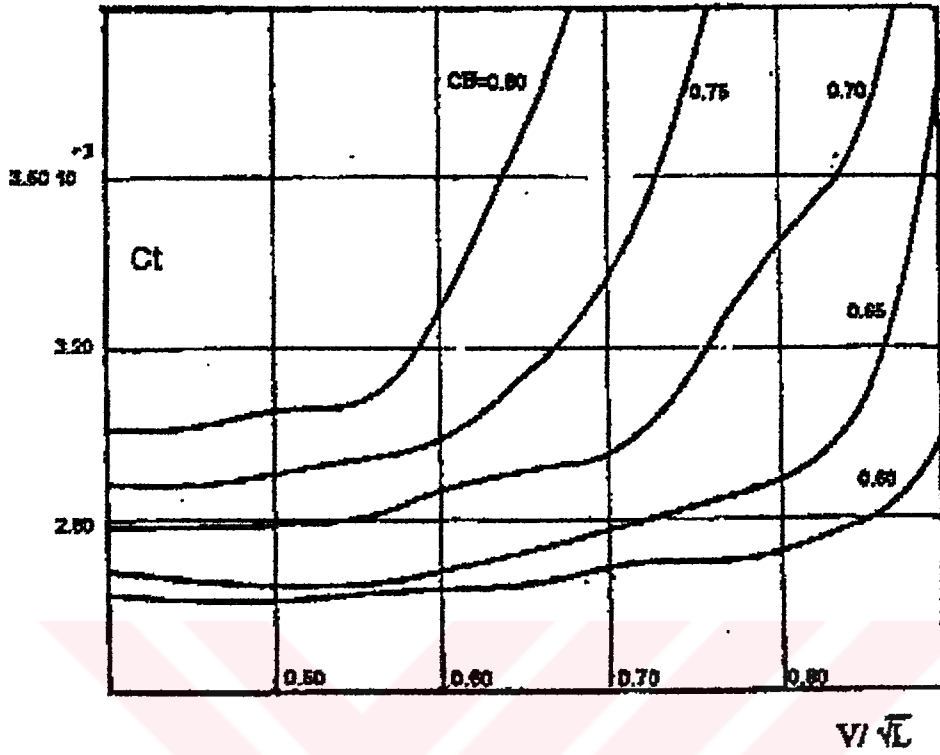
2. Geminin başı ile ortası arasında oluşan baş omuzluk dalgalar,
3. Gemi ortasındaki alçak basınç bölgeleri ile gemi kıçındaki yüksek basınç bölgesinde oluşan kış omuzluk dalga sistemi,
4. Gemi kıçındaki yüksek basınç alanının oluşturduğu kış dalga sistemi.

Gemi etrafında çok sayıda hareket eden basınç noktalarının oluşturduğu dalgaların enterferansı geminin dalga sistemini oluşturmaktadır. Dalga enterferansı yukarıda belirtilen dalga sisteminden özellikle baş ve kış omuzluk dalgalarının yerlerine bağlıdır. (Kafalı, 1972)

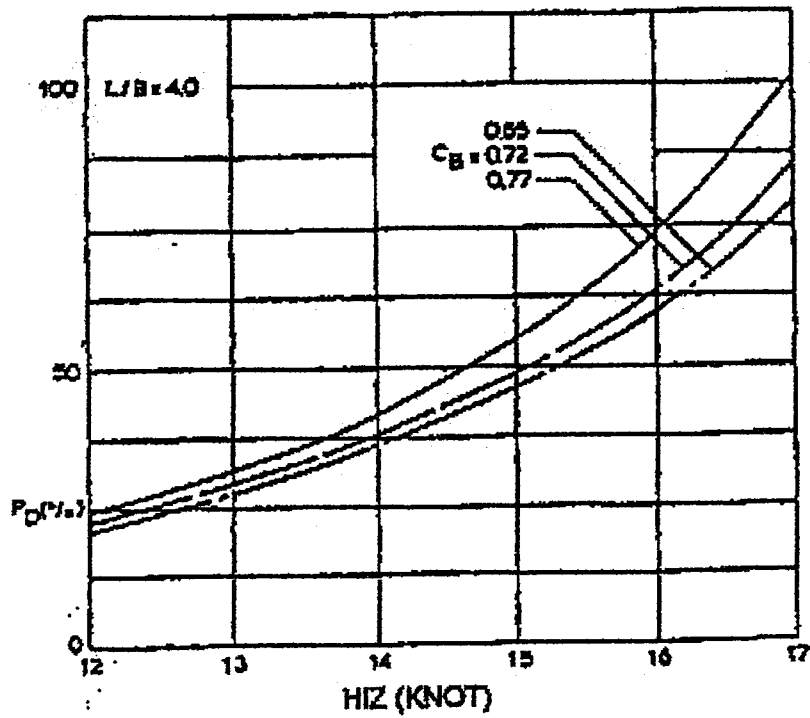
#### **2.1.2.1 Artık Dirence Etki Eden Faktörler**

##### **Deplasman Katsayısının Dirence Etkisi**

Deplasman katsayısı ( $C_B$ ) artık dirence sürtünme direncinden çok daha fazla etki eder. Geminin deplasman katsayısı  $C_B$  arttıkça artık direnç artar. Şekil 2.1'de deplasman katsayılarına göre toplam direnç katsayılarının değişimi görülmektedir. (Kafalı, 1972). Aynı Froude sayılarında  $C_t$  değerleri  $C_B$  arttıkça artmaktadır. Optimal bir direnç ekonomik hız bağıntısı, deplasman katsayısı ile sıkı bir ilişki göstermektedir. Hidrodinamik gemi dizaynına ilk giriş hız-deplasman katsayısı arasındaki bağıntı ile başlamaktadır. Şekil 2.2'de  $C_B$  ye bağlı olarak güç ve hız değişimi görülmektedir. (Harvald, 1991)



Şekil 2.1. Deplasman Katsaylarına Göre Toplam Direnç Katsayılarının Değişimi (Kafalı, 1972)



Şekil 2.2. Deplasman Katsayısına Bağlı Olarak Güç Ve Hız Değişimi (Harvald, 1991)

Deplasman — Boy Sayısının ( $\nabla/L^3$ ) Dirence Etkisi

Aynı geometrik forma sahip gemilerin  $\nabla/L^3$  sayılan büyüdükçe direnç katsayılarının aynı Froude sayıları için büyümekte olduğu tespit edilmiştir. Taylor'un sistematik modellerle yaptığı model deneylerinin sonucu bunu çok belirgin şekilde göstermektedir.  $\nabla\sqrt{L}$  değerleri arttıkça  $\nabla/L^3$  etkisi daha açık bir hal almaktadır. (Kafalı, 1972)

Boyuna Deplasman Merkezinin Yeri (L.C.B.)'nin Dirence Etkisi

L.C.B.'nin yeri gemilerin direnci yönünden en önemli bir geometrik unsurdur. L.C.B. deplasman volümünün yayılışını, diğer deyişle en kesit alanları eğrisinin yayılış şeklini ifade etmektedir. L.C.B. , ile gemi hızı ( $\nabla\sqrt{L}$ ) arasındaki uygun bir bağıntı, geminin minimum direnci vermesini sağlamaktadır. (Kafalı, 1972)

Geminin hızının düşük olduğu durumlarda, L.C.B. değeri baştan kıçta kaydırıldıkça direnç katsayısı büyümektedir. Froude sayısı büyüdükçe, direnç yönünden L.C.B. değerinin kıçta kaydırılması olumlu sonuçlar vermektedir. Tablo 1.1'de  $C_b=0.70$  olan 400 ft. boyundaki gemilerin toplam direnç katsayıları L.C.B. nin değişik mevkileri ile verilmiştir. Tablo 1.1'de görüldüğü gibi Froude sayısının küçük değerlerinde L.C.B. değerinin geminin ortaya göre baş tarafa kaymış olması direnç bakımından olumlu sonuçlar vermektedir. Bununla beraber Froude sayısı arttıkça L.C.B. nin geminin kıçına doğru kayması direnç yönünden zorunlu olmaktadır.

Çizelge 2.1. Toplam Direnç Katsayılarının L.C.B.'ye Göre Değişimi (Kafalı, 1972)

	% L	% L	% L	% L	% L
$\nabla\sqrt{L}$	<u>2.05 kıç</u>	<u>0.55 kıç</u>	<u>0.50 Baş</u>	<u>1.5 Baş</u>	<u>2.55 Baş</u>
0.40	2.903	2.729	2.794	2.716	2.681
0.60	2.991	2.881	2.866	2.836	2.826
0.80	3.235	3.255	3.445	3.650	4.005
1.00	7.647	8.002	8.662	8.887	9.627
1.10	8.884	9.312	10.049	10.554	11.409

### Baş Formunun Dirence Etkisi

Gemilerin baş tarafına verilen şekillerle direnci azaltmak mümkündür. Direncin azaltılması amacıyla gemilerin baş tarafına ve su hattının altında olmak üzere konulan şekillere balb denilir. Baş tarafa konulan balbın yardımı ile baş bodoslama civarında oluşan baş dalgası kısmen azaltılabilir veya söndürülebilir. Balbli geminin dalgası daha düz olarak oluşur. Bu durumda da dalga yüksekliğinin karesi ile değişen enerji dolayısıyla dalga direnci azalır. (Kafalı, 1972)

Balbın uygun sınırı  $\sqrt{L}:0.8-1.9$  arasındadır. Balb etkisini artırabilmesi için mümkün olduğunca su hattının altına konulur.

## 2.2 Sevk Verimini Artırma

Sevk sistemleri gemiye etki eden dirençleri karşılayarak geminin istenen hızda hareketini sağlarlar. Ticaret gemilerinde kullanılan en genel sevk sistemi pervanelerdir. Pervaneler bir silindir etrafına eşit aralıklarla yerleştirilmiş helisel yüzeyler olarak tanımlanabilir. Pervane, vidanın katı cisim içindeki dönerek ilerleme hareketini su içinde yapar. Ana makineye bağlı olan şafttan hareket alan pervanenin dönmesi sonucunda, suyun pervane üzerinde oluşturduğu etki-tepki nedeniyle, pervanenin bağlı olduğu gemi bir öteleme hareketi yaparak hareket eder. Pervaneye geminin kış tarafından bakıldığında görülen yüzeye yüz veya basınç tarafı denir. Bu yüzeyin arka tarafına ise sırt veya alçak basınç tarafı denir. Gemilerde kullanılan pervanelerin sabit kanatlı ve hareket edebilen kanatlı pervaneler olmak üzere iki değişik şekli vardır.

Sevk sistemleri ana makinenin yakıt sarfıyatı üzerinde etkilidirler. Gemi makinelerinde enerji ekonomisi sağlanabilmesi için sevk sistemlerinde verimliliğinin artırılması önemli bir etkindir. (Deniz, 2000)

### 2.2.1 Gemi ve Pervane Arasındaki Karşılıklı Etkiler

Sabit bir hızla hareket eden bir geminin arkasında akım şartları geminin geometrik özelliklerine, Froude ve Reynolds sayılarına göre değişimler gösterir. Geminin kıçındaki akışkanın herhangi bir noktasındaki hızı, gerek doğrultusu ve gerekse miktarı bakımından, geminin kıçından farklıdır. Farklılık gösteren bu bölgeye geminin izi denilir. Gemi izinin içinde bulunacak bir pervaneye geminin etkisi, akışkan hızların değişmesi şeklinde olur. Geminin ortalama iz hızı aşağıdaki biçimde gösterilir:

$$\Delta V_A = V - V_A \quad (2.1)$$

$\Delta V_A$  :Geminin ortalama iz hızı

$V_A$  : Geminin kıçındaki akışkan hızlarının ortalama değeri

$V$  :Geminin hızı

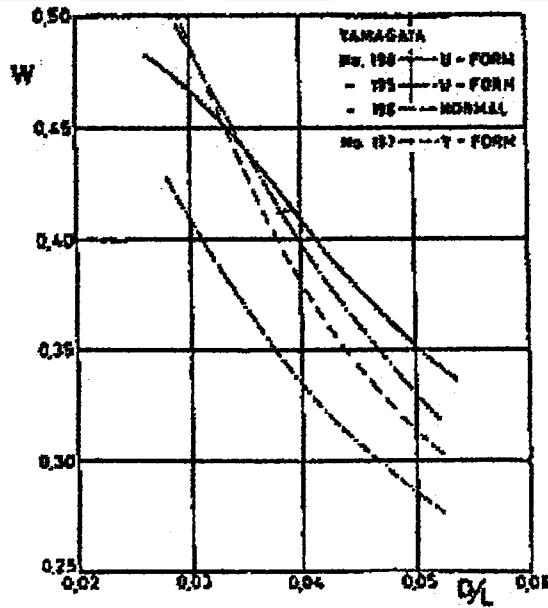
Geminin ortalama iz hızının gemi hızına oranına iz katsayısı denir ve aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$w = \Delta V_A / V \quad (2.2)$$

İz katsayısının değeri büyük oranda geminin formuna bağlıdır. Ayrıca pervanenin yeri ve ölçüleri de iz katsayısını etkiler. İz katsayısının pervane verimi üzerinde büyük etkisi vardır. (Kresic, 1983). Pervane çapının gemi boyuna oranının  $w$  üzerindeki etkisi şekil 2.3’de Taylor, Kempf ve Yamataga’nın elde ettiği sonuçlarda görülmektedir. (Harvald,1991)

İz katsayısı tekne yüzeyi kirlendikçe artar. Gemi yeni ve tekne altı temiz olduğu zaman en az değerdedir. Ancak teknenin korozyon, erozyon, koruyucu boyanın bozulması ve çeşitli deniz canlılarının tekneye yapışması sonucu pürüzlenmesi ve kirlenmesiyle  $w$  değeri artar. Bu faktörlere bağlı olarak  $w$  0.05’e kadar artabilir. (MAN B&W, 1996)

İz katsayısının artması ile pervane etrafındaki suyun dağılımındaki homojenlik bozulacağından pervanedeki kavitasyon riski de artar. Tek pervaneli gemilerde  $w$  değeri 0.20 ile 0.45 arasında değişir. (MAN B&W, 1996)



Şekil 2.3. Pervane Çapının Gemi Boyuna Oranının  $w$  Üzerindeki Etkisi. (Harvald, 1991)

Bir pervane çalıştığı zaman geminin kıçında bir emme olmaktadır. Pervanenin gemiye olan emme etkisi gemide bir direnç artışı meydana getirmektedir. V hızı ile hareket eden bir gemi direnci R ise, gemiyi bu hızda sevk edebilmek için pervaneden alınması gereken itme değeri aşağıda gösterilmiştir:

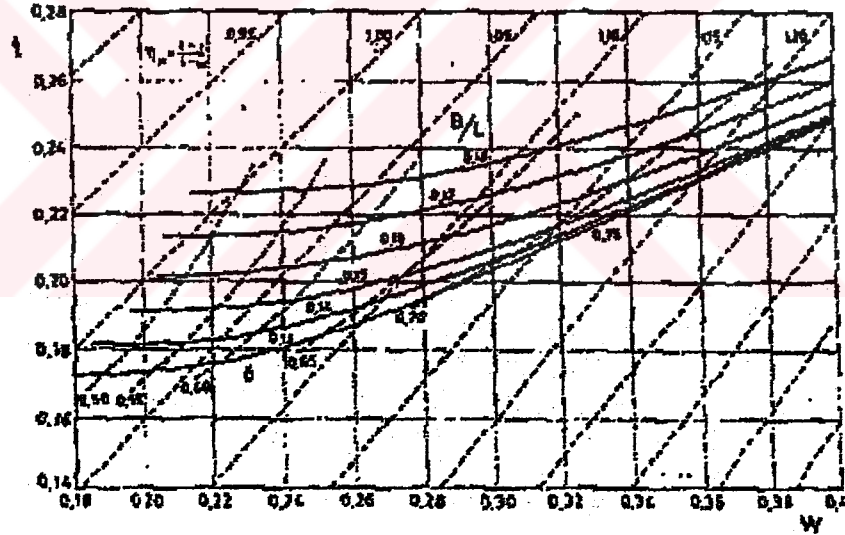
$$T=R+\Delta R \quad (2.3)$$

$$\Delta R/T = \frac{T - R}{T} = t \quad (2.4)$$

$\Delta R$ : emme kuvveti

t: emme katsayısı

Emme katsayısı, pervanenin gemiye olan etkisini gösteren bir bağıntıdır. Gemi ile pervane karşılıklı birbirlerine etkide bulunurlar. t değeri, BİL oranına bağlıdır. Ayrıca V kıç formu gemilerdeki değeri U kıç formu gemilerden daha fazladır. (Harvald, 1991)



Şekil 2.4. İz Katsayısı Değeri ve Emme Katsayısı Değeri Değişimi (MAN B&W, 1996)

Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi iz katsayısı değeri arttıkça emme katsayısı değeri de artar. Tek pervaneli gemilerde emme katsayısı 0.12 ile 0.3 değerleri arasında değişir. Blok katsayısı büyük olan geminin emme katsayısı da büyük olur. (MAN B&W, 1996)

### 2.2.2 Sevk Verimine Etki Eden Verimler

Sevk verimine gemiye ait bir çok faktör etki eder. Bu faktörlerin hepsinde yapılacak bir iyileştirme ile sevk verimi istenen düzeye çıkarılarak enerji ekonomisi elde edilebilir. Sevk verimine etki eden faktörler şunlardır:

- Tekne verimi
- Relatif dönme verimi
- Şaft verimi
- Pervane verimi

Hareket halinde bulunan geminin sevk verimi bu verimlere bağlı olarak aşağıdaki şekilde gösterilir

$$\eta_T = \eta_H \eta_R \eta_S \eta_O \quad (2.5)$$

$\eta_T$ : Sevk verimi

$\eta_H$ : Tekne verimi

$\eta_R$ : Relatif dönme verimi

$\eta_S$ : Şaft verimi

$\eta_O$ : Pervane verimi

#### 2.2.2.1 Tekne Verimi

Tekne verimi teknede oluşan efektif gücün, itme gücüne oranına denir ve aşağıdaki şekilde gösterilir

$$\eta_H = P_E / P_T \quad (2.6)$$

$P_E$ : Teknede Oluşan Efektif güç

$P_T$ : Toplam güç

Ayrıca tekne verimi aşağıdaki biçimde de ifade edilir:

$$\eta_H = \frac{1-t}{1-w} \quad (2.7)$$

Tekne verimi tek pervaneli gemilerde 1, den büyüktür. Genellikle 1.1 ile 1.4 arasında değişir. İki pervaneli gemilerde ise 0.95 ile 1.05 arasında değişir. (Kafalı, 1972)

#### 2.2.2.2 Pervane verimi

Pervane verimi tekneye takılmadan önceki açık suda çalışma verimiyle ilgilidir. Pervane verimi özellikle geminin kıçındaki akışkan hızlarının ortalama değerine  $V_A$  itme kuvvetine  $T$ , devir sayısına  $n$  ve moment  $Q_0$ 'ya bağlıdır. Aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\eta_o = \frac{TV_A}{2\pi n Q_0} \quad (2.8)$$

Pervane verimi yaklaşık olarak 0.35 ile 0.75 arasında değişir. %100 yerime erişilememesinin nedeni momentum ve sürtünmeden dolayı oluşan kayıplardır. (Kafalı, 1972)

#### 2.2.2.3 Tekne Arkasındaki Pervane Verimi

Pervanenin gemi arkasında iz yayılışının farklı olması, kanat üzerindeki viskoz ortamın türbülant karakter göstermesi nedeniyle  $Q$  moment değerine sahip olur. Tekne arkasındaki pervane verimi aşağıdaki biçimde gösterilir. (Kafalı, 1972)

$$\eta_o = \frac{TV_A}{2\pi n Q_0} \quad (2.9)$$

#### 2.2.2.4 Rölatif dönme verimi

Tekne arkasındaki pervane veriminin açık sudaki yerime oranına denk. Sevk veriminin yüksek olması için rölatif dönme veriminin yüksek olması gereklidir. Pervane çapının artması ile bu verim artar. Aşağıdaki şekilde gösterilir. (Kafalı, 1972)

$$\eta_R: \eta_B/\eta_o \quad (2.10)$$

#### 2.2.2.5 Şaft Verimi

Şaft verimi, pervaneye sevk edilen gücün, ana makinenin fren beygir gücüne oranına denir ve aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\eta_R: P_D/P_B \quad (2.11)$$

Şaft verimi şaft yataklarının yağlanmasına, eğer konulmuş ise devir düşürücü donanımların

verimine ve yağlanmalarına bağlıdır. Şaft verimi 0.96 ile 0.995 arasında değişir. (Kafalı, 1972)

### 2.2.2.6 Pervane Çapının Sevk Verimine Etkisi

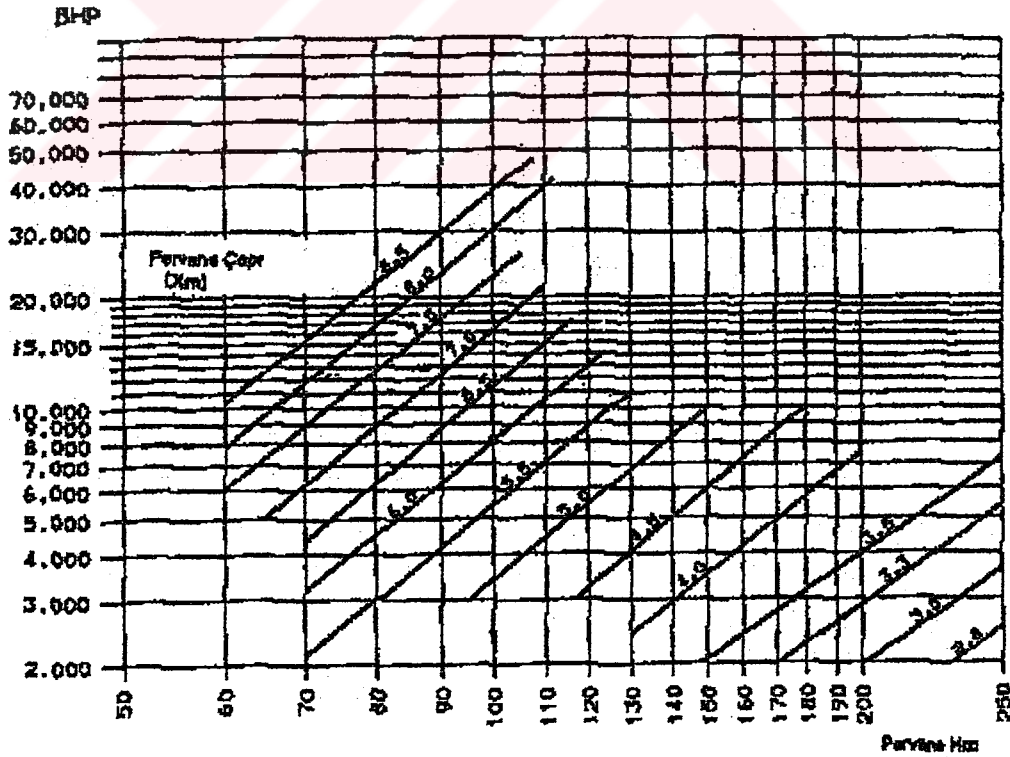
Pervane çapı ile devir sayısı arasında doğrudan bir ilişki vardır. Şekil 2.5’de belli bir güçte devir sayısı ve pervane çapı arasındaki ilişki görülmektedir. Pervane çapı arttıkça devir sayısı azalmaktadır. Şekil 2.6’da Devir sayısındaki azalmaya bağlı olarak görüldüğü gibi pervane verimi artmaktadır. Devir sayısı ile pervane verimi arasındaki ilişki aşağıdaki formülde de görülmektedir. (Harvald, 1988)

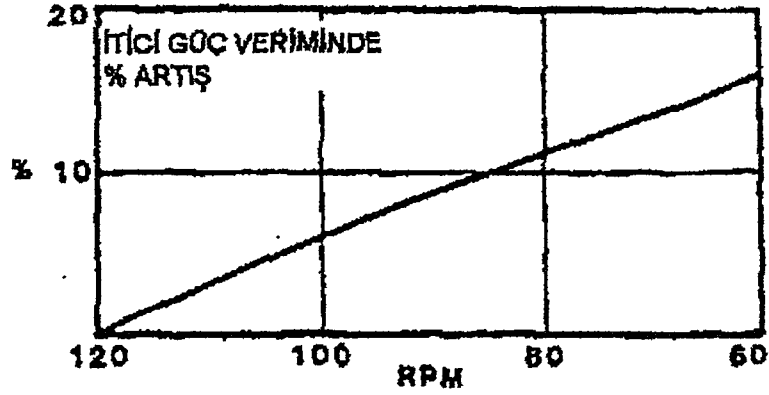
$$\eta_D = 0,84 - \frac{n\sqrt{L}}{10000} \quad (2.12)$$

n: Pervane devir sayısı

L: Gemi boyu

Pervane çapının artması ile pervaneye binen yük azalır, Bu yüzden pervanenin açıksu verimi dolayısı ile pervane verimi artar. (Hensel, 1982)





Şekil 2.6. Devir Sayısına Göre Pervane Veriminin Artışı (Harvald, 1988)

### 2.2.3 Pervanelerde Kaviteasyon

Pervane kanatlarına hasar veren ve sevk veriminin düşmesine yol açan bir olaydır. Deniz suyu içerisinde hareket eden pervanenin etrafında bir hızlar alanı oluşmakta ve dolayısıyla pervanenin kanatlarının etrafındaki her noktada değişik basınçlar doğmaktadır. Pervane kanatlarının etrafındaki lokal basınç değerleri akışkanın buharlaşma basıncının altına düşebilmektedir. Kanatların etrafındaki akışkan içinde basınç düşmesinden dolayı kabarcıklar oluşmaya baslar ve sonra bu kabarcıklar patlar . Bu olaya kaviteasyon denilir. Pervanelerde oluşan kaviteasyon olayı aşağıdaki şekilde ikiye ayrılır:

- Laminar (şerit) kaviteasyon
- Kabarcıklı kaviteasyon

Laminar kaviteasyon, pervanenin kanat uçlarında yüksek hızların doğurduğu basınç düşüşünden oluşur. Bu tip kaviteasyonun pervanenin hidromekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi yoktur. Ayrıca pervanenin itme, dönme momenti ve verimi üzerinde de büyük bir etkisi yoktur. Pervane üzerinde büyük etkiyi kabarcıklı kaviteasyon yapar. Kaviteasyon bölgesindeki sıvı basıncının doymuş buhar basıncına kadar düşmesi ile sıvı içinde erimiş bulunan hava sudan ayrılarak boşluk oluşturur. Bunlar sıvı ve pervane üzerinde patlayarak yerlerine yeni boşluklar oluştururlar. Patlamanın sonucunda oluşan kuvvetler pervane yüzeyleri üzerinde büyük darbe tesiri yapar. Kabarcıkların oluşup patlamasıyla pervane kanadına gelen akım hatlarında bozulmalar görülür. Böylelikle pervanenin itme, dönme momenti ve veriminde büyük değişimler görülür. Pervane yüzeyine ait malzeme aşınarak erozyona uğrar. Oluşan erozyon sonucu pervane verimi düşer. Kabarcıklı kaviteasyon etkisinde bulunan bir pervanede aşağıdaki şekiller görülür: (Deniz, 2000)

- Sırt kavitasyonu
- Yüz kavitasyonu
- Sırt ve yüz kavitasyonu

Pervanelerde kavitasyon sonucu aşağıdaki problemler oluşur: (Gallin, 1983)

- Pervane verimi düşer. Kavitasyonsuz haldeki aynı çalışma şartlarına göre geminin hızı düşer. Aynı hıza erişmek için ana makinenin daha fazla güç üretmesi gerekir.
- Oluşan erozyon sonucu pervane kanatları zarar görür. Pervanelerde erozyon genellikle geniş bir bölgede aşınma yada küçük alanlarda oyuklar şeklinde görülür. Pervane kanatlarının bozulmasıyla da pervane verimi düşer.
- Geminin kıç tarafında ses ve vibrasyon artar.

#### 2.2.4 Pervanelerin Bakım Tutumu

Geminin operasyon şartları da pervane verimini etkiler. Geminin havuzdan çıkışından sonra çalışması sırasında teknenin boyasında aşınmalar nedeniyle tekne direnci artar. Bu nedenle pervanenin içinde çalıştığı ortam değiştirir. Bunun sonucunda slipte bir artış ve pervane veriminde bir düşüş olur. (Harvald, 1991; Watson, 1981)

Pervane kanatları geminin çalışması sırasında seyir ve liman zamanına , pervane yük durumuna ve çevre şartlarına bağlı olarak kirlenir, hasara uğrar. Özellikle pervane yüzeylerinin tekne yüzeylerinde olduğu gibi koruyucu boya ile boyanmaması nedeniyle daha çabuk kirlenir. Kirlenme daha çok kanatların uç kısımlarında görülür. Bu etkiler nedeniyle pervane yüzeyi düzgünlüğünü kaybeder yitirir. Bunun sonucunda pervane veriminde düşüş olur. Pervane veriminin tekrar önceki değerlerine gelebilmesi için pervane yüzeylerinin temizlenmesi ve parlatılması gereklidir. (Deniz, 2000)

#### 2.3 Makine Dairesinde Verimi Artırma

Makine dairesinde verimin artırılması amacıyla yapılacak enerji ekonomisi uygulamaları, geminin diğer bölümlerine göre daha kapsamlıdır ve daha büyük getiriler sağlamaktadırlar. Makine dairesinde verimi artırmak amacı ile yapılacak enerji ekonomisi uygulamaları aşağıdadır: (Deniz, 2000)

- ana makinenin yakıt giderini azaltma,

- jeneratörlerin yakıt giderlerini azaltma,
- atık enerjinin geri kazanılması,
- elektrik tüketiminin azaltılması,
- buhar tüketiminin azaltılması.

### 2.3.1 Ana Makinenin Yakıt Giderini Azaltma

Geminin yakıt giderlerini etkileyen en önemli etken ana makinenin tükettiği yakıt miktarıdır. Ana makinenin seçiminden, işletimine kadar bir çok faktör yakıt giderlerine etki eder. Gemilerde ana makine olarak dizel motorları, buhar türbinleri ve gaz türbinleri kullanılmaktadır. Pervaneyi çevirerek geminin hareketini sağlayan makinenin seçiminde yakıt sarfiyatının dışında aşağıdaki kriterler kullanılır: (Deniz, 2000)

- Yağ sarfiyatı
- Bakım-tutum giderleri
- İşletme kolaylığı
- Servis ömrü

#### 2.3.1.1 Ana Makinenin İşletme Şartlarına Uygun Çalıştırılması

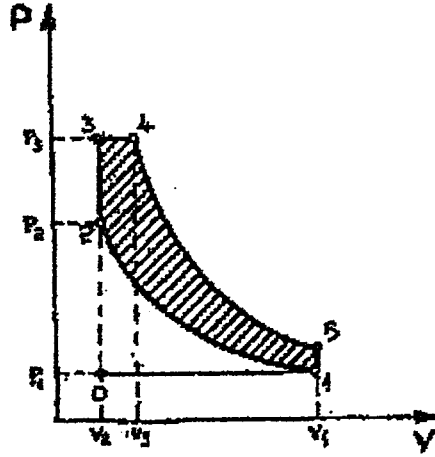
Ana makineler genel işletme giderleri üzerinde önemli etkiye sahiptirler. Ürettikleri güçleri ve yakıt sarfiyatları fazla olan ana makineler makine dairesinin işletme giderleri içerisinde önemli bir bölümü oluşturmaktadır. İşletme giderlerinin azaltılabilmesi, ana makineye ait verin değerlerinin sağlanabilmesi dolayısıyla iyi bir yanmanın elde edilmesiyle mümkün olacaktır.

Dizel motorları, silindir içerisinde termodinamik kurallara göre yakılan yakıtın, oluşturduğu ısı enerjisini mekanik enerjiye çevirirler. Meydana gelen ısının bir kısmı işe dönüşürken, geriye kalan kısmı motorun soğutulması sırasında suya verilmekte, yağlama yağları ve egzost gazlarıyla dışarıya atılmaktadır. Şekil 2.7.'de MITSUI MAN B&W 6S50MC motoruna ait yakıttan elde edilen ısının enerji dağılımı görülmektedir. (Woodward, 1988)



$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (2.13)$$

olur.



Şekil 2.8. Teorik Karma Çevrimin Basınç- Hacim Değişimi (Palavan, 1950)

Aynı zamanda

$$Q_1 = C_V(T_3 - T_2) + C_P(T_4 - T_3) \quad (2.14)$$

$$Q_2 = C_V(T_5 - T_1) \quad (2.15)$$

$k = C_P / C_V$  şeklinde yazılır.

Bunlar ısı verim ifadesinde yerlerine konulursa

$$\eta_t = 1 - \frac{T_5 - T_1}{(T_3 - T_2) + k(T_4 - T_3)} \quad (2.16)$$

elde edilir.

$Q_1$ : Yakıtın yanması sonucu oluşan toplam ısı miktarı (kcal)

$Q_2$ : Sistemden çıkan ısı miktarı (kcal)

$C_V$ : Sabit hacimde gazların özgül ısısı (kcal/kg  $^{\circ}K$ )

$C_P$ : Sabit basınçta gazların özgül ısısı (kcal/kg  $^{\circ}K$ )

$T_5$ : Genişleme sonu sıcaklığı ( $^{\circ}K$ )

$T_4$ : Sabit basınçta yanma sonu sıcaklığı ( $^{\circ}\text{K}$ )

$T_3$ : Sabit hacimde yanma sonu sıcaklığı ( $^{\circ}\text{K}$ )

$T_2$ : Sıkıştırma sonu sıcaklığı ( $^{\circ}\text{K}$ )

$T_1$ : Sıkıştırma başlangıç sıcaklığı ( $^{\circ}\text{K}$ )

Çevrimin ısı verimini hesaplariken, işlemi kolaylaştırıcı çeşitli parametreler kullanmak gereklidir. Bu parametreler durum değişimini tanımlayan noktalardaki hacim ve basınçların oranları ile ifade edilir. Kullanılan parametreler şunlardır.

1. Sıkıştırma oranı: Sıkıştırma başlangıcındaki toplam silindir hacminin sıkıştırma sonundaki yanma odası hacmine oranıdır.  $\varepsilon=V_1/V_2$  ile gösterilir.
2. Basınç artma oranı: Maksimum basıncın sıkıştırma sonu basıncına oranıdır.  $\omega=P_3/P_2$  ile gösterilir.
3. Ön genişleme oranı: Yanma sonu hacminin sıkıştırma sonu hacmine oranıdır.  $\rho=V_4/V_3=V_4/V_2$ 'dir.
4. Genişleme oranı: Genişleme sonrası hacmin, yanma sonu hacmine oranıdır.  $\delta=V_5/V_4$ 'dür.

$$T_5 V_5^{k-1} = T_4 V_4^{k-1} \quad (2.17)$$

$$T_5 = T_4 \frac{V_4^{k-1}}{V_5^{k-1}} \quad (2.18)$$

$$T_5 = T_1 \varepsilon^{k-1} \omega \rho (V_4/V_5)^{k-1} = T_1 \omega \rho (V_4/V_5)^{k-1} (V_1/V_2)^{k-1} \quad (2.19)$$

$V_1=V_5$  ve  $V_2=V_3$  olduğu için

$$T_5 = T_1 \omega \rho (V_4/V_3)^{k-1} = T_1 \omega \rho \quad (2.20)$$

Elde edilir. Bütün bu değerler bağıntıda yerine konulursa

$$\eta_i = 1 - \frac{T_1 \omega \rho^k - T_1}{T_1 \varepsilon^{k-1} \omega - T_1 \varepsilon^{k-1} + k(T_1 \omega \rho \varepsilon^{k-1} - T_1 \varepsilon^{k-1} \omega)} \quad (2.21)$$

$$\eta_i = 1 - \frac{\omega \rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} \omega - 1 + k\omega(\rho - 1)} \quad (2.22)$$

sonucu elde edilir.

Teorik termik verim,  $\varepsilon$ ,  $\omega$ ,  $\rho$  değerlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Tablo 2.3'de teorik termik verim  $\omega:1.5$  k: 1.3 sabit değerlerinde tutulurken  $\varepsilon$  ve  $\rho$ 'ya bağlı olarak teorik termik verimin aldığı değerler görülmektedir. (Palavan, 1950)

Çizelge 2.2  $\varepsilon$ ,  $\rho$ 'nun Değişimine Göre Termik Verim (Palavan, 1950)

$\rho$	$\varepsilon$	12	14	16	18
1.2		0.519	0.541	0.559	0.574
1.4		0.509	0.539	0.550	0.565
1.6		0.499	0.522	0.540	0.556

$\varepsilon$  değeri arttıkça termik verim artarken,  $\rho$  değeri arttıkça azalmaktadır.  $\rho$  artması yanma sonu hacmi artacağı için termik verimin yükseltilmesi için yanmanın küçük hacim artışında gerçekleşmesi gerekir.  $\omega$  değeri arttıkça termik verim artar. Diğer değerler sabit kaldığında  $\omega$ 'nin artışı ile termik verim artmaktadır.

#### Volumetrik Verim

Teorik çevrimlerde, emme veya süpürme sonunda; sıkıştırma başlangıcında, silindir içerisindeki gazların tamamının hava olduğu kabul edilir. Ancak gerçekte durum farklıdır. Çünkü emme veya süpürme sonrasında silindirde hava ile beraber egzost gazları (artık gazlar) bulunur. Artık gazlar nedeniyle silindire daha az hava girer. Silindirde bulunan hava ile ideal durumdaki hava oranına volumetrik verim denir. Aşağıdaki şekilde belirtilir.

$$\eta_v = \frac{V_e}{V_0} = \frac{G_e}{G_0} \quad (2.23)$$

$V_e$  = Emilen gerçek havanın hacmi ( $m^3$ )

$V_0$  = Teorik havanın hacmi ( $m^3$ )

$G_e$  = Emilen gerçek havanın ağırlığı (kg)

$G_0$  = Teorik havanın ağırlığı (kg)

$$G_e = G_a - G_r \quad (2.24)$$

$G_a$  = Sıkıştırma başlangıcında silindirde bulunan toplam gaz miktarı.

$G_r$  = Emme başlangıcında silindirde bulunan artık gazların miktarı.

Bu gazların durumunu ideal gaz kanununa göre yazarsak

$$P_a V_a = G_a R_a T_a \quad (2.25)$$

dır. Bu bağıntıdan artık gazların ağırlığı

$$G_a = P_a V_a / R_a T_a \quad (2.26)$$

$P_a$  = Emme sonunda toplam gazların basıncı ( $\text{kg/cm}^2$ )

$V_a$  = Emme sonunda toplam gazların hacmi ( $\text{m}^3$ )

$T_a$  = Emme sonunda toplam gazların sıcaklığı ( $^{\circ}\text{K}$ )

$$G_r = P_r V_c / R_r T_r \quad (2.27)$$

$P_r$  = Emme başlangıcında artık gazların basıncı ( $\text{kg/m}^2$ )

$V_r$  = Emme başlangıcında artık gazların hacmi ( $\text{m}^3$ )

$T_r$  = Emme başlangıcında artık gazların sıcaklığı ( $^{\circ}\text{K}$ )

$$G_o = P_o V_h / R_o T_o \quad (2.28)$$

$P_o$  = Atmosfer basıncı

$V_h$  = Strok hacmi ( $\text{m}^3$ )

$T_o$  = Sıcaklık ( $^{\circ}\text{K}$ )

$$G_e = \eta_v G_o = G_a - G_r \quad (2.29)$$

$$\eta_v \frac{P_o V_h}{T_o R_o} = \frac{P_a V_a}{T_a R_a} - \frac{P_r V_c}{T_r R_r} \quad (2.30)$$

yaklaşık olarak  $R_o = R_a = R_r$  kabul edilirse:

$$\eta_v \frac{P_o V_h}{T_o} = \frac{P_a V_a}{T_a} - \frac{P_r V_c}{T_r} \quad (2.31)$$

$$\eta_v = \frac{T_0}{P_0 V_h} \left( \frac{P_a V_a}{T_a R_a} - \frac{P_r V_c}{T_r R_r} \right) \quad (2.32)$$

$$V_h = V_a - V_c = V_c \left( \frac{V_a}{V_c} - 1 \right) \quad (2.33)$$

olduğu için

$$\eta_v = \frac{T_0}{P_0} \left( \frac{P_a V_a}{V_c T_a} - \frac{P_r V_c}{V_c T_r} \right) \frac{1}{\varepsilon - 1} \quad (2.34)$$

$T_0=273$  K,  $P_0=1\text{kg/cm}^2$  alınursa

$$\eta_v = \frac{273}{\varepsilon - 1} \left( \frac{\varepsilon P_a}{T_a} - \frac{P_r}{T_r} \right) \quad (2.35)$$

elde edilir.

**Volumetrik Verimi Etkileyen Etkenler:**

Volumetrik verim aşağıda belirtilen etkenlerin değişmesine göre azalma veya artma gösterir

1- Artık gazların basıncı ( $P_r$ ) arttıkça volumetrik verim azalır. Egzost gazlarının dışarıya atılışında zorluklarla karşılaşılması ( $P_r$ ) basıncını artırır. Örneğin egzost portlarının tıkanması, susturucunun tıkanması gibi durumlarda karşı basınç oluşacağından, yanmış gazların dışarıya atılması zorlaşır. Bu durumda ( $P_r$ ) basıncı artacağı için volumetrik verim azalır.

2- Giriş havası basıncı arttıkça volumetrik verim artar. Çünkü silindire giren havanın basıncının artmasıyla içeride iyi bir süpürme sağlanıp, yanmış gazların tamamına yakını dışarıya atılır. Böylelikle silindir içerisindeki hava miktarı artarken volumetrik verim yükselir. Giriş havası türboşarjler tarafından sağlanır. Türboşarjlerin yeterli hava vermemesi nedeniyle giriş basıncı ve volumetrik verim düşeceği için yanma kötüleşir. Dolayısıyla türbini döndürecek egzost gazlarının döndürme gücü zayıflar. Daha az hava silindire verilir. Bu kısır döngü şeklinde devam eder.

3- Sıkıştırma başlangıcındaki hava sıcaklığı azaldıkça volumetrik verim artar. Silindire giren hava art gazlar ve silindir çeperleri tarafından ısıtılır. Isınan havanın hacminin büyümesi nedeniyle hava miktarı azalır. Sıkıştırma başlangıcındaki hava ve daha az oksijen girdiğini

gösterir. Bu durumda da volumetrik yetim düşer.

Motorun Temel Karakteristikleri:

Motorun temel karakteristikleri endike karakteristikler ve efektif karakteristikler olarak ikiye ayrılır.

Endike Karakteristikler

Ortalama Endike Basınç:

Genişleme stroku boyunca etki eden ve çevrimden alınan işe eşit iş veren sabit bir basınçtır. Motor gücünün bulunmasında kullanılan önemli bir karakteristiktir. Şu şekilde ifade edilir

$$P_i = W_i/V_h \quad (2.36)$$

$P_i$  : Ortalama endike basınç ( $\text{kg/cm}^2$ )

$W_i$ : Endike iş ( $\text{kg m}$ )

$V_h$ : Strok hacmi ( $\text{m}^3$ )

Endike iş, yanma ( $W_y$ ), genişleme ( $W_g$ ) ve kompresyon ( $W_k$ ) sırasında yapılan işlerin toplamına eşittir.

$$W_i = W_y + W_g - W_k \quad (2.37)$$

eşitliği elde edilir. Yanma sırasında yapılan pozitif iş

$$W_y = P_4 V_4 - P_4 V_2 = P_4 V_2 (\rho - 1) = P_2 V_2 \omega (\rho - 1) \quad (2.38)$$

Politropik genişleme sırasında yapılan iş ( $n_2 = \text{sabit}$ )

$$W_g = \frac{1}{n_2 - 1} (P_4 V_4 - P_5 V_5) \quad (2.39)$$

4 ve 5 noktalarının karakteristik eşitliğinden,

$$\frac{T_5}{T_4} = \frac{P_5 V_5}{P_4 V_4} \quad \text{politropik genişleme eşitliğinden}$$

$$\frac{T_5}{T_4} = \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}}$$

olduğundan

$$P_4 = \omega P_2 \quad \text{ve} \quad V_4 = \rho V_2$$

$$W_g = P_2 V_2 \frac{\omega \rho}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) \quad (2.40)$$

elde edilir. Politropik sıkıştırmada yapılan negatif iş ( $n_2 = \text{sabit}$ )

$$W_k = \frac{1}{n_1 - 1} (P_2 V_2 - P_1 V_1) \quad (2.41)$$

şeklinde ifade edilir. Aynı zamanda:

$$W_k = \frac{P_2 V_2}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon} \right) \quad (2.42)$$

bulunur. Bu değerler yerine konulursa

$$P_u = P_2 V_2 \left[ \omega(\rho - 1) + \frac{\omega \rho}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] \quad (2.43)$$

sonucu elde edilir. . böylelikle endike iş çevrim parametreleri cinsinden ifade edilmiş olur.

$$\frac{V_2}{V_h} = 1 - \frac{1}{\varepsilon} \quad P_2 = P_1 \varepsilon^{n_1}$$

olduğu için ortalama indike basınç

$$P_u = \frac{P_1 \varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \left[ \omega(\rho - 1) + \frac{\omega \rho}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] \quad (2.44)$$

bulunur. Görüldüğü gibi endike basıncın değeri  $\varepsilon$ ,  $\rho$ ,  $\omega$ ,  $n_1$  ve  $n_2$  parametreleri ile  $P_1$ 'e bağlıdır.  $\varepsilon$  değeri arttıkça ortalama endike basınç artar.  $P_{it}$  büyüklüğüne  $\varepsilon^{n_1} / \varepsilon - 1$  değeri esas olarak etki etmektedir. Örneğin,  $P_1 = 0.9$ ,  $n_1 = 1.38$ ,  $\varepsilon = 13$  değerlerinde  $P_{it} = 6.92 \text{ kg/cm}^2$  olur. Aynı parametreler alınıp  $\varepsilon = 26$  olduğunda  $P_{it} = 8.75 \text{ kg/cm}^2$  olarak gerçekleşir. Bu nedenle  $\varepsilon$  değeri arttıkça ortalama endike basınç artar.

$\omega$  değeri arttıkça yine  $P_i$  artar.  $\omega$ 'nin artması ile maksimum yanma basıncı artar ileride de bahsedileceği gibi maksimum basıncının artması yanmanın tam olarak gerçekleşmesine bağlıdır.

$P_1$  arttıkça  $P_i$  artar. Bu nedenle silindire verilen dolgu havasının basma artırılarak hem

volumetrik yetim, hem de ortalama endike basınç değeri yükselmektedir. Dizel motorlarında düzeltilmiş, gerçek ortalama endike basınç değeri kullanılır. Aşağıdaki şekilde bulunur.  $\phi$  düzeltme katsayısıdır gerçek indikatör diyagram alanının, teorik diyagram alanına oranı ile elde edilir. Gerçek diyagram alanının köşelerinin yuvarlanması nedeni ile teorik diyagramdan farklı olduğu için  $\phi$  değeri 1'den küçüktür. Dört stroklu makineler için  $\phi$  0.95 - 0.97 iki zamanlı makineler için  $\phi = 0.96-0.98$ 'dir. (Küçükşahin, 1985)

### Endike Güç

Her çevrimde silindirden elde edilen güce denir. Aşağıdaki bağıntı ile belirtilir.

$$N_i = W_i \cdot n_i / 60.75 \cdot z \quad (2.45)$$

$$W_i = 10^4 P_i \cdot V_h \quad (2.46)$$

Bu değer bağıntıda yerine konulursa

$$W_i = 10 P_i \cdot V_h \cdot n_i / 60.75 \cdot z \quad (2.47)$$

sonucu elde edilir.

$N_i$ : Endike güç (hp)

$i$ : Silindir sayısı

$n$  : Devir sayısı (dev/dk)

$V_h$ : Silindirin strok hacmi ( $m^3$ )

$P_i$ : Ortalama endike basınç ( $kg/cm^2$ )

$z$  : Üretim periyodu. İki zamanlı motorlarda  $z=1$ , dört zamanlı motorlarda  $z=2$ 'dir. Bu fark nedeniyle silindir sayısı, devir sayısı, strok hacmi ve ortalama endike basıncı eşit olan iki motordan, iki zamanlı olan, dört zamanlıya göre teorik olarak iki kat daha fazla endike güç üretir.

### Endike Verim

Endike işin, üretilen ısı miktarına oranına endike verim denir. Endike verim, yanma sonucu

üretilen güçten ne derece yararlanıldığını gösterir. Ayrıca endike beygir gücü için ne,kadar ısı harcadığını belirtir. Aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir:

$$\eta_i = W_i / Q_1 \quad (2.48)$$

$W_i$ : Endike iş

$Q_1$  : Üretilen ısı

Endike Özgül Yakıt Harcamı

Saatteki yakıt harcamasının endike güce oranına denir. Şu bağıntı ile gösterilir:

$$b_i = B / N_i \quad (2.49)$$

$b_i$  : Endike özgül yakıt sarfiyatı (kg/bg saat)

$B$  : Saatteki toplam yakıt harcamı (kg/saat)

$N_i$  : Endike güç (Bg)

Endike özgül yakıt sarfiyatı, çevrimin kusursuzluğu ve işletme durumunu belirten en önemli parametredir. Motorun yakıt ekonomisi hakkında değerlendirme yapma açısından önemlidir. Endike özgül yakıt sarfiyatı, endike yerime bağlı olarak şu bağıntı ile ifade edilir.

$$b_i = 632.3 / H_u \cdot \eta_i \quad (2.50)$$

$H_u$  : Yakıtın alt ısı değerini

$\eta_i$  : Endike ısı verim

Dizel motorunun ekonomik olarak işletilebilmesi için endike özgül yakıt harcamasının mümkün olduğunca düşük tutulması gerekir. Yakıtın alt ısı değeri arttıkça ve endike verim yükseldikçe, endike özgül yakıt sarfiyatı düşmektedir. Bu yüzden kullanılan yakıtların alt ısı değerlerinin yüksek olmasına dikkat etmek gerekir. Alt ısı değeri hem yoğunluğa hem de yakıt içindeki hidrojen miktarına bağlı olarak değişir. Hidrojen miktarı arttıkça ve yoğunluk azaldıkça yani uçuculuk arttıkça alt ısı değeri artmaktadır.

Endike verimin yükseltilmesi endike gücün, dolayısıyla ortalama endike basıncının artırılması ile sağlanır. Motorlarda ideal bir yanma sağlanamazsa ortalama endike basıncın yükseltilmesi mümkün değildir. Çünkü tam olmayan yanmada maksimum yanma basıncı düşük olacağı için basınç artma oranı ( $\omega$ )'nin değeri de azalır. Yakıtın tamamının yanması ideal yanma için

ayrılmış sürede tamamlanamayacağından yanma sonu hacminin artması ile ön genişleme oranı ( $\rho$ ) yükselir. ( $\omega$ )'nin azalması ve ( $\rho$ )'nun artması ile ortalama endike basınç düşer. Bu yüzden yanmaya etki eden, ideal yanmanın gerçekleşmesini sağlayan, bütün olaylar doğrudan doğruya yakıt sarfiyatına etki eder.

Efektif Karakteristikler

Ortalama Efektif Basınç

Silindirde elde edilen işin tamamı krank şafttan dışarıya alınmaz. Bir kısmı mekanik kayıplar nedeniyle faydalı işe dönüştürülemez. Bu kayıplar nedeniyle ortalama efektif basınç aşağıdaki bağıntılarla ifade edilir:

$$P_e = P_i - P_m \quad (2.51)$$

$P_e$ : Ortalama efektif basınç

$P_i$  : Ortalama endike basınç

$P_m$ : Mekanik kayıplar nedeniyle oluşan ortalama kayıp basınç.

$$P_m = 0.9 + 1.5 C_m \quad (2.52)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.  $C_m$  ortalama piston hızıdır.  $C_m$  değerleri devir sayısına göre şu şekildedir. (Küçükşahin, 1980)

Ağır devirli motorlar ( $n = 100 \div 400$  rpm)  $C_m = 4 \div 5.5$  m/sn

Orta devirli motorlar ( $n = 400 \div 1000$  rpm)  $C_m = 5.5 \div 8.5$  m/sn

Yüksek devirli motorlar ( $n = 1000 \div 2000$  rpm)  $C_m = 8.5 \div 12$  m/sn

Ayrıca ortalama efektif basınç şu şekilde de belirtilir.

$$P_e = P_i \cdot \eta_m \quad (2.53)$$

Bağıntıdaki  $\eta_m$  mekanik verimi gösterir. Mekanik yetim üretilen endike gücün ne kadarının motor kaplininden dışarı alındığını ne kadarının da mekanik kayıplara (sürtünme, yardımcı pompaların tahriki, pompalama kayıpları, parçaların ağırlıklarının atalet kuvveti) gittiğini gösterir. Mekanik verimin artması ile ortalama endike basınç yükselir. Dolayısıyla yakıtın verdiği enerjiden elde edilen iş artar. Motor verimi yükselirken ekonomik işletim sağlanır.

Yakıt giderlerini direkt olarak etkilemesi nedeniyle dizel motorlarının mekanik verimini

azaltıcı etkilerin giderilmesi gerekir. İyi bir yağlanma ile, valflerin tayming ayarlarında çalışmaları sağlanarak, emme ve egzost manifoldları, emme filtresi ve susturucu temizlikleri yapılarak mekanik yetim yükseltilebilir.

Makinenin taşıdığı yük veya ürettiği gücü göstermesi bakımından fren ortalama basıncı değeri son derece önemlidir. Sürekli olarak yüksek değerlerde fren ortalama basıncı üreten bir dizel makinesi, eşit koşullarda olan, ancak daha küçük değerlerde ortalama basınç üreten diğer bir makineden daha yüksek güç geliştirir. Bu nedenle, belli bir makinede fren ortalama basıncı yük ile doğru orantılıdır.

Belli bir silindir çapı ve piston strokunda makinenin ürettiği güç , devir sayısı ve silindirde üretilen ortalama efektif basınç tarafından sınırlandırılır Maksimum makine hızı, makine devir sayısına bağlı aksenal hareketli kütlelerin atalet kuvvetleri tarafından saptanır. Ayrıca , yağlama zorlukları , sürtünme nedeniyle ısı oluşması ve dolayısıyla kayıpların artmasına neden olur . Bu bakımdan yapımçı firmalar tarafından da belirtildiği gibi , maksimum makine hızı kesinlikle geçilmemelidir.

Ortalama efektif basınç, aşağıda belirtilen etkenlerden biri ya da birkaçı tarafından sınırlandırılır:

1. Isı kayıpları ve yanma verimi.

2.Dört stroklu makinelerde dolgu ve hacimsel yerim ve iki stroklu makinelerde ise süpürme verimi. Silindir içine emilen hava dolgusunun miktarı ve mükemmel yanma bu yetimlere bağlıdır . Aşırı doldurma silindirlere verilen havanın miktarını çoğalttığından, fren ortalama basıncının artmasına yardım eder.

Bir makine tarafından üretilen fren ortalama basıncı, makinenin çevirdiği pervane veya herhangi bir pompaya bağlıdır .Pervane ya da pompadaki küçük bile olsa bir hız artışı, fren ortalama basıncının derhal çoğalmasına neden olur Elektrik jeneratörü çevirmekte olan bir makinenin fren ortalama basıncı , jeneratör devir sayısı güvenlik sınırlarını aşmadıkça, istenen sınırlar veya limitler arasında kalacaktır. Efektif ortalama basıncın güvenlik sınırlarını geçmesi durumunda, makine aşırı yük durumu ortaya çıkar. Gereksinim bu tehlikeli durum uygulanmamalıdır.

Dört stroklu dizel motorlarında aşırı doldurma uygulaması ile güç artışı % 100'ün altında olduğundan, yaklaşık fren ortalama basıncı 12 bar dolaylarındadır. Oysa iki stroklu dizel makinelerinin aynı özgül gücü verebilmeleri için , aşırı doldurmaya gereksinimleri yoktur ve

daha basit yapıdaki makinelerle bunu sağlamak mümkündür. (Deniz, 2000)

### Efektif Güç

Motorun kaplininden alınan güce “efektif güç” denir. Fren gücü olarak da adlandırılır. Mekanik kayıplardan dolayı efektif güç endike güçten daha küçüktür.

$$N_e = N_i - N_m \quad (2.54)$$

$N_e$  = Efektif güç

$N_i$  = Endike güç

$N_m$  = Mekanik kayıpların gücü

Efektif güç aşağıdaki bağıntıyla da bulunabilir:

$$N_e = P_e \cdot V_h \cdot n \cdot i / 0.45 \cdot z \quad (2.55)$$

$n$  : Devir sayısı (dev / dk)

$i$  : Silindir sayısı

$V_h$ : Strok hacmi ( $m^3$ )

$P_e$ : Ortalama efektif basınç ( $kg / cm^2$ )

### Efektif Verim

Mekanik verimle endike verimin çarpımına eşittir. Silindir içerisinde yakıtın yanması ile elde edilen ısıdan ne kadarından faydalandığını gösterir.

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m \quad (2.56)$$

### Uygun Yanmanın Sağlanması

İşletilen makinenin enerji ekonomisini ilgilendiren en önemli olayı yanmadır. Yanmanın gerektiği biçimde gerçekleştirilmesiyle yakıt giderleri istenen sınırlarda tutulabilir. Yanmanın kötüleşmesi motor verimli bozmakta ve özgül yakıt giderlerini artırmaktadır. Aynı zamanda kötü yanma, çeşitli biçimlerde makine elemanlarının servis ömürlerini de önemli oranda azaltmaktadır. Dolayısıyla yanmanın işletmeci tarafından iyi şekilde gerçekleştirilmesi işletme giderleri açısından oldukça önemlidir.

Dizel motorunda yanmanın gerçekleştirilmesi için, sıkıştırma strokunun sonuna doğru,

sıkıştırılarak yüksek sıcaklık değerine ulaşan hava içerisinde yakıt püskürtülmeye başlar. Yakıtın yanma odası içinde tutuşup yanması şekil 2.9'da görüldüğü gibi dört fazda gerçekleşir. Bu fazlar oluşum sırasına göre şu şekildedir.

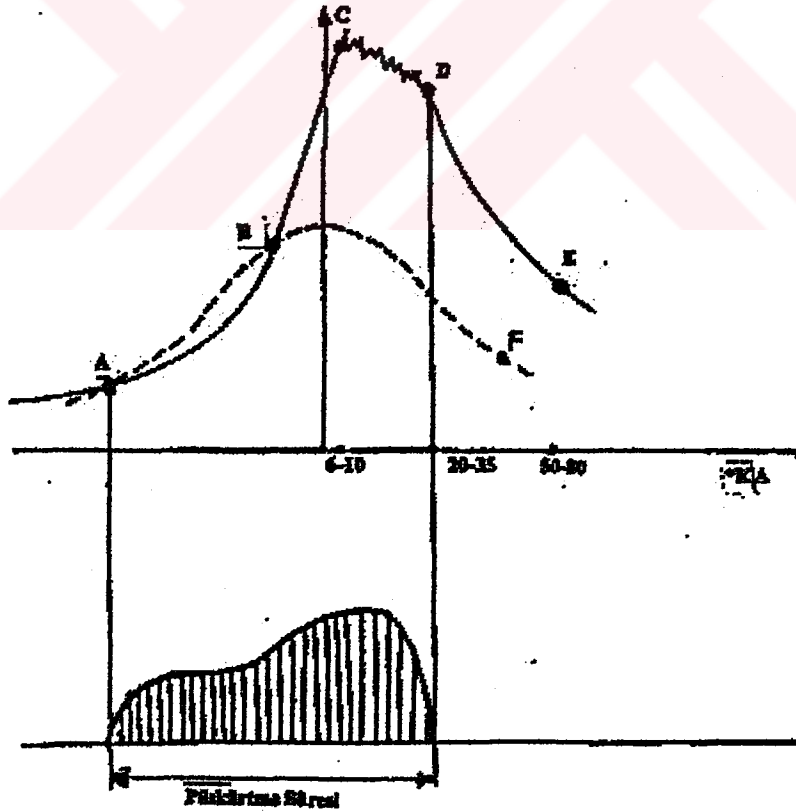
a- Tutuşma gecikmesi

b- Hızlı yanma

c- Kontrollü yanma

d- Art yanma

Yanma olayının ilk fazı tutuşma gecikmesi fazıdır. Yakıtın enjektörden silindir içerisine püskürtülmeye başlandığı (A) noktasından itibaren anı basınç artışının görüldüğü (B) noktasına kadar ki kısım bu fazı gösterir. Hızlı yanma fazı (E) noktasından başlayarak (C) noktasına kadar devam eder. (C) ile (D) noktaları arasında kontrollü yanma fazı oluşur. Art yanma ise (D) noktasından başlayarak (E)'ye kadar devam eder. Eğer silindir içerisine hiç yakıt püskürtülmez ve yanma olmazsa havanın sıkıştırılması sonucu sadece ABE sıkıştırma eğrisi elde edilir.



Şekil 2.9. Yanmayı Oluşturan Fazlar (Küçükşahin, 1980)

Şekil 2.9.'da sıkıştırma eğrisi ile yanma eğrisinin AH noktaları arasında birbirlerinden ayrıldığı görülmektedir. Bunun nedeni püskürtmenin başladığı A noktasında yakıtın silindire girişiyle beraber silindirdeki sıcaklığın azalması ve buna bağlı olarak basınç düşmesidir. Çünkü; havanın sıkıştırılmasıyla oluşan ısının bir kısmı yakıt damlalarının ısıtılmasına ve onların buharlaşmasına harcanır.

#### Tutuşma Gecikmesi

Yakıtın silindir içerisine girişinden, yanmanın başlamasına, yani ilk kıvılcımın gerçekleşmesine kadar geçen süreye, "Tutuşma Gecikmesi" denir. Bu süre içerisinde yakıt tutuşuncaya kadar, fiziksel ve kimyasal olaylarla karşılaşır. Fiziksel olaylar;

- a) Demetin parçalanması ve damlacık oluşumu,
- b) Sıvı yakıtın ısınması ve buharlaşması
- c) Buharın hava ile karışarak yanmaya hazır bir karışımın oluşması.

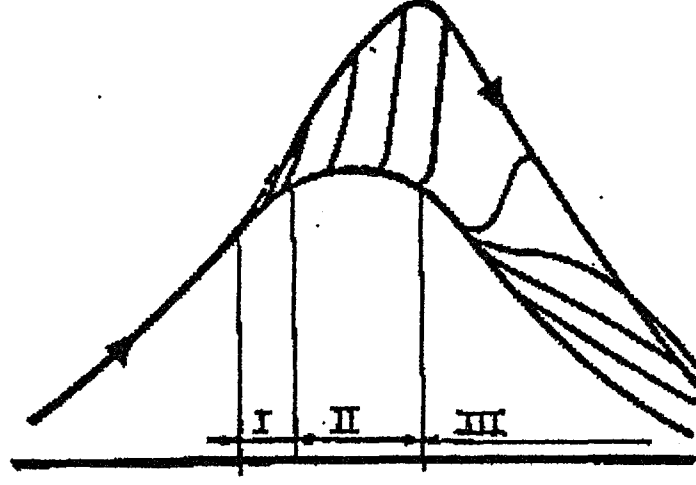
Kimyasal olaylar ise;

- a) Ağır hidrokarbonların daha hafif elemanlara bölünmesi
- b) Bölünen elemanlarla oksijen arasında kimyasal tepkimelerin oluşması

Tutuşma gecikmesinin yanma olayının bütünü üzerinde çok önemli derecede etkisi vardır. Yanmanın tam olabilmesi için, tutuşma gecikmesinin motorun yapımı sırasında deneylerle belirlenen sürede gerçekleşmesi idealdir. Yanmanın ikinci fazını oluşturan hızlı yanma fazına ait eğrinin dikliği ve yükselme miktarına büyük ölçüde tutuşma gecikmesi süresi etki eder. İdeal bir yanmanın olabilmesi için, (BC) noktaları arasındaki eğrinin çok dik ve çok yatık bir şekilde olmaması gereklidir. Çünkü eğrinin çok dik olması, tutuşma gecikmesinden son basıncın aniden çok yükseldiğini gösterir. Bu durum gaz vuruntusuna neden olur. Eğrinin yatıklığı ise, hem maksimum yanma basıncının düştüğünü, hem de tam olmayan yanmanın oluştuğunu gösterir.

Şekil 2.10'da işletme şartları sabit tutularak çeşitli yakıtlardan elde edilen indikatör diyagramları toplu halde görülmektedir. (Erbakan, 1957). (I) aralığı çabuk tutuşan yakıtların durumunu belirtir. Kısa bir tutuşma gecikmesinden sonra yumuşak bir eğrilikte yanma eğrisi oluşur. (II) aralığı daha geç tutuşan yakıtların yanma olayını gösterir. Bu aralıkta tutuşma gecikmesi süresi uzamakta ve sonunda dik bir yanma eğrisi oluşmaktadır. (III) aralığı ise, tutuşması çok zor olan yakıtlara aittir. Oldukça uzun bir tutuşma gecikmesi süresi sonunda,

tutuşma ve yanmanın kötülüğü yüzünden, yanma eğrisi yatık bir şekil alır. Bu nedenle maksimum yanma basıncı düşer ve yakıt giderleri artar. Bu durum uygun yakıt seçiminin önemini gösterir.



Şekil 2.10. Çeşitli Yakıtların İndikatör Diyagramları (Erbakan, 1957)

Dizel vuruntusunun oluşumu üzerinde yukarıda belirtildiği gibi tutuşma gecikmesi süresinin büyük etkisi vardır. Tutuşma gecikmesi süresinin uzamasıyla sınırlı surede silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarı artar. Tutuşmanın başladığı sırada yanma odasında bulunan fazla miktardaki yakıtın hepsinin beraber tutuşarak birden yanmasıyla ani ve yüksek bir basınç artışı ve bunun sonucunda, büyük gerilmeler, şiddetli titreşimler ve yatak basınçları oluşur. Piston, konnektin rod ve yataklara binen aşırı yük, deformasyon ve parçalanmalara neden olur. Motor ömrünü azaltan ve işletme giderlerini artıran, dizel vuruntusu ile karşılaşmamak için tutuşma gecikmesi süresini belirlenmiş surede gerçekleştirmek gerekir.

Yakıt, enjektör nozul deliklerinden püskürtme basıncının etkisiyle yanma odası içerisine püskürtülür. Nozuldan çıkan basınçlı yakıt demet halinde oda içerisinde ilerleyerek, iç kısımlara doğru yayılır. Yakıtın nozuldan çıktıktan sonra yanma odası içerisinde ulaşabildiği mesafeye demet uzunluğu veya penetrasyon denir. Demet uzunluğu yanma odasının şekline bağlıdır. Yakıt, hiç bir şekilde yanma odasını oluşturan elemanlara temas etmeyecek şekilde ayarlanır.

Demet yanma odası içerisinde ilerlerken, yakıt, damlacıklara ayrılır. Demet açısı büyüklüğü gittikçe artarken demet hızı düşer. Hızın en yüksek olduğu yer demetin merkeze yakın olan kısımlarıdır. Demetin merkezinden kenarlarına doğru gidildikçe, damlaların hızı azalır. Bu

nedenle, kenarlardaki damlalar, daha çok miktarda hava ile çevrilir ve daha uzun süre hava ile temas eder. Böylece çabuk ısınıp buharlaşarak en önce tutuşacak duruma gelirler.

Demetin şekli, yanma odası içerisine nüfuz etme derinliği ve hızı; yakıt püskürtme sistemine, nozulun delik sayısına, nozulun ağzının formuna, püskürtme basıncına, yanma odası içerisindeki karşı basınca, yakıtın cinsine yanma odası sıcaklığına ve hava türbülansına bağlıdır.

Demetin üst yüzeyindeki damlalar, hava ile sürtünmeden dolayı, enerjilerinin bir kısmını kaybettikleri için hızları düşeceğinden, demetin alın yüzeyinden ayrılan damlaların yerini yeni damlalar alır. Bu nedenle bütün demetin uzunluğu 250 mm hatta fazla olabilirken, bir yakıt damlacığı yanma odasında ancak 25 mm kadar yok kat edebilir. Demet uzunluğu hesaplarında demetin koni şeklinde olduğu, son kısmının yarım küre biçiminde ve hareketsiz bulunduğu kabul edilerek, demetin bütünü göz önüne alınır. (Heywood, 1988)

Tam yanma olabilmesi için, iyi bir hava yakıt karışımının oluşması gerekir. İdeal karışım, yanma odasındaki sıkıştırılan hava ile yakıtın tamamının temasa geçmesiyle sağlanır. Demet oluşumunun, özellikle penetrasyonun burada çok önemli bir etkisi vardır. Yakıtın yanma odası içerisine iyi bir şekilde dağılmasıyla, hava ile yakıt damlacıkları karşılaşır birbirleriyle temasa geçerek ideal bir karışım oluştururlar.

Bunun sonucunda, yanma öncesi hazırlık reaksiyonları hızlanarak tutuşma gecikmesi süresinin motor dizaynı sırasında belirlenen değerinde gerçekleşmesi sağlanır. Tutuşma gecikmesinin uygun hale gelmesi, yanmanın tamamını olumlu yönde etkilediği ve motor verimini yükselterek, yakıt sarfiyatını etkilediği için, yakıt giderleri istenen sınırlar içerisinde kalır.

#### Yakıtın Damlacıklara Ayrılması

Yanma odası içerisinde oluşan yakıt demeti, ilerlemesi sırasında havanın meydana getirdiği iç kuvvetlerin etkisi ile parçalanıp damlacıklara ayrılır. Tutuşma gecikmesi ile yanmanın diğer fazları üzerinde damlacık çaplarının önemli etkisi vardır. Çünkü yakıtın parçalanması ile oluşan damlacık çapları ne kadar küçük ve dağılımı ne kadar homojen olursa, yakıtın yanmaya hazırlanması ve yanması o kadar kolay ve tam olur.

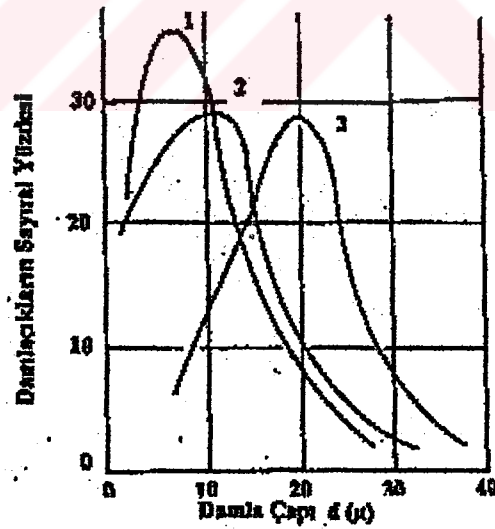
Demet içerisindeki damlaların damla büyüklükleri, püskürtme basıncına, hava ve yakıtın özelliklerine, meme deliklerinin büyüklüklerine bağlıdır. Basıncın artmasıyla, yakıt damlalarının çapı küçülür. Çünkü basıncın artmasıyla hız artar. Hızın artmasıyla yakıtla hava

arasındaki sürtünme artacağı için damla çapları küçülür. (Heywood, 1988)

Meme delik çaplarının, damla çapı üzerindeki etkisi vardır. Meme delik çapının artmasıyla damla çapları da büyür. Meme delik çapının herhangi bir nedenle aşınmasıyla yanma bozulur ve yakıt sarfiyatı artar.

Ayrıca yakıt damlalarının çapı demetin dışından merkeze doğru, gittikçe büyümektedir. Demeti oluşturan damlalar, çaplarına göre gruplara ayrılıp her gruptaki damla adedi çap üzerine taşınırsa, elde edilen damla çoğunluk eğrisinin daima belli bir damla çapı için, maksimum değere sahip olduğu görülür. Elde edilen bu damla çapı ne kadar küçükse, demet o kadar ince olarak damlalara ayrılmış demektir. Çap değeri büyüdükçe ,demet içerisindeki damlaların ortalama çaplarının büyük olduğu anlaşılır.

Şekil 2.11'de ise çeşitli püskürtme basınçlarında damla çaplarının bulunma çoklukları görülmektedir. (1) eğrisi 350 atm. , (2) eğrisi 280 atm., 3 eğrisi 220 atm.'lik püskürtme basıncının damlacık çaplarının dağılımı üzerindeki etkisini göstermektedir. Örneğin, (2) eğrisinde damlacıkların büyük bir kısmı (% 30) 12  $\mu$  çapa sahiptir. (1) eğrisinde daha büyük kısmı (% 33 ) 8  $\mu$  çapa sahip olduğu için 350 atm. basınçta diğer basınçlara göre daha küçük çaplı damlacıklar oluşur. Bu da yakıt ve enerji ekonomisini olumlu yönde etkiler. (Safgönül, 1981)



Şekil 2.11. Çeşitli Püskürtme Basınçlarında Damla Çaplarının Bulunma Çoklukları (Safgönül, 1981)

Püskürtme basıncının artması ve yakıtın üst yüzey geriliminin azalmasıyla damla yarıçapı küçülmektedir. Ayrıca yanma odası içerisindeki havanın yoğunluğunun artmasıyla yine

damlacık yarıçapı küçülür. Çünkü yoğunluğun artmasıyla, sıkışan hava ile yakıtın sürtünmesi daha fazla olmaktadır.

Damlaların %50'sinin çaplarının 15 mikronu geçmemesi ve geri kalanında 50 mikrondan büyük çapta damla bulunmaması halinde bir dizel makinesinin verimli bir yanma oluşturduğunu deneyler göstermiştir. (Chieger, 1979)

Buharlaşma konusunda da belirtildiği gibi damlacık çapları küçüldükçe hava ile temas geçen yüzey büyümekte, buharlaşma çabuklaşmakta ve tutuşma gecikmesi süresi kısaltılmaktadır. Bu durum da yakıtta ekonomi sağlar.

### Buharlaşma

Sıkıştırılan hava ve yakıt damlacıklarının birbirine sürtünmesi sonucu, havanın sıcaklığından etkilenerek damlacık sıcaklığının artması ile buharlaşma olur. Yanma odasına püskürtülerek damlacıklara ayrılan yakıt, hava ile karışmadan ve yanmadan önce buharlaşmak zorundadır. Isı transferi nedeniyle damlacık sıcaklığı hızlı bir şekilde yükselir. Sıcaklık artışı giderek yavaşlar. Sıkıştırılan havadan damlacığa geçen ısı miktarının ilk anki yüksek değeri düşüş gösterir. Buna bağlı olarak, buharlaşma oranı önce yükselirken ısı transferlerinin azalması ile düşer. Damlacık çapı da giderek küçülür. 25  $\mu$  çapında bir damlanın buharlaşması için geçen zaman 1 milisaniyedir. Yakıt damlalarının buharlaşması damlacık çaplarının büyüklüklerine, dağılımlarına ve hızlarına, yanma odası içerisindeki basınç ve sıcaklığa, yakıtın uçuculuğuna bağlıdır. (Heywood, 1988)

Damlacık çapları ne kadar küçükse, ısınmaları ve buharlaşmaları o kadar hızlı olur. Çünkü çapların küçülmesiyle hava ile temas geçen yüzey miktarı artar. Örneğin yanma odası içerisine püskürtülen yakıt miktarı 100 mililitre ortalama damlacık çapı da 20 mikron olsun. Bu yakıt kare şeklinde bir tek damla halinde olursa yüzey alanı 10419  $\text{mm}^2$ 'dir. 20 mikron çapında damlacıklara ayrılması halinde toplam yüzey ise  $3 \times 10^6$   $\text{mm}^2$ 'dir. Dolayısıyla yüzey 2879 defa büyür. Yüzeyin büyümesi ile yakıt ve hava arasındaki temas artarak, damlacıklar daha çabuk buharlaşır ve yanma daha kolay olur.

Damlacıkların ilk hızları da buharlaşmayı etkiler. İlk hızın artması püskürtme basıncının artmasına bağlıdır. Püskürtme basıncı, dolayısıyla ilk hız arttıkça, damlaların ısınmaları o kadar süratli, buharlaşmaları da o oranda şiddetli ve çabuk olur. Ayrıca yanma odası basıncı arttıkça yakıttaki hız düşmesi artar, ısınma ve buharlaşmaları çabuklaşır.

Buharlaşmanın çabuk olması tutuşma gecikmesi süresini olumlu yönde etkiler. Buharlaşma

süresi kısaldıka buna bağlı olarak tutuşma gecikmesi süresi kısalacağı için, tam yanma gerçekleşir. Yakıtın ısı enerjisinden daha fazla iş elde edilerek, motor verimi yükselir ve yakıt giderleri azalır, ekonomi sağlanır. (Küçükşahin, 1980)

#### Kimyasal Olay

Yakıtın buharlaşmasıyla tutuşma gecikmesinin fiziksel hazırlık kısmı sona erer. Bundan sonra kimyasal hazırlık kısmı oluşur ve yakıt kendiliğinden tutuşur.

Sıkıştırılan havanın molekülleri ile yakıt moleküllerinin temasa geçmeleriyle beraber kimyasal reaksiyonlar oluşmaya başlar. Tutuşma gecikmesinin kimyasal hazırlıklar kısmı bu reaksiyonlar tarafından kontrol edilir. (Küçükşahin, 1980)

#### Hızlı Yanma

Yanmanın oluşup, basıncın ani olarak yükselmeye başladığı (B) noktasından, maksimum basıncın elde edildiği (C) noktasına kadar geçen süreye “hızlı yanma” yada “gerçek enerjinin elde edildiği yanma” denir.

Tutuşma gecikmesi süresi içinde silindire giren yakıtın yanmaya başlaması nedeniyle, yanma odasındaki basınç ani olarak çok hızlı bir şekilde artar. Alev hızla yayılır. Yanma, patlamalı yanma karakterindedir. Bu fazda oluşan basınç artma hızının değeri motorun yumuşak veya sert çalışma özelliğini belirler.

Tutuşma gecikmesi fazında ne kadar çok yakıt silindir içerisine birikirse, basınç anma hızı o oranda büyük olur. Aynı zamanda maksimum yanma basıncı da o derecede yüksek olur.

Hızlı yanma fazı krank açısı cinsinden  $5-10^0$  kadardır. Bu faz sırasında bütün çevrim boyunca üretilen ısının % 35-70'i elde edilir. Hızlı yanma fazında üretilen ısı miktarının artması yanmanın iyi ve tam olmasıyla doğru orantılıdır. Bu değer azaldıkça yanmanın kötüleştiği görülr. Piston üzerine uygulanan ilk itme kuvveti bu fazda oluşan yanmadan elde edilir. Maksimum yanma basıncının da bu faz içinde oluştuğu için, bu fazda elde edilen enerji düşerse, üretilen güç de düşer. (Küçükşahin, 1980)

#### Kontrollü Yanma

Kontrollü yanma fazına serbest yanma fazı da denir. Bu faz süresince silindire girmeye devam eden yakıt nozul deliklerinden çıkar çıkmaz tutuşur. Çünkü, yanma odasındaki basınç ve sıcaklık, yanmanın ikinci fazının sonlarına doğru, yakıtın hiç bir gecikme olmadan yanması için yeterlidir. Faz süresince basınç değişimi önemsizdir. Basınç dalgalanmalı olup bazen

yükselir, bazen alçalır. İkinci fazdan geriye kalan yakıtın tamamı bu fazda yanmalıdır.

Yakıttan alınan toplam enerjinin % 30- 65'i bu faz süresince sağlanır. Kontrollü yanma fazının başlangıcında piston UÖN civarındadır. Bu nedenle kontrollü yanma fazı çoğu zaman pistonun aşağı hareketi ve hacim büyümesi sırasında gerçekleşir. Basıncın yükselmesi ve düşmesi ile oluşan dalgalanmaları nedeniyle pistonun AON'ya inmesine yardım eden kuvvetler de basınca bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu yüzden kontrollü yanma fazındaki ısı enerjisinin daha az olması istenir. (Küçükşahin, 1980)

#### Art Yanma

Kontrollü yanmadan sonra oluşan fazdır. ÜON'dan sonra 70-80 KA<sup>0</sup>'na kadar devam eder. Çevrimin genişleme stroku boyunca oluşur. Yakıt püskürtülmediği halde, silindir içinde yanmayı geriye kalan yakıtlar yanar.

Art yanmaya kötü püskürtme ve uygun olmayan penetrasyon, yakıt sıcaklığı ve püskürtme zamanının bozukluğu, yetersiz hava neden olur. Ayrıca geç tutuşan, viskozitesi ve karbon oranı yüksek olan yakıtlar da art yanmayı meydana getirirler.

Art yanma sonucunda yüksek egzost sıcaklıkları oluşur. Art yanmanın uzun süreli olması, silindir gömlek yüzeylerinde, piston kafasında ve yanma odasının diğer elemanlarında aşırı ısınmalara ve deformasyonlara (çökmelere) neden olur. Piston segmanları ve segman yuvalarında kurum ve yapışkan artıklar oluşur. Soğutma suyuna geçen ısı miktarı da artacağı için yakıt enerjisinden elde edilen iş miktarı azalır ve dizel motorunun yakıt giderleri artar. (Küçükşahin, 1980)

#### Yanmaya Etki Eden Faktörlerin Yakıt Ekonomisine Etkileri Devir Sayısı

Dizel motorlarında tutuşma gecikmesi devir sayısının değişmesi ile değişiklik gösterir. Devir sayısının artmasıyla, buna bağlı olarak yanma odasının içerisindeki hava hareketleri kuvvetlenip, silindir içerisindeki türbülans artmaktadır. Püskürtülen yakıtın oluşturduğu demet içerisindeki damlaların çapları, hava hareketinin sürtünme etkisi ile küçülür. Küçük çaplı damlalar daha çabuk ısınır buharlaşırlar. Bu yüzden, hava bir yandan damlaların küçük çaplı olmasını sağlarken, diğer yandan da buharlaşmalarını çabuklaştırarak, tutuşma öncesi olan fiziksel hazırlıkları hızlandırmaktadır. (Erbakan, 1957)

Bunların yanında, devir sayısının artması tutuşma gecikmesini başka bir açıdan da etkilemektedir. Devir sayısı artıkça, çevrim sayısı, dolayısıyla birim zamanda ısıya dönüşen

enerji miktarı artar. Ayrıca, ısının cidarlardan kaçması için gerekli olan zaman kısalır. Bu yüzden, türbülansın artmasına rağmen cidarlardan ısı kaybı azalır. Sıkıştırma strokunun sonlarına doğru, püskürtmenin yapıldığı sırada yanma odasındaki sıcaklık yükselir. Devir sayısının artışı ile yanma odasında oluşan bu sıcaklık artışı nedeni ile tutuşma gecikmesi süresi zaman olarak kısalır. Fakat daha büyük krank açısına ihtiyaç gösterir.

Devir sayısının yukarıda belirtilen etkileri nedeni ile dizel motorları uzun süre düşük devirde çalıştırılmamalıdır. Düşük devir sayısında yapılacak çalıştırmada, tutuşma gecikmesi süresinin uzaması nedeni ile maksimum yanma basıncı düşer. Yanma tam olarak gerçekleşmez. Bunların neticesinde motor verimi düşerken yakıt harcaması artar.

Gemilerde sefer başlangıcında tahmini olarak varış tarihi bildirilmektedir. Özellikle uzun seferlerde varış limanına bildirilen tarihten önce varma durumlarıyla karşılaşılabilir. Böyle bir durum ortaya çıktığında yol kesilerek ana makine düşük devirde çalıştırılmaktadır. Ana makinenin düşük devirde çalışması, motor verimini düşürerek yakıt sarfiyatını artırır. Ayrıca kötü yanma nedeni ile yanma odası elemanları kirlenir ve aşınma miktarları artar.

#### Püskürtülen Yakıt Miktarı ve Yük

Yanma odasına püskürtülen yakıt miktarının artmasıyla, her bir çevrimde daha fazla yakıt yakılır. Bu nedenle, yanma sonu sıcaklığı uzun bir süre yüksek bir değerde kalarak, yanma odası cidarlarını ısıtır. Isınan cidarlar, bir sonraki çevrimde, önce sıkıştırma başlangıcında dolgu havasının daha fazla ısınmasını, sonradan da daha az ısı kaybetmesini sağlar. Böylece tutuşma gecikmesi sırasında yanma odasının sıcaklığı yükselir. Yakıt daha sıcak olan gazların içerisine püskürtüldüğü için çabuk tutuşur. Bu yüzden, yük miktarının artışına bağlı olarak püskürtülen yakıt miktarı arttıkça, tutuşma gecikmesi süresi kısalır. Maksimum yanma basıncı için özgül yakıt giderleri azalır.

Motorların ekonomik olarak çalıştırılmaları için belirtilen bu duruma dikkat etmek gerekir. Genellikle motorlar maksimum yükün % 80-90'unda çalıştırdıklarında yüksek verim elde edilir ve özgül giderleri düşer.

Gemilerde gerekli olan elektrik ihtiyacını karşılamak için bazen bir dizel jeneratör tek başına, bazen de iki dizel jeneratör paralel olarak çalıştırılır. Eğer tek bir jeneratör bütün yükü tek başına karşılayabilecekse, diğeri mutlaka devreden çıkarılmalıdır. Çünkü; örneğin % 80 yüklü bir jeneratörün karşılayabileceği bir yük için iki dizel jeneratör % 40 yükte çalıştırılırsa yaklaşık % 30 daha fazla yakıt giderleri olur. Bu nedenle gemi dizel motorları mutlaka maksimum yüklerinin % 80-90 civarında çalıştırılmalıdırlar

### Püskürtme Başlangıç Zamanı

Yakıtın enjektörden silindir içerisine püskürtülmeye başlama zamanının tutuşma gecikmesi üzerinde önemli derecede etkisi vardır.

Püskürtme erken yapılırsa yanma odasında o andaki basınç ve sıcaklık düşük olacağından tutuşma gecikmesi süresi uzar. Tutuşma öncesi yanma odasına giren yakıt miktarı süre uzadığı için fazlalaşır. Yakıtın ilk tutuşmasıyla beraber tüm yakıt hepsi birden tutuşarak yanmaya başlar. Maksimum yanma basıncı ve basınç artma oranı yükselir. Bunun sonucunda daha önce belirtildiği gibi, dizel (gaz) vuruntusu meydana gelir.

Püskürtme geç yapılırsa yine olumsuz durumlarla karşılaşılır. Tutuşma gecikmesi süresi erken püskürtmeye göre daha kısa olarak gerçekleşir. Fakat yanmaya ayrılan süre kısılacığı için yanmanın büyük bir bölümü genişleme sırasında oluşur. Maksimum yanma basıncı düşer. Art yanma denilen olay meydana gelir. Görüldüğü gibi yakıtın silindire püskürtülmeye başlama zamanı motor verimine ve yakıt sarfiyatına etki yapmaktadır. Yakıtın silindire uygun olmayan zamanda püskürtülmesi ile motorun yakıt sarfiyatı yaklaşık olarak %3 oranında artmaktadır. (Heywood, 1988)

### Dolgu Havaının Basınç ve Sıcaklığı

Dolgu havaının silindire giriş sıcaklık ve basıncı tutuşma gecikmesi üzerinde etkilidir. Dolgu havaının sıcaklığının yükselmesi tutuşma gecikmesi süresini kısaltır. Fakat, dolgu havaı sıcaklığının artması ile tutuşma gecikmesi süresi kısalırken, buna bağlı olarak volumetrik yetim azalır. Silindir içersine giren hava dolayısıyla oksijen miktarı düşer. Oksijen miktarındaki düşüş yanma hızını azaltacağı için, giriş havaı sıcaklığının çok fazla artması, yanmanın bütünü üzerinde olumsuz etki yapar. Bu nedenle dolgu havaı sıcaklığının motor imalatçısı tarafından çeşitli deneyler neticesinde bulunmuş sıcaklık sınırları içerisinde tutulması gerekir. Bu sınır değerleri altında ve üzerinde olan sıcaklık değerleri yanmayı kötüleştirerek yakıt sarfiyatını artırır.

Giriş basıncı arttıkça tutuşma gecikmesi süresi azalmaktadır. Çünkü dolgu havaının giriş basıncı arttıkça sıkıştırma sonu basıncı anar ve damlacıklar daha küçük çaplı olur. Damlalara ısının geçiş katsayısı büyür. Ayrıca dolgu havaı giriş basıncının artması ile volumetrik yetim ve buna bağlı olarak silindire giren oksijen miktarı artar. Yakıt damlaları ile oksijen molekülleri arasında çarpışma olasılığı yükselir. Yakıt daha çabuk buharlaşır. Bu yüzden dolgu havaı basıncı arttıkça tutuşma gecikmesi süresi kısalır.

Yakıt yanmanın 3 fazı içerisinde ideal olarak yakılır. Maksimum yanma basıncı yükselir, motor verimi artarken yakıt sarfiyatı azalır. Bu nedenle dolgu havası giriş basıncının yapımca firma tarafından belirlenen değerlerinde tutulması gereklidir. Aksi takdirde önemli yakıt kayıpları ile karşılaşılabilir.

#### Hava-Yakıt Oranı

Silindir içerisindeki havanın ağırlığının, püskürtülen yakıtın ağırlığına oranına hava-yakıt oranı denir. Hava-yakıt oranı silindire gönderilen yakıtın fazla olması, havanın eksik olması ve oksijen konsantrasyonunun azlığı gibi nedenlerde düşer. Bu oran düştükçe yanma sonucu sıcaklığı ve yanma odası sıcaklığı düşmekte, dolayısıyla tutuşma gecikmesi süresi uzamaktadır. Basınç artma oranı ve maksimum yanma basıncı düşeceği için yakıt harcama artar.

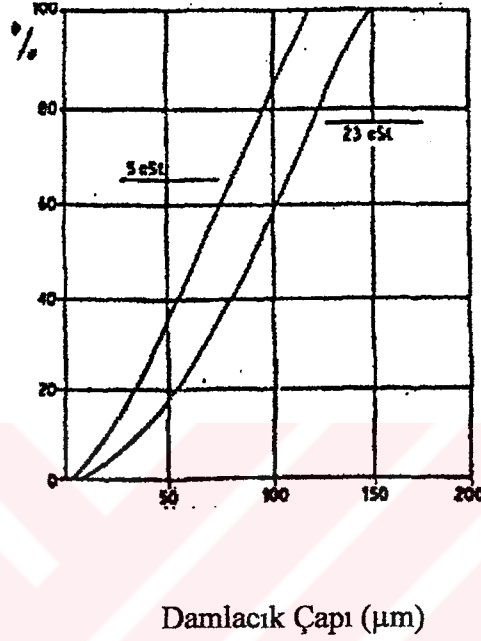
#### Yakıtın Özellikleri

Yakıtın tutuşma kalitesi, viskozite, uçuculuk gibi özellikleri tutuşma gecikmesini etkiler. Yakıtın tutuşma kalitesi setan sayısı veya dizel indeksiyle belirtilir. Yakıt içerisindeki parafinik hidrokarbonların miktarı arttıkça, setan sayısı artar. Setan sayısı yüksek olan yakıtların tutuşma kaliteleri yüksektir. Aromatik yakıtların ise; hem setan sayılan, hem de tutuşma kaliteleri düşüktür. Setan sayısı arttıkça tutuşma gecikmesi süresi kısalmaktadır. Tutuşma gecikmesi süresi kısaldığı için, yanmanın diğer fazları ideal şekilde gerçekleşir. Motor daha yumuşak çalışır.

#### Viskozitenin Etkileri

##### Yüksek Viskozitenin Etkileri

Dizel motorlarında uygun viskoziteli yakıtın kullanılması, pompalama, püskürtme olaylarında olduğu gibi yanmada da etkisini gösterir. Viskozitenin yükselmesi ile yanma odasına püskürtülen yakıtın damlacık çapları da büyür. Şekil 2.12'de viskoziteye bağlı olarak damlacık çaplarının durumu görülmektedir. Yakıt damlaları, viskozite 5 cSt olduğunda %35'i 50 mikrometre çapa sahipken, bu değer 23 cSt de %28'e düşmektedir. Damla çaplarının büyümesi ile beraber yakıtın hava ile iyi bir karışım oluşturması ve buharlaşması zorlaşacağından yanma ideal bir şekilde gerçekleşmez. Tam yanma olmadığı için kullanılan yakıtın ısı enerjisinin tamamı işe dönüştürülmeden egzost edilme durumu ile karşılaşılır. (Adams, 1982)



Şekil 2.12. Viskozite İle Damlacık Çapı Değişimi (Adams, 1982)

Damla çaplarının büyümesi aynı zamanda yakıtın yanma odası içinde kat ettiği mesafenin artmasına neden olur. Yakıt yanma odasında belirlenmiş olan mesafeden daha fazla yol alarak piston kafalarına ve silindir duvarlarına kadar ulaşır, buralarda yakıt kalıntılarının oluşmasına sebep olur. Yağlama yağını bozarak aşınmayı artırır.

Yakıtın silindir içerisine yüksek viskozitede püskürtülmesiyle birlikte tutuşma zorlukları ortaya çıkar. Yanmanın tutuşma gecikmesi fazla uzar. Geç tutuşma nedeniyle, tutuşma öncesi silindire giren yakıt miktarı fazla olacağından hepsi birden tutuşarak yanma yavaşlar. Yüksek hızda bir basınç artışı ve bunun sonucunda ani ve yüksek gerilmeler şiddetli titreşimler oluşur. Dizel vuruntusu adı verilen bu olay nedeniyle piston, konnektin rod ve yataklarda aşın yükler oluşur. Sonuç olarak yataklarda aşınmalar; piston üst yüzeyinde deformasyon ve parçalanmalar, konnektin rod eğilmeleri meydana gelir

Dizel vuruntusundan motor üzerinde bulunan vibrasyon damperi de etkilenir. Vibrasyon

damperi. dizei motorunun oluşturduğu. volcu ve personeli ranaisiz eden motor uzatırca l... edici özelliği olan titreşimleri en aza indirmektedir. Damper içerisinde bulunan panalı sikkou yağı dizei vuruntusunun meydana getirdiği aşırı titreşimler nedeniyle fazla ısınarak, yağ filminde incelme ve çatlamalar oluşturur. Bir süre sonra da titreşim söndürme özelliğini kaybeder. Böyle bir durumda damperin komple yenilenmesi gerekir

#### Düşük Viskozitenin Etkileri

Viskozitenin düşük olmasının da sakıncaları vardır. Düşük viskoziteli yakıt aktığı yerlerde özellikle pompa ve enjektör elemanları üzerinde erozyon etkisi gösterir. Bu durum söz konusu parçaların daha erken aşınmalarına ve bu parçacıklar üzerinde izler oluşmasına sebep olur. Oluşan bu izler yüzünden pompanın sağladığı püskürtme basıncı düşer. Püskürtme basıncı, penetrasyonu ve damla basıncını doğrudan etkilediği için, basıncın düşmesiyle yanma kötüleşir.

Erozyonun meme içerisindeki iğne valf ile onun bastığı yüzeyde meydana getirdiği izler püskürtme sonrası sızdırmazlığı bozar. İşeme tabir edilen enjektörün damlatması nedeniyle, gaz vuruntusu ve trunk pistonlu motorlarda karter yağına yakıt karışması olayı meydana gelir. Kroshedli motorlarda yakıt skaven mahallerinde birikerek skaven yangınlarını oluşturur.

Aynı zamanda düşük viskoziteli yakıt, yakıt sistemlerinde sızdırmazlığı temin eden elemanlar ile yakıt pompası ve silindirler arasında kaçaklar oluşturur. Yakıtın hiç kullanılmadan baypas edilmesine veya dışarı atılmasına neden olur. Ayrıca bu sızmaların yine kartere akma ve yağlama yağına karışma tehlikesi nedeniyle yağlama yağının özelliği bozulur. Bunun sonucunda taşıma mukavemeti azalır, yağ filmi yırtılarak metal sürtünmesi oluşur, aşınma ve ısınma olayı meydana gelerek yatak ömrü kısalır.

#### Uçuculuğun Etkileri

Yakıt buharlaşmasının bir ls olan uçuculuk arttığa, tutuşma gecikmesi süresi kısalır. Çünkü yakıtın uçuculuğu arttığa, buharlaşması kolaylaşır. abuk buharlaşan yakıtların yanmaya hazırlanmaları kolay olacağı için tutuşma gecikmesi süresi kısalır.

Ucuз yakıtlar, genellikle setan sayısı ve uçuculuğu düşük, viskozitesi yüksek yakıtlardır. Bunların hepsi birden tutuşma gecikmesini ve bütün yanma olayını olumsuz yönde etkiler. Oluşacak tam olmayan yanma ve art yanma nedeniyle yakıt sarfiyatı, dizei vuruntusu nedeniyle de yedek parça giderleri artar.

#### Yakıtın Yanmaya Hazır Hale Getirilmesi

İyi bir yanmanın gerçekleşmesi için yanma odasına gönderilecek hava ve yakıtın iyi bir karışım oluşturması gereklidir. Yukarıda belirtilen fazların istenen sınırlar içinde oluşabilmesi silindir içine gönderilecek hava ve yakıtın hazırlanmasıyla yakından ilgilidir.

Yakıt gemide dip tanklarında depolanır. Geminin seyir durumuna göre yeterli miktarda yakıt ikmal bu tanklara yapılır. Makine dairesinde bulunan yakıt transfer pompası yardımıyla yakıt buradan alınarak dinlendirme tanklarına transfer edilir. Burada bekletilerek içerisindeki sudan ve slaçtan kısmen ayrılması sağlanır. Yakıtın viskozitesine bağlı olarak yeterli sıcaklığa kadar ısıtılan yakıt separatöre gönderilir. Separatörde içindeki su ve slaçtan tamamen ayrıştırılan yakıt servis tanka gönderilir. Servis tanktan besleme pompası yardımıyla emilen yakıt filtrelerden ısıtıcıdan ve viskozimetreden geçirilerek yüksek basınç pompasına verilir. Püskürtme basıncına kadar yükseltelen yakıt enjektöre, oradan da yanma odasına gönderilir.

Yakıtın dip tanklardan alınıp yanma odasına püskürtülünceye kadar geçen kademelerde pompalanabilmesi, separe edilebilmesi ve püskürtülebilmesi için, viskozitesine bağlı olarak ısıtılması gerekir. Yakıtın dip tankta, dinlendirme tankında ve servis tankında ısıtılması tank içine yerleştirilmiş ısıtma devrelerinde buharın dolaştırılmasıyla sağlanır. Dinlendirme tankından alınıp separatöre gönderilirken ısıtıcıdan geçirilerek ısıtılır. Yakıt servis tankından alınıp makineye gönderilirken de yine ayrı bir ısıtıcıdan geçirilerek viskozitesi düşürülüp, yüksek basınç pompası tarafından kolaylıkla püskürtülebilecek hale getirilir. Yakıtın ısıtılmasında kullanılan buhar gemi kazanlarında veya seyir halinde baca kazanlarından sağlanır. Viskozite yükseldikçe yakıtın depolama, pompalama, separe etme ve püskürtme sıcaklıkları da yükselir. Dolayısıyla yakıtın verilmesi gereken ısı miktarı artar.

Dip tank sıcaklığı, viskozitesi, 50 °C'de 80 cSt den küçük olan yakıtlar için 15-40 °C, 80 cSt den büyük yakıtlar için 40-45 °C derece arası olmalıdır. Diğer tank sıcaklıkları da viskoziteye göre de değişmektedir. Çizelge 2.3.'de dinlendirme tank sıcaklığının yakıt viskozitesiyle değişimi görülmektedir. (Mak, 1993)

Çizelge 2.3. Yakıtın viskozitesine göre dinlendirme tank sıcaklığı (Mak, 1993)

Viskozite cst/50 °C	Dinlendirme Tank sıcaklığı °C
30-80	60
80-180	70
180-380	80
380-700	90

Tank sıcaklığı örneğin viskozite 50 cSt de 60 °C iken 500 cSt de 90°C'ye yükselmektedir. Sıcaklık artışı ile beraber tanka verilmesi gereken ısı miktarı da artar.

Çizelge 2.4.'de ise servis tank sıcaklığının viskoziteye göre değişimi görülmektedir. (Mak, 1993). Servis tankında da viskozitenin yükselmesi ile daha yüksek tank sıcaklığı ihtiyacı ortaya çıkmaktadır, Yakıtın separasyonu sırasında viskozitenin etkisi kendini gösterir. Viskozite arttıkça buna bağlı olarak separasyon sıcaklığı da artmaktadır. Çizelge 2.5.'de separasyon sıcaklığı değişimi görülmektedir. (Burnet, 1981)

Çizelge 2.4. Servis tank sıcaklığının yakıt viskozitesine göre değişimi (Mak, 1993)

Viskozite cst/50 °C	Servis Tank sıcaklığı °C
30-80	70-80
80-180	80-90
180-700	98

Çizelge 2.5. Yakıt viskozitesi ile separasyon sıcaklığı değişimi (Burnet, 1981)

Viskozite cst/50 °C	Separasyon sıcaklığı °C
30	75
80	80
180	90
180-700	98

Yüksek basınç pompasına gelmeden önce yakıtın viskozitesine ve gerekli püskürtme viskozitesine bağlı olarak ısıtılması gerekir. Çizelge 2.6.'da püskürtme viskozitesi için gerekli sıcaklık değerleri verilmektedir. (MAN B&W, 1989). Ağır devirli motorlarda yakıtların damla çapları daha büyük olabilir. Çünkü tutuşma ve yanmaya ayrılan süre orta ve yüksek devirli motorlara göre daha fazladır. Bu nedenle püskürtme viskozitesi ağır devirli motorlarda 13-17 cSt iken orta ve yüksek devirli motorlarda ise 10-13 cSt arasındadır. Ağır devirli motorlarda püskürtme sıcaklığı da daha düşüktür. Örneğin 80 cSt viskoziteli yakıt için orta ve yüksek devirli motorlarda 115°C olan sıcaklık ağır devirli motorlarda 100-105°C arasında değişmektedir. 700 cSt (50°C) viskoziteli yakıt kullanılan MITSUI MAN B&W 6S50MC motorunda püskürtme viskozitesi için gerekli sıcaklık değerleri 143-152 °C arasında olmalıdır. Yakıtın son ısıtma sıcaklığı en fazla 150 °C olabilir.

Çizelge 2.6. Yakıt püskürtme viskozitesinin sıcaklık ile değişimi (MAN B&amp;W, 1989)

Püskürtme Viskozitesi cSt	Sıcaklık °C								
	5	123	132	144	150				
8	97	106	118	125	131	146			
10	87	96	107	114	120	135	150		
12	80	88	99	106	112	127	142		
14	74	82	93	100	106	121	135	145	148
16	69	77	88	95	101	115	129	139	142
18	65	73	84	90	96	110	124	134	137
20	62	70	80	87	92	106	121	130	133
25	55	63	73	80	85	99	113	122	125
30	50	58	68	74	79	93	107	116	119
Yakıtın viskozitesi cSt	30	40	60	80	100	180	380	600	700

Görüldüğü gibi yakıtın viskozitesi arttıkça gerekli olan sıcaklık yükselmektedir. Bunun sonucunda ısıtma için verilmesi gereken ısı miktarı artmakta ve işletme giderleri fazlalaşmaktadır.

Yakıtın depolama tankından yanma odasına püskürtülmesine kadar geçen bu süreçte işletme şartlarına uyulmaması yanmaya olumsuz etkiler. Yakıtın dinlendirme tankında yeterli sıcaklığa getirilmemesi separasyon işlemini etkiler. Separasyonun bozulması sonucunda yakıtın içinde bulunan su ve slaç yeterince ayrıştırılmadan yanma odasına gider ve yanma bozulur.

Separatörün çalışması sırasında gerekli kontrollerin yapılması da önemlidir. Separatörün belirli sürelerde şok edilmemesi, separatör taslarının kirlenmesine rağmen temizliğinin geciktirilmesi separatörün performansını düşürür. Kirli ve su karışımı içeren yakıt, püskürtme sistemlerine zarar verir ve yanmayı bozarak yakıt sarfiyatını artırır.

### Dolgu Havaşı Sağlayan Sistemlerin Uygun İşletilmesi Turboşarjer

Bir dizel motorunun verebileceği maksimum güç, silindir içinde verimli bir şekilde yakılabilecek yakıt miktarı ile sınırlıdır. Bu da, her çevrimde silindir içine giren hava miktarı ile ilgilidir. Eğer, emme havası çevre havasından daha yüksek bir yoğunluk değerine sıkıştırılırsa, aynı boyuttaki bir motordan alınabilecek maksimum güç artırılabilir. Bu olay aşırı doldurma olarak adlandırılmaktadır.

Aşırı doldurma bir yandan birim hacim ağırlıktan alınabilen gücü artırıp motor boyutlarını küçültürken, diğer yandan verimi artırmakta ve egzoz gazındaki kirlenici bileşenlerin miktarını azaltmaktadır.

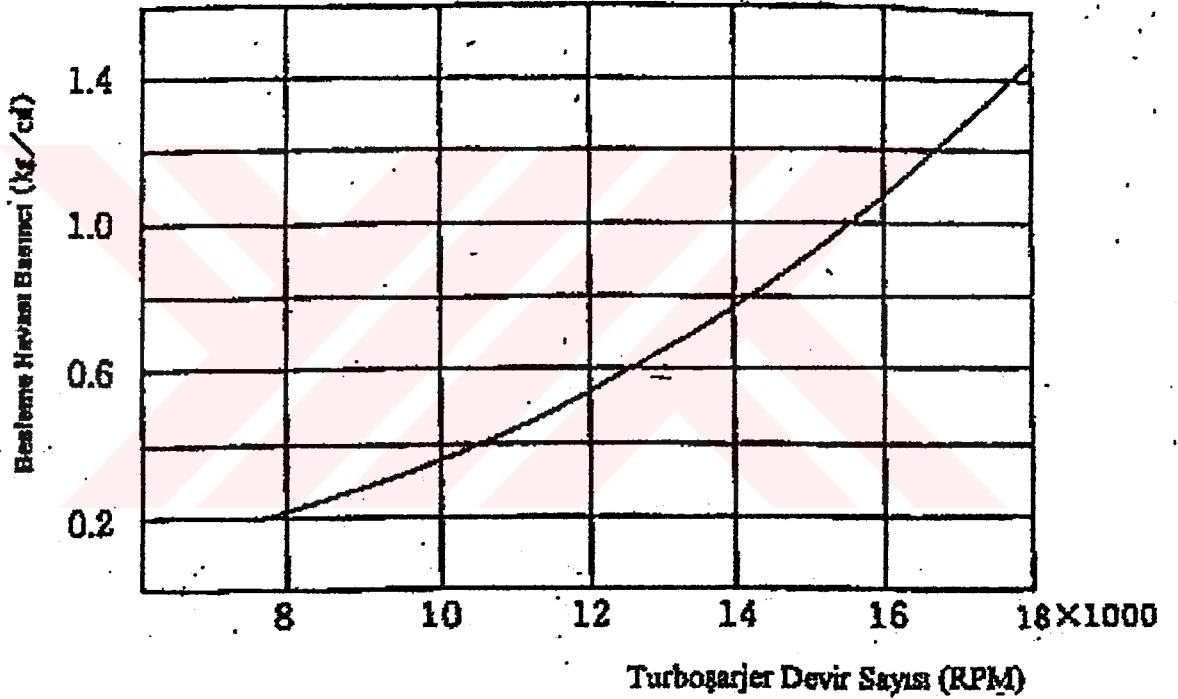
Gemilerde en yaygın olarak kullanılan aşırı doldurma yönteminde, egzost gazlarının enerjisiyle hareket alan türbin ve onunla aynı shafta bağlı blover vasıtasıyla emilen hava basıncı artırılarak silindir içerisine gönderilir. Yanmanın iyi şekilde gerçekleştirilmesi, hava yakıt karışımının iyi olmasına bağlıdır. Hava yakıt karışımını etkileyen en önemli unsurlardan biri silindir içindeki hava miktarıdır. Bu nedenle turboşarjer yakıt sarfiyatında önemli etkiye sahiptir.

Dizel motorlarında turboşarjerin performansı yanmayı ve dolayısı ile makine performansını doğrudan etkiler. Çünkü silindir içine tam yanmanın oluşmasını sağlamak için yeterli miktarda ve basınçta hava akımını sağlamak çok önemlidir. Turboşarjerin devir sayısı besleme havası hava basıncını etkiler. Şekil 2.13'de bu etki görülmektedir. (Moser, 1990). Türbinin devir sayısının değişmemesine rağmen süperşarj hava basıncının düşmesinin sebepleri aşağıdadır:

- Turboşarjerin blover tarafının bozulması

- Turboşarjerin türbin tarafının bozulması
- Hava soğutucunun içindeki hava besleme geçişinin kirlenmesi
- Besleme havası kaybı
- Makine dairesinin sıcaklığındaki yükselme
- Makine dairesinin yetersiz havalandırılması

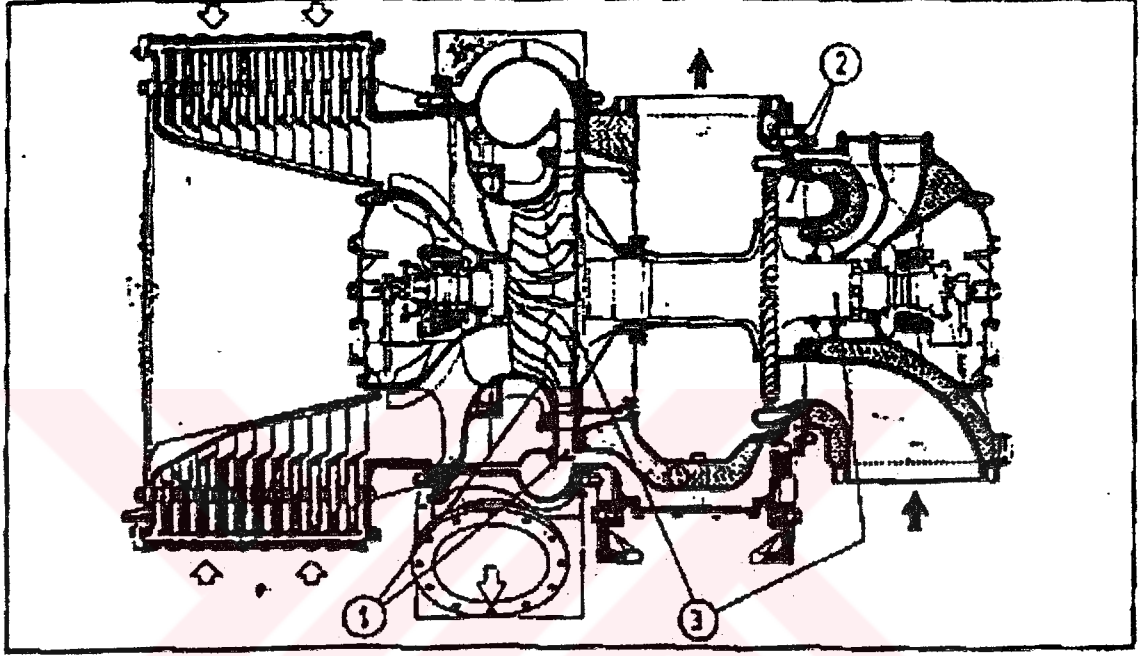
Turboşarjerin performansının korunması için türbin ve kompresör bölümlerinin bakım ve kontrollerinin titiz biçimde yapılması gereklidir. Türbinin kontrol edilmesi gereken ana yerleri nozullar ve türbin kanatlarıdır. Çünkü bu bölgelerde yabancı parçacıklar ve erozyon yüzünden oluşan hasarlar oluşur.



Şekil 2.13. Turboşarjer Devri ile Besleme Hava Basıncı Değişimi (Moser, 1990)

Turboşarjerin temizliği de performansı üzerinde etki eder. Kirli oldukları zaman işletmeciliği en çok etkileyen kısımlar şekil 2.14'de gösterilmiştir. (Moser, 1990). Kompresör sonu noktaları 1 sayısı ile gösterilmiştir. Dolgu basıncı ve verimini etkileyen en büyük etken kirli difüzördür. İç duvarda oluşan birikintiler klerensi azaltır. Kirli artıklar zamanla çok kalınlaşır ve impeller keyse dokunur. Türbin sonunda noktalar 2 ile gösterilmiştir. En önemli kötü etki nozul kanatları ve türbin kanatları üzerindeki biriken kalıntılardan oluşur. Labirent sileri 3

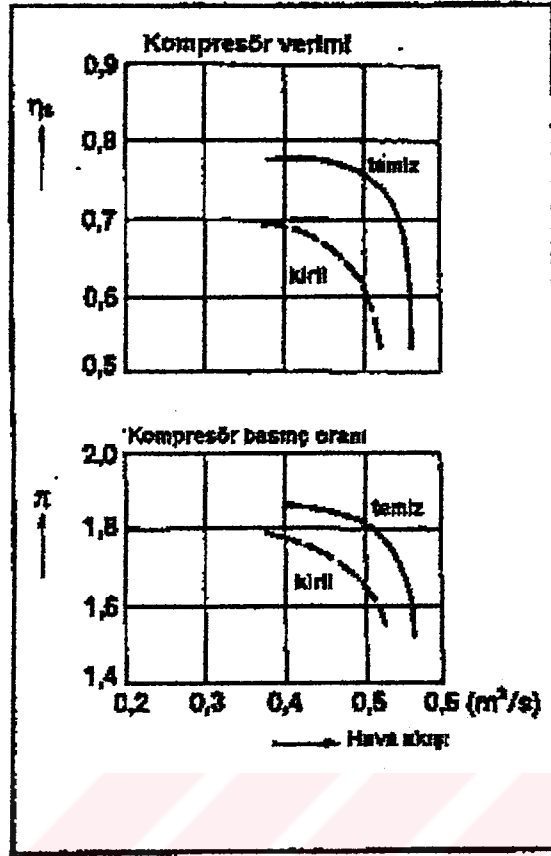
ile gösterilmiştir. Labirentler içindeki kir operasyonu ciddi olarak etkilemez fakat kompresör impelerinin gerisinde olduğu gibi aşınmaya neden olabilir. Kompresörün kirliliği giriş havasının temizliğine bağlıdır. Filtreler ince kurum parçacıkları ve yağ buharını gideremezler. Bu yüzden egzost boruları kaçaklarının ve makine dairesindeki yağ kayıplarının giderilmesi çok önemlidir. Bunun yanında kompresör üzerinde sülfür içeren kurum tabakası bulunması verimi kötü etkiler.



Şekil 2.14. Türboşarjlerde Kirliliğin Etkili Olduğu Bölümler (Moser, 1990)

Şekil 2.15'de kompresördeki kirlilik dolayısıyla basınç ve verimdeki değişim görülmektedir. (Moser, 1990). Verimlilikteki ve basınçtaki düşüm kayda değerdir. Bu kayıplar işletme sırasında düzenli temizlik yapılarak giderilebilir. Kompresör impeleri çok kirlenirse keysin iç yüzeylerine sürtünür. Bunun sonucunda oluşan aşınma nedeniyle impeler ve iç duvar arasındaki klerens artar. Klerens artınca kompresör verimi azalmaktadır.

Kompresörün hangi dereceye kadar kirleneceği verilen türbin hızındaki dolgu havası basıncının karşılaştırılmasıyla belirlenebilir. Türbinler temizken aynı hızda dolgu basıncı, kabul raporundan veya overol sırasında alınan ölçülerden elde edilebilir. Silindirden sonraki egzost sıcaklığı artışı da bir göstergedir fakat başka sebepler de buna etken olabilir. Hız ve dolgu basıncı arasındaki ilişki açıkça belirlenir.



Şekil 2.15. Kirliliğin Kompresöre Etkisi (Moser, 1990)

Makinenin çalışması sırasında nozul ve türbin kanatları egzost gazlarının taşıdıkları yanma artıkları ile kirlenir. Türbinin kirlenmesi de hızın ve dolgu basıncının düşmesine sebep olacaktır. Çünkü bu makinelerde verimin düşmesi, nozul alanının azalmasından daha etkilidir. Türbinin kirliliği sonucu kompresör dalgalanır. Silindirlerden sonra egzost sıcaklıklarının yükselmesi ve dolgu basıncının düşmesi türbin için temizlenme zamanının geldiğini gösterir.

Servis konusunda en önemli sorulardan birisi türbin kanatlarının tamiri meselesidir. Hasarın miktarına bağlı olarak türbin kanatları ısıtılarak veya kaynakla düzeltilebilir. Eğer kanatlar uç noktalardan hasar gördüyse ve yarıklar gerilimin en üst düzeyde olduğu kanat köküne çok yakın veya yarıklar çok geniş değilse kanatlar düzeltilerek veya kaynak edilerek tamir edilebilirler.

Tamirden sonra çatlakların kontrolü gereklidir. Eğer kanat uçları erozyona uğramış veya shroud'a karşı sürtünme ile aşınmış ise kaynak etme ekonomik çözüm olabilir. Yine prosedür basit değildir Kaynak edilmiş metalin direnci daima ana metalden düşüktür. Orijinal profil taşlama ile tam olarak sağlanmalı ve kaynak kalitesinde aynı zamanda kontrol edilmelidir.

Türbin verimi düştüğünde yakıt tüketimi artmaktadır. Türbin verimindeki % 5'lik bir azalma yakıt tüketiminin %1 den %3'e kadar artmasına sebep olur. İşletme sırasında türbin ve kompresörün temizlenmesi bütün türbinin tamiri kadar iyi bir bakımdır ve yaygındır.

#### Hava Kuleri

Aşırı doldurulmalı motorlarda türboşarjlerde sıkıştırılan havanın sıcaklığı artar, Bu nedenle yanma odasına gönderilen havanın yoğunluğu ve hava miktarı azalmaktadır. Bu durumu önlemek için dolgu havası motora gönderilmeden önce soğutulur. Böylelikle silindirden elde dileyek ortalama efektif basınç da büyümekte ve motor verimi de artmaktadır. Makine için uygun hava kulerinin belirlenmesinde aşağıdaki kriterler esas alınır.

- Soğutma suyu giriş sıcaklığı
- Hava giriş ve çıkış sıcaklığı
- Bloverden sonraki hava basıncı
- Hava akış miktarı
- Soğutma suyu çıkış sıcaklığı

Hava kulerlerinin performansının bozulması sonucu aşağıdaki etkileri oluşur:

a-Hava tarafında veya su tarafında oluşan kirlilik hava kulerinin soğutma kapasitesini düşürür. Makineye verilen dolgu havası sıcaklığı yükselir. Böylelikle havanın yoğunluğu düşer.

b- Hava tarafındaki kirlilik hava basıncını düşürür ve türbin verimi azalır.

c-Basınç düşümünün artması sonucu, hava manifoldundaki havanın basınç ve yoğunluğu azalır.

Bu etkiler sonucunda makineye gönderilecek hava miktarı azalacağından yanmanın bozulması sonucunda makine verimi düşer. Eğer kuler uzun süre temizlenmeden kirli durumu ile bırakılırsa kulere daha önemli arızalar baş gösterir. Hava tarafında biriken kirlilik korozyona neden olur. Borular deformasyona uğrayarak deniz suyunun makineye girmesi tehlikesi oluşur.

Hava filtresinin gerekli temizlemeyi yapamaması sonucu emilen havanın içindeki tozlar borular üzerinde bir tabaka oluşturur. Zamanla bu tabakanın üzerine turboşarjler yağlama yağının sızıntı yapmasıyla boruların üzeri kalın ve ısı transferine engel olan bir tabaka ile kaplanır. Bunun sonucunda hava geçişi güçleşir.

### Dizel Motorlarının Soğutulmasının Yanma ve İşletme Ekonomisine Etkileri

Yanma sonucu oluşan yüksek sıcaklık, yanma odası elemanlarının sıcaklığının artmasına neden olur. Motorun güven içerisinde ve ekonomik olarak çalışabilmesi için, yanma odası elemanlarının üzerindeki sıcaklığın alınarak, soğutulması gereklidir. Motorun soğutulması parçaların servis ömürlerini etkilerken, aynı zamanda yanma ve yakıt sarfiyatı üzerinde de etkilerini gösterirler.

Soğutma sırasında, yakınan elde edilen ve işe dönüştürülemeyerek dışarıya atılan bir ısı enerjisi söz konusudur. Bu kayıp enerji nedeniyle termal verim azalır. Fakat bu verilmesi kaçınılmaz olan bir enerjidir. Enerji ekonomisi açısından önemli olan, soğutmaya giden ısının, imalatçı firma tarafından belirlenmiş sınırlar içerisinde tutulmasını sağlamaktır.

Gemi dizel motorlarında soğutucu olarak genellikle su, yağ ve yakıt kullanılır. Dizel motorlarının soğutulan bölümleri şunlardır:

- a- Kaver
- b- Türboşarjer
- c- Layner
- d- Valfler
- e- Piston

Bu bölümlerin soğutulması sırasında, ortaya çıkan problemlerin başlıcaları aşırı soğutmadan ve eksik soğutmadan kaynaklanmaktadır.

### Dizel Motorunun Aşırı Soğutulmasının Etkileri

Dizel motorlarının işletimi sırasında enerji ekonomisinin sağlanabilmesi motora ait sıcaklık değerlerinin deneylerle belirlenmiş sınırlar içerisinde tutulması ile sağlanır. Bu durum soğutma için de geçerlidir. Soğutmanın belirlenmiş minimum değerlerin altında yapılması, çeşitli problemler ortaya çıkarır.

Yanma odasının fazla soğutulması nedeniyle, soğuk korozyona sebep olan sülfürik asit oluşumu artar. Sülfürik asit, yanma odası elemanlarını aşındırarak servis ömürlerinin azalmasına neden olur. (Schulz, 1986)

Aşırı soğutma ile layner ve piston arasında bulunan yağlama yağının viskozitesi yükseleceği

için pistonun hareketi sırasında sürtünme kayıpları dolayısıyla pompalama kayıpları artar. Efektif gücün azalması sonucunda yakıt sarfiyatı belirlenen değerlerin üzerine çıkar.

Enjektörün aşırı soğutulması ile, yakıtın sıcaklığı enjektörden geçip yanma odasına püskürtülürken düşer. Bu sıcaklık düşüşü yakıtın püskürtme anındaki viskozitesinin istenen değerlerin üzerine çıkmasına neden olur. Püskürtme viskozitesinin yükselmesi ile damlacık çapları büyüyeceği için, hava ile temas geçen yüzey azalarak tutuşma gecikmesi süresi uzar. Yanma ideal şekilde gerçekleşmez. Yakıt enerjisinin işe dönüştürülen kısmı azalır ve yakıt sarfiyatı artar. (Fisher, 1986)

Yanma odası sıcaklığının, aşırı soğutma nedeniyle düşmesi, sıkıştırma başlangıcındaki havanın sıcaklığını azaltır. Bunun sonucunda sıkıştırma sonunda ki yanma odası sıcaklığı düşer. Püskürtme başlangıcında yanma odası sıcaklığının düşük olması, tutuşma gecikmesi süresinin uzamasına, tam olmayan yanmanın oluşmasına ve yakıt sarfiyatının artmasına neden olur. Ayrıca, soğutucuya verilen, ısı miktarı artacağı için, yakıtın ısı enerjisinden işe dönüşen miktarı azalır. Motor verimi düşer.

#### Dizel Motorlarının Eksik Soğutulmasının Etkileri

Motorun aşırı soğutulmasında olduğu gibi, eksik ve yetersiz soğutma nedeniyle yine kayıplarla ve problemlerle karşılaşılır. Dizel motorunun soğutulması ile silindir yüzeylerinde yağ filminin oluşturulması sağlanır. Genellikle silindir yağlarının dayandığı en yüksek sıcaklık 260-265<sup>0</sup>C'dir. Dizel motorunun eksik soğutulması, motorun aşırı şekilde ısınmasına neden olacağı için, silindir yüzeyinde bulunan yağlama yağı yüksek sıcaklık nedeniyle kimyasal reaksiyona uğrar. Yağ filminin taşıma özelliği zayıflar ve yağ filmi yırtılır. Piston ve silindir yüzeyleri arasındaki sürtünme ve aşınma çoğalır. Yağın bozulması ile oluşan kurumlar, yağın kendisi ile birleşip çamurlaşarak yapışkan artıklar oluşturur. Bu artıklar segman yuvaları içine girerek, segmanların pistonlara yapışıp takoz olmasına ve esnekliğinin kaybolmasına neden olur. Segmanların görev yapamaz hale gelmeleriyle, piston etrafındaki sızdırmazlık bozularak kompresyon kaçakları oluşur. Bunun sonucunda sıkıştırma sonu basıncı ve maksimum yanma basıncı düşer, yanma kötüleşir ve yakıt sarfiyatı artar.

Yeterli soğutmanın yapılmaması nedeniyle silindir içinin sıcaklığının artması ile silindire giren havanın sıcaklığı artacağından, volumetrik verim düşerken hava miktarı ve oksijen miktarı azalır. Hava ve oksijen miktarında ki azalma beraberinde eksik yanmayı ve karbon monoksit oluşumunu getireceği için, dışarıya atılan ısı miktarı artar.

Yanma odasının sıcaklığının artışı, piston sıcaklığının da artmasına neden olur. Pistonun

yağla soğutulduğu durumlarda, sıcaklığın artması ile soğutucu yağ karbonlaşmaya başlar. Karbon partikülleri pistonun içindeki soğutma yüzeylerinde sertleşerek yalıtkan bir tabaka oluşturup, ısı transferinin zorlaşmasına ve piston sıcaklığının daha da artmasına yol açar.

Motor parçalarının lineer genişleme katsayısı yükselir. Dolayısıyla piston ile silindir arasındaki klerensler gittikçe küçülerek sürtünme artar. Piston silindir içerisindeki hareketini güçlkle yapmaya başlar. Mekanik verim düşer. Sonunda piston genişmeler neticesinde hareket edemez hale gelerek takoz olur. Konnektin rod eğilmeleri, yatak aşınmaları ve kırılmaları, krank şaft kırılmaları görülür.

Egzost valflerinin yeterli soğutulmaması sonucunda oluşan sıcaklık artışı, sıcak korozyon olasılığını artırır. Sıcak korozyon sonucunda, valf sızdırmazlığı bozularak, yanma verimi düşer. Egzost valflerinin sıcaklığı düşürülmeyip, uzun süre yüksek kalması sonucunda, valfler tavlansız yanabilir. Bu durumda valflerin yenilenmesi zorunluluğu doğacağından, işletme giderleri artar.

#### Dizel Motorlarının Yağlanması Enerji Ekonomisine Etkileri

Makine ve sistemlerin gerekli biçimde yağlanması, verimliliklerini doğrudan etkiler. Çünkü, sürtünme kayıpları ancak iyi bir yağlama ile azaltılabilir. Yağlama, ana makinede güç kayıplarının önlenmesinde olduğu kadar, gücün pervaneye iletilmesinde de önemlidir. Bu nedenle, enerji ekonomisinin sağlanabilmesi için, şaft yataklarında ve stern tüpteki yağlamanın da büyük önemi vardır. Ayrıca, makineye aşırı dolgu havasını sağlayan türboşarjlerin yağlanması da makine performansına etki eder. Yağlamanın spesifikasyonlara uygun gerçekleştirilmesi, yağın kalitesine ve temizliğine bağlıdır. Yağlama sistemindeki filtre, separatör, pompa ve soğutucuların performansı yağlama kalitesine etki eder.

#### 2.3.1.2 Planlı Bakım Tutum

Planlı bakım, gemi makine ve sistemlerinin üretici firmalar tarafından belirlenmiş periyotlarda yapılan kontrollerdir. Herhangi bir arızanın oluşmasına bakılmaksızın, makine ve sistemler kontrol edilerek, ölçümler yapılır. Toleransları aşan parçalar yenileriyle değiştirilir. Sökülen bölüme ait ölçümlerde bulunan değerlere göre yeni ayarlamalar yapılır. Böylelikle hem arızaların önüne geçilir, hem de makine ve sistemlerin verimliliği artar.

#### 2.3.2 Jeneratörün Yakıt Giderini Azaltma

Geminin ihtiyacı olan elektrik enerjisinin üretilmesi için jeneratörler kullanılır. Hem seyirde hem de limanda sürekli olarak devrede olan jeneratörlerin yakıt sarfiyatı, geminin genel yakıt

giderleri içinde önemli bir yer tutar. Genellikle dört zamanlı dizel motorlarından hareket alan jeneratörlerden, geminin ihtiyacı ve jeneratörlerin ürettikleri elektrik enerjisine bağlı olarak, en az iki tane olmak üzere, genellikle üç adet bulunur.

Ana sistemlerin çalışabilmesi için yardımcı sistemleri devreye alan motorlar elektrikle çalışırlar. Gerekli elektrik enerjisi miktarı ana makinenin gücüne bağlıdır. Dolayısıyla ana makineye ait soğutma suyu, deniz suyu, yağlama yağı, yakıt ve havalandırma fanı motoru en önemli elektrik tüketen motorlardır. Bir gemide elektrik enerji ihtiyacı yaklaşık olarak şu formülle bulunur: (Burnet, 1981)

$$P_{EL}: 0.008 \text{ BHP} + 1.6 N + 9\sqrt{N} + 80 \quad (2.57)$$

N: Personel sayısı

BHP: Efektif beygir gücü

Geminin manevra durumunda artan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere ikisi paralel olarak çalışan jeneratörler, ana makinenin kullandığı yakıttan daha pahalı olan MGO (Marine Gas Oil ) veya DO (Diesel Oil) ile çalışırlar.

Gemilerde elektrik enerjisinin elde edilmesi için yapılan harcamaların azaltılması işletme giderlerinin de azalmasına neden olur. Bunu sağlayabilmek için yapılabilecek işlemler şunlardır:

- Tek jeneratörle seyir.
- Jeneratörlerde daha ucuz yakıt kullanılması
- Şaft jeneratörü kullanılması

### 2.3.2.1 Tek Jeneratörle Seyir.

Jeneratörler seyir durumunda tek jeneratör ile gerekli elektrik enerjisini üretecek güçte seçilirler. Ancak jeneratörlerin bakımlarının gerektiği gibi yapılmaması ve işletme şartlarına uyulmaması sonucunda ürettikleri güçte azalma olur. Bu nedenle geminin seyirdeki elektrik enerjisi ihtiyacı iki jeneratör paralelde çalışarak karşılanır. Ancak böyle bir durumda da jeneratörlerin yakıt sarfiyatı artar. Enerji ekonomisi açısından olumlu sonuçlar elde etmek için, gemilerin sahip olmaları gereken planlı bakım programına göre jeneratörlerin bakımlarının yapılması, çalışmalarını sırasında basınç ve sıcaklık değerlerinin kontrol edilmesi ve belirlenen sınırlarda olmasının sağlanması gereklidir.

### 2.3.2.2 Jeneratörlerde Daha Ucuz Yakıt Kullanılması

Jeneratörlerde, MGO veya DO yerine ucuz olan H.F.O. (Heavy Fuel Oil) kullanılarak elektrik enerjisi daha ucuza elde edilebilir. Ucuz ancak kalitesi düşük yakıtın jeneratörlerde kullanılması ile bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Her şeyden önce HFO'nun enjektörden yanma odasına püskürtülmeye hazır hale gelmesi için ısıtılması ve titiz biçimde temizlenmesi gereklidir. Bu amaçla sistemin yakıt devresine separatör ile birlikte ısıtıcı ve filtreler ilave etmek gerekir. Jeneratörlerde HFO'in kullanılması sonucu yakıt için ödenen paranın azalması ile birlikte aşağıdaki problemler ortaya çıkar: (Pringle, 1982)

- HFO yapısal özelliği nedeniyle silindir laynerinde pistonlarda ve yataklarda daha fazla aşınmaya, emme ve egzost valflerinin kısa sürede hasarlanmalarına neden olur. Bunun sonucunda makine parçalarının servis ömürleri önemli oranda azalır. Bakım giderleri artar.
- Yağlama yağı sarfiyatı artar. Ayrıca yağlama yağı kirliliği artacağı için yağlama yağı devresine yağ separatörü monte etmek gerekir.
- Jeneratörlere hareket veren dizel motorları yaklaşık 750 dev/dak hareket eden orta devirli dört zamanlı makinelerdir. Bu makinelerde HFO kullanımı ile birlikte motor verimi düşer.
- Makinenin durdurulmasından önce HFO'dan DO'ye geçmek gerekir.

Belirtilen sakıncalarından dolayı D.O. kullanan jeneratörlerde HFO kullanılması tercih edilmemektedir. Ancak yeni gemi inşasında jeneratör tercihinin HFO kullanan jeneratörlerden yana yapılması daha uygundur.

### 2.3.2.3 Şaft Jeneratörü Kullanılması

Ana makineden elde edilip, gemiyi hareket ettiren pervaneye sevk edilen güçten yararlanılarak elektrik enerjisi elde edilmesi yöntemidir. Şaft jeneratörü, ana makine çalıştırılıp gerekli seyir süratine ulaştıktan sonra devreye alınır. Şaft jeneratörünün ürettiği güce bağlı olarak seyir sırasında diğer jeneratörler ya devre dışıdır ya da şaft jeneratörüyle paralel olarak devrededirler.

Bütün gemilerde kolaylıkla uygulanabilen şaft jeneratörleri alternatif akım ya da doğru akım üretebilirler. Şaft jeneratörü ana makineye 3 değişik biçimde bağlanabilir. Bu bağlantı biçimleri şunlardır: (Pringle, 1982; Mikkelsen 1983)

- 1- Volan ile pervane arasına konulabilir, hareketini şafttan alır.
- 2- Ana makinenin ön tarafına konulabilir, hareketini karankşaft dişlisinden alır.

3- Şaftın yakınına konulabilir, hareketini şafta bağlı dişlilerden alır.

Gemilerde şaft jeneratörü kullanılması ile aşağıdaki avantajlar elde edilir: (Pringle, 1982; Mikkelsen, 1983)

- Elektrik enerjisi özgül yakıt sarfiyatı daha düşük olan ana makineden elde edilir.
- Elektrik enerjisi mekanik verimi jeneratörlere göre daha yüksek olan ana makineden elde edilir.
- Ana makine HFO kullandığı için elektrik enerjisi daha ucuz yakıtla elde edilir.
- Şaft jeneratörünün devrede olduğu sürede dizel jeneratörü çalışmayacağı için bakım-tutum giderleri azalır.
- Diğer jeneratörler devrede olmayacağı için yağlama yağı sarfiyatı azalır.
- Diğer jeneratörlerin devre dışı olması nedeniyle makine dairesindeki rahatsız edici ses miktarında azalma olur.
- Jeneratörlerin çalışma saatleri azalacağından, bu çalışma saatlerine göre yapılan bakım-tutum süresinin artması ve çalışılan ortamdaki rahatsız edici ses miktarının azalması nedeniyle makine personelinin çalışma şartları iyileşir.

Ancak bu yöntemin en büyük sakıncası ana makineden elde edilen gücün bir kısmının şaft jeneratöründe kullanılması ile pervaneye verilen gücün azalması bunun sonucunda gemi hızının düşmesidir. Özellikle taşıdıkları yük nedeniyle hızlı olmaları gereken gemilerde, bu yöntemin kullanılması sakıncalıdır.

### 2.3.3 Atık Enerjinin Geri Kazanılması

Gemi pervanesine hareket veren, ağır devirli iki zamanlı yüksek güçlü ana makinelerin egzost gazları üzerinde makinenin verimine bağlı olarak önemli miktarda atık enerji bulunur. Enerji ekonomisi üzerinde bu enerjinin geri kazanılmasının çok büyük etkisi vardır. Ayrıca MARPOL 74/77 gereğince denize basılması yasak olan makine dairesinde biriken sintine suları içindeki slaçın ve gemi çöplerin enerjisinden de yararlanmak mümkündür. Atık enerjinin geri kazanılması için uygulanabilecek yöntemler aşağıdadır: (Hughes, 1987, 1989; Fukugaki 1993)

- Turbojeneratör Kullanılması

- Turbokompaunt Sisteminin Kullanılması
- İnsineratör kullanılması

### 2.3.3.1 Turbojeneratör Kullanılması

Makineden çıkan egzost gazları ilk önce manifold vasıtasıyla yanma odasına basınçlı hava sağlayan turboşarjere yönlendirilir, Egzost gazları, üzerlerinde taşıdıkları enerji ile türbine hareket verip turboşarjleri terk ettikleri sırada da hala kullanılabilir enerjiye sahiptirler. Bu enerjiden istifade etmek amacıyla egzost gazları atmosfere atılmayıp baca kazanına gönderilirler. Bu kazanda egzost gazlarının enerjisiyle elde edilen buhar, hem geminin ve sistemlerinin ısıtılmasında, hem de buhar türbininde (turbojeneratör) elektrik enerjisi elde edilmesinde kullanılır.

Egzost gazlarının taşıdığı enerji ve sıcaklığa bağlı olarak gazlarından buhar elde edilmesiyle ilgili olarak iki yöntem kullanılır. Bu yöntemler şunlardır: (Tanaka, 1985)

a- Basit buhar sistemi

b- Dual basınçlı buhar sistemi

Basit buhar sistemiyle egzost gazlarından geri kazanılabilecek enerjiden daha fazlasını elde etmek amacıyla dual basınçlı sistem kullanılır. Bu sistemin kullanılmasının nedenlerinden biri de gemi dizel motorlarındaki gelişmeler sonucu verimlerinin yükselmesiyle beraber egzost gazı sıcaklıklarının düşmesidir. Egzost gazlarının sıcaklıklarının düşüşüyle birlikte üzerlerinde taşıdıkları enerji miktarının da azalması nedeniyle basit buhar sisteminin yerine verimi daha yüksek olan dual basınçlı sistem kullanılır. Şekil 2.16'da bu sistem görülmektedir. (Gallin, 1983). Şekil 2.16'da görüldüğü gibi besleme suyu besleme pompası tarafından dreyn tankından ve ısıtıcıdan geçirilerek yardımcı kazanın dramına pompalanır. Bu dram aynı zamanda buhar separatör dramı olarak da görev yapar. Besleme suyu kazan sirkülasyon pompası tarafından ısıtıcıdan geçirilerek ekonomayzere pompalanır. Oluşan buhar su karışımı buhar dramına döner. Doymuş buharın bir kısmı geminin ısıtılmasında kullanılacak şekilde dramdan ayrılır. Geriye kalanlar süperhitere gelir. Turbojeneratör için gerekli kalitede buhar burada elde edilir.



Dual basınçlı buhar sistemde bulunan HP evaporatör elektrik enerjisi üretiminde kullanılan buhar türbini için gerekli olan buharı üretir. LP evaporatörü ise taşıdıkları enerjilerini vererek sıcaklıkları düşmüş olan egzost gazlarından LP ısıtma buharı elde etmek için kullanılır.

Çizelge 2.7. Ana Makine Isı Dağılımı (MAN B&W, 1996)

	SULZER RLB	B&W 6L MCE
Egzost Gazları	%29	%25.5
Hava Kuleri	%14	%14.5
Soğutma Suyu	%11	%5.7
Yağ Kuleri	%1	%3
Radyasyon	%1	%0.5
Efektif Güç	%44	%50.8

Ana makinede kullanılan yakıtın kalitesine ve yanmaya bağlı olarak baca kazanının yüzeylerinde kirlenmeler olur. Bu kirlenmelerin neticesinde üretilen buhar miktarı düşer. Turbojeneratörün devrede kalabilmesi için gemi kazanının devreye alınması gerekir. Enerji ekonomisi uygulaması açısından sakıncalı olan bu durumun önlenmesi için periyodik olarak kazanın temizlenmesi gereklidir.

### 2.3.3.2 Turbokompaunt Sisteminin Kullanılması

Ana makinenin ısı veriminin yükselmesi ve % 50'nin üzerine çıkması ile egzost gazlarının sıcaklığı ve üzerlerinde taşıdıkları enerji miktarı düştü. Bu nedenle turbojeneratör sisteminin kullanılması ısı verim yüksek makineler için uygun değildir. Bu tip makinelerde turbokompaunt sistemi kullanılmalıdır. Bu sistemde ana makineden çıkan egzost gazları türboşarjeri terk ettikten sonra başka bir gaz türbinine gelir. Gaz türbini aynı shafta bağlı olan alternatörü çevirerek elektrik enerjisi elde edilir. Bu türbin kaplin ve dişliler yardımıyla ana makinenin krankshaft dişlisine de bağlanır. Bu sistem yardımıyla ana makineye ek güç sağlanır. Ana makinenin yakıt sarfiyatı düşerken geminin hızı da artmaktadır.

Bu yöntemin kullanılabilmesi için mevcut yerine daha yüksek verimli türboşarjer kullanmak

gereklidir. Çizelge 2.8.'de bu sistemin uygulanması ile elde edilen sonuçlar görülmektedir: (Hughes, 1989)

Çizelge 2.8. TCS kullanımının ana makine yakıt harcamasına etkisi (Hughes, 1989)

	Standart Sistem	TCS'li Sistem
Ana Makine Gücü BHP	25580	25580
Ek Güç BHP	-	1100
Toplam Güç	25580	26680
SFOC G/BHP	131.75	126.3
Yakıt Sarfiyatı ton/gün	81	77.5
Yıllık Tasarruf \$	0	85504

### 2.3.3.3 İnsineratör Kullanılması

Makine dairesinde biriken sintine sularının denize basılması MARPOL 74/78 gereğince yasaktır. Sintine suları sintine separatöründen geçirilip içerdikleri yağlı atıklardan ayrıştırıldıktan sonra denize basılırlar. Geriye kalan yağlı atıklar slaç tanklarında depolanır. Ayrıca yakıt dinlendirme ve servis tankları ile yağ ve yakıt separatörlerinden gelen atıklar da slaç tankında depolanır. Limanda slaç tanklarındaki atıklar liman tesislerine basılarak gemiden atılırlar. Eğer gemiler insineratör adı verilen atıkları yakarak imha eden sisteme sahiplerse bu atıkların enerjisinden de yararlanmak mümkündür. Ayrıca gemi çöpleri de insineratörde yakılabilir. Insineratörün mevcut buhar kazadan ile irtibatlandırılması ile yanan atıkların enerjisinden buhar üretiminde yararlanılır. Böylelikle atıkların enerjisinden yararlanılmasının yanında atıkların gemiden dışarıya verilmesi ile ilgili masraflar da ortadan kalkar.

### 2.3.4 Elektrik Enerjisi Tüketiminin Azaltılması

Gemide enerji ekonomisi ile ilgili yapılacak uygulamalardan biri de tüketilen elektrik enerjisi miktarının azaltılmasıdır.

Dizel motorlarının termik verimlerinin yükselmesiyle birlikte işe dönüşen ısı miktarı artar. Bu durumda makinenin soğutulması için makineden alınması gereken ısı miktarı azalacağından soğutma sisteminin kapasitesi düşer. Buna bağlı olarak kullanılan soğutma suyu pompaları da daha az elektrik tüketen düşük kapasiteli pompalar olur.

Ana makinenin soğutulması amacıyla kullanılan deniz suyu pompalan geminin bulunduğu tropikal şartlarda gerekli soğutmayı sağlayabilecek kapasitede seçilirler. Tropikal şartlarda deniz suyu sıcaklığının 32 °C olduğu, makinenin maksimum yükte çalışacağı kabul edilir. Ancak gemiler Çizelge 2.9.'da görüldüğü gibi, çok defa deniz suyu sıcaklığının bu değerin altında olduğu bölgelerde çalışırlar. (Valbak, 1995). Bu bölgelerde ve deniz suyu sıcaklığı ne olursa olsun geminin manevra şartlarında deniz suyu pompasının sağladığı su miktarı makineyi soğutan suyu soğutmak için gerekli olan miktardan çok fazladır. Sağlanan deniz suyunun ancak bir kısmı kullanılırken geriye kalan kısım hiç bir işe yaramadan denize basılır. Gerekli miktarda deniz suyunun sağlanması, bu amaç için harcanan elektrik enerjisinin de azalmasına neden olur. Bu amaçla deniz suyu pompalan üzerinde yapılan değişiklikler önemli oranda enerji tasarrufuna neden olur. Bu değişiklikler pompanın farklı hızlarda çalışabilecek şekilde yapısal değişikliğe gidilmesi veya pompanın %50 kapasitesine sahip yeni pompa monte edilmesidir.

Çizelge 2.9. Deniz suyu sıcaklıklarına göre gemilerin çalışma oranları (Valbak, 1995)

Sıcaklık (°C)	Çalışma Süresi
0-15	30
15-20	35
20-25	20
25-30	10
30-32	5

#### 2.4 Seyir Veriminin Arttırılması

Seyir deniz ticaretinin en önemli kısmı olan bir malın bir yerden diğer bir yere güvenle götürme işidir. Denizcilikle beraber düşünülen iki önemli husus, güvenlik ve zamandır. Geminin ve seyir emniyeti sağlandıktan sonra enerji ekonomisi açısından seyirin uygun zamanda ve yakıt giderlerini minimize edecek şekilde tamamlaması gereklidir. Seyir sırasında seyir verimine etki eden etkenler şunlardır:

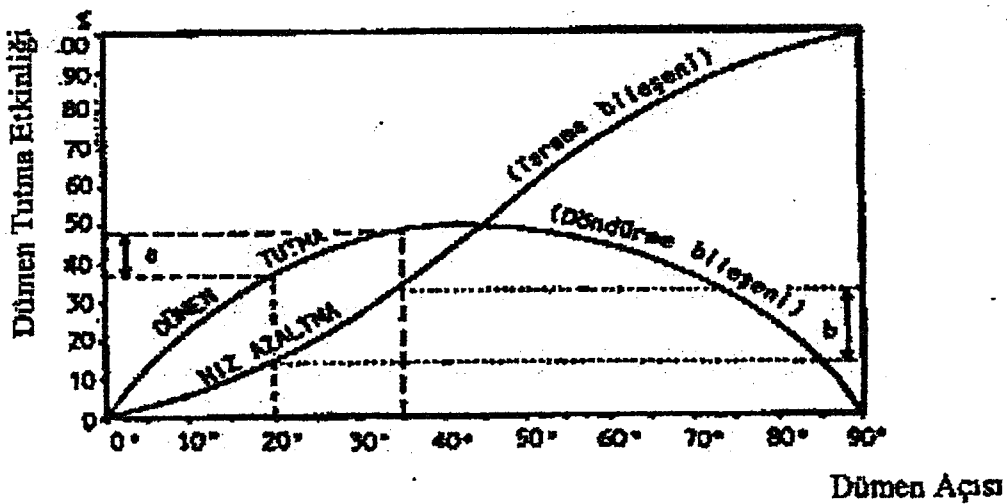
- Oto pilot
- Uygun hızda seyir
- Uygun rotada seyir
- Uygun balast ve trimde seyir.

### 2.4.1 Oto Pilot Kullanılması

Enerji ekonomisi sağlanabilmesi, seyir edilecek yolun en kısa zamandan kat edilebilmesi yolun en dik şekilde veya rotayı tam izlemek ile mümkündür. Serdümen kullanarak yapılan seyirde serdümenin tecrübesi, gece ve gündüz farklılığı, hava şartları, yorgunluk ve benzeri etkiler dümen kullanmayı da birbirinden farklı hale getirir. Oto pilot, yukarıda sayılan olumsuzlukları ortadan kaldırır. Hava şartları ve geminin durumuna göre ayarları iyi yapılmış bir oto pilot daha düzgün dümen tutarak rotanın en doğru şekilde takip edilmesini sağlar.

Seyir sırasında geminin formu ve dış etkenler sebebiyle gemi tam rotasında yol alamaz. Sancak ve iskeleye doğru kaçmalar meydana gelir. Bu kaçmaların etkisini ortadan kaldırmak için sürekli dümen kullanmak gerekir. İleri yolda dümen kullanıldığı zaman geminin hızında bir azalma olur. Bunun ana nedeni dümen kuvvetinin kıçta yönelik olan, başka doğrultulu tarama bileşenidir. Bu bileşenin değeri ne kadar büyük olursa hız azaltma etkisi de o kadar büyük olur. Tarama bileşeninin değeri, belirli bir dümen açısı için dümen yelpazesinden geçen su hızı, belirli bir su hızı için ise dümen açısı arttıkça, büyür.

Şekil 2.16'da Belirli bir dönme hızı için, dümen açılan değıştikçe tarama bileşeni ile döndürme bileşeninin nasıl değıştikleri verilmiştir. Şekildeki eğriler  $0^{\circ}$  den  $90^{\circ}$ 'ye kadar olan dümen açılarındaki döndürme ve hız azaltma etkilerinin değerleri konusunda bilgi verdiği gibi, herhangi iki dümen açısı arasındaki döndürme ve hız azaltma etkinliği farkının ne olabileceği de buradan bulunabilir. Şekilde, dümen açısını  $20^{\circ}$ 'den  $35^{\circ}$ 'ye çıkarmanın, dümen tutma etkisini (a) kadar, buna karşılık hız azaltma etkisini ise daha büyük olarak (b) kadar yükselttiği görülmektedir.



a=20 ile 35 dümen açılan arasındaki dümen tutma etkinliği farkı (Watson, 1991)

b=20 ile 35 dümen açılan arasındaki hız azaltma etkisi farkı

Şekil 2.17. Belirli bir hızdaki dümen açılarına göre ,döndürme ve tarama eğrileri

Dümen açısı ile dümen tutma ve hız azaltma etkileri arasındaki ilişki iyi bilinirse, içinde bulunulan şartlara uygun olan en yararlı biçimde dümen tutulabilir ve oto-pilotun ayarları yapılabilir. Dümenin hız azaltma etkisi alabanda dümenle manevra yapılırken gözle görünür oranda belirginleşir. Kısa süreli dümen açılan kullanıldığında ise hızın azaldığı pek anlaşılmaz. Bununla birlikte kullanılan her dümen açısının bir hız azaltma etkisi olduğu ve uzun seyirlerde birbirine eklenen hız azaltma etkilerinin sonuçta önemli kayıplar ortaya çıkaracağı bilinmelidir. Bu nedenle bir rota izlenirken, gemi rotasından kaçtığı anda onu yeniden izlenen rotaya döndürmek için kullanılan dümenin kullanılış biçimi önem kazanır.

Kullanılan her dümen, gemi hızında basılan dümen açısıyla doğru orantılı bir azalmaya neden olduğundan, belirli bir rotaya dümen tutulurken, gemi rotasından kaçtığı anda hemen küçük açılı dümen yerine, uzun süre beklenerek büyük açılı dümen kullanılırsa hızdaki azalma daha çok olur. Ayrıca bu şekilde dümen kullanıldığında gemi zikzaklar çizerek gezeceğinden yol da uzar. Seyir veriminin dümene ve oto pilota bağlı olan kısmında verimin artırılabilmesi için küçük açılarla sık sık dümen kullanılmalı veya oto pilot ayarı bunu sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Oto pilot ayarındaki bozulma yakıt giderlerini % 2 oranında artırır. (Watson, 1991; Adams 1984)

#### 2.4.2 Uygun Hızda Seyir

Gemi hızı ile ana makinenin yakıt giderleri arasında doğrudan bir ilişki vardır. Yakıt giderlerini azaltmak için gemi hızı optimum noktadan aşağıya düştüğünde seyir süresi ve sefer süresi uzar. Bunun sonucu olarak örneğin zaman periyodu bir yıl alınırsa hızdaki azalma yıllık sefer sayısının azalmasına, sonuçta da bir yılda taşınan yük miktarının azalmasına neden olur. Taşınan yükün azalması ile navlun gelir düzeyi düşer. Bunun sonucunda yakıt tasarrufu sağlanırken yük talebinde rekabet gücü azalır. Gemi hızının belirlenmiş ekonomik hızdan daha fazla artması ile seyir ve sefer süresi azalırken yakıt sarfiyatı artmaktadır.

#### 2.4.3 Uygun Rotada Seyir

Seyir başlamadan önce yapılması gereken seyir planı ile geminin varma limanına kadar takip edeceği rotalara karar verilerek harita üzerine çizilir. Seyir planı yapılırken öncelikle hava şartlarına ve akıntılara dikkat etmek gerekir.

Uluslararası deniz haritalarının bir kısmı dünyanın tüm seyir bölgelerine göre tavsiye edilen rotaları göstermektedir. Bu haritalar göz önünde tutularak, fırtınalar ve akıntılardan kaçınılarak yapılacak seyir planını ile geminin ve seyrin emniyetinin korunması ile beraber seyir verimi azami dereceye çıkarılmış olur. Ayrıca mümkün olduğu takdirde akıntılardan faydalanılacak şekilde yapılacak bir seyir planı da seyre yardımcı olacaktır. Hava şartları denince rüzgar, dalgalar ve rüzgar akıntısının etkisi anlaşılır. Rüzgar ve akıntının ileri yolda hareket halinde olan bir gemiyi nasıl etkilediği aşağıda açıklanmıştır.

#### 2.4.3.1 Rüzgarın Gemi Üzerindeki Etkisi

Rüzgarın gemi üzerindeki etkisi, geminin su üstü bölümüne yaptığı basınçla, tekneye kuvvet uygulamasıdır. Bu yolla rüzgar temas ettiği su üstü yüzeylerini, dolayısıyla gemiyi, rüzgar altına doğru iter. Geminin üzerindeki toplam rüzgar itme kuvvetinin değeri rüzgar hızına, geminin üst yapısının hava akım çizgilerine göre alınan dik kesitinin yüzölçümüne ve hava akım çizgileri içinde bulunan gemi üst yapısının aerodinamik durumuna bağlı olarak değişir. Rüzgarın gemi üzerinde oluşturacağı toplam kuvvetin değerini belirleyen üç öğeden ilki olan rüzgar hızı bu konuda büyük önem taşır. Bir gemiyi etkileyen toplam kuvvet, rüzgar hızının karesiyle artar. Buna göre gemiye değen belirli bir yöndeki rüzgarın hızı iki katına çıkarsa, gemiye uygulanan rüzgar kuvveti dört katına çıkar. İkinci öğe, gemi üst yapısının hava akım çizgilerine dik bir düzlem üzerindeki izdüşüm yüzeyinin alanı olup, buna "rüzgar alanı" adı verilir. Rüzgar alanı ne kadar büyük olursa rüzgarın gemiye uygulayacağı kuvvette o derece büyük olur. Rüzgar tam kemere yönünden geldiğinde rüzgar alanı en büyük değerine ulaşır, rüzgar tam pruvadan yada pupadan geldiğinde ise en küçük değerini alır.

Dolu geminin rüzgar alanı en düşük değerdedir, boş geminin rüzgar alanı değeri ise en büyüktür. Buna göre rüzgar boş gemiler üzerinde büyük, dolu gemiler üzerinde küçük etkiler oluşturacaktır. Biri boş diğeri dolu olan benzer iki gemi, aynı yönde farklı kuvvette rüzgarla karşılaştıklarında denilebilir ki, boş olanının orta kuvvette bir rüzgarda uğradığı etkiler ile yüklü olanının bir fırtınada uğradığı etkiler hemen hemen aynı olur.

Gemiye kuvvet uygulayan rüzgar gemi üzerinde aşağıda belirtilen etkilerden bir veya birkaçını ortaya çıkarır.

a- Hız değiştirme

b- Düşürme

c- Savurma

#### d- Bayıltma

Rüzgarın kemerinin önünden veya arkasından gelmesine bağlı olarak, geminin su içinde yaptığı hızı azaltır ya da çoğaltır.

#### 2.4.3.2 Akıntılar

Gemi kullanırken akıntının etkisinin hesaba katılması ve gerekli düzeltmelerin yapılabilmesi için akıntının önceden bilinmesi gerekir. Akıntıya girdikten sonra akıntının gemi üzerindeki etkisi artık ister istemez oluşacaktır. Bir bölgedeki akıntının iki unsuru akıntının hızı ve yönüdür. Böylece bir akıntı içinde ileri yol alan bir gemi üzerinde aşağıda sıralanan etkileri oluşturur.

- 1) Geminin yeryüzü üzerinde pervanesiyle normal şartlarda sağladığı hızda değişiklik yapar.
- 2) Geminin yeryüzü üzerinde, belirli bir süre sonunda normal şartlarda kendi gücüyle ulaşmayı planladığı konumdan farklı bir yere gider.
- 3) Gemiye yeryüzü üzerinde dümen tuttuğu rotadan başka bir rota üzerinde götürebilir.

Bir akıntıda omurgası akıntı yönü doğrultusunda bir açı yaparak yol alan her gemide, bu üç etki birlikte meydana çıkar. Gemi omurgası, akıntı yönü doğrultusunda çakıştığı zaman ise yalnızca ilk iki etki görülür. Pruvadan gelen akıntı, pupadan gelen akıntı, omuzluklardan gelen akıntı ve kemere yönünden gelen akıntılarının hepsi gemiyi farklı şekilde etkiler. Akıntılarının gemi üzerindeki etkisi geminin rüzgar alanı büyüklüğü ve rüzgarın akıntı yönüne göre olan durumuna göre farklılık kazanır. Rüzgarsız bir bölgede akıntının hız kazandırma biçimindeki doğrudan etkisi etkilediği tüm gemilerde aynı olmasına karşın momentum kazandırma biçimindeki dolaylı etkisi farklı olur. Dolu ve boş gemilerde görülen bu farklı moment etkisi geminin rotasını takip etmesi için harcanması gereken güç miktarının da farklı olmasına neden olur.

#### 2.4.4 Uygun Balast ve Trimde Seyir

Gemiler boş ya da az yüklüken , çoğunlukla pervanelerinin bir bölümü suyun dışında kahr, Pervane bu durumda çalıştığında yüzeyden hava emerler. Pervaneye gelen suyun hava karışması nedeniyle kabarcıklı olması pervane kanatlarında oluşan itme kuvvetinin her noktada farklı, toplamda ise az olmasına sebep olur. Bu durumda pervane hızlı dönmesine rağmen istenen itme kuvvetini oluşturamayacak veya geminin istenen hızda ilerleyebilmesi için daha fazla makine gücünün üretilmesine neden olacaktır.

Boş veya az yüklü geminin balast tanklarına deniz suyu alınarak geminin biraz daha suya batırılması ile pervanenin hava kapmaması ve daha derinde çalışması sağlanır. Balast alınması geminin toplam ağırlığını artırır. Pervanenin yoğun suda çalışması geminin hızında değişiklik oluşturacaktır.

Ayrıca boş gemiye balast alınması geminin biraz daha suya batması nedeniyle rüzgar alanının azalmasına da neden olacaktır. Gemilerin boş seyri sırasında balast tanklarının yanında ambarlara da balast alınabilir. Seyir yapılacak rotadaki hava şartlarının önceden değerlendirilmesi ile daha az balast ile seyir yapma olanağı vardır. Balast miktarının azalması ile gemi üzerinde taşınan yük azalacağından ana makinenin yakıt sarfiyatı da azalır. Ayrıca limanda yükleme ile birlikte balast pompaları yardımıyla balastın denize basılması gereklidir. Balast miktarının artması ile birlikte balast pompalarının çalışma süresi artar. Daha fazla elektrik tüketimi olacağından D.O. kullanan jeneratörlerin yakıt sarfiyatı artar.

Gemiler boş iken genellikle makine dairesi kıç taraflarında ise kıç taraflarının daha fazla suya batmasına neden olur. Bu şekilde ileri yol alan gemide pervanenin itme kuvvetinin yönü yere paralel olmaz ve gemiyi ileri hareket ettiren kuvvet küçülür. Bileşke kuvvetlerde makine gücünün bir kısmı gemiye yukarı kaldıran kuvvet olarak harcanır.

Dolu gemilerde ise geminin formundan dolayı makine gücü sabit kalmak üzere en yüksek hız geminin biraz kıça trimli hali ile elde edilir. Gemi kullanıcıları geminin boş ve dolu durumlarındaki en uygun trimlerini seyir sırasında balast miktarlarını veya balast yerlerini değiştirerek ortaya çıkarabilirler.

### 3. VERİLER

#### 3.1 M/V YASA EMİRHAN Gemisindeki Enerji Kayıpları

##### 3.1.1 Ana Makinenin Efektif Özgül Yakıt Sarfiyatının Artması Sonucu Yakıt Kaybı

Yakıt giderlerinin en büyük bölümünü, ana makinenin yakıt sarfiyatı oluşturur. Ana makinenin yakıt sarfiyatına etki eden en önemli etkenler; endike basınç, maksimum yanma basıncı ve kompresyon basıncıdır. Bu basınç değerlerinin belirlenmiş değerlere olan yakınlığı, yakıt sarfiyatındaki değişimi de gösterir. M/V YASA EMİRHAN gemisinde ana makinenin seyirde çalışması sırasında alınan indikatör diyagramlarından, basınç ve sıcaklık göstergelerinden elde edilen değerlerin belirlenmiş değerlerle karşılaştırılması ile ana makinenin mevcut durumu ortaya konulmuştur. Ana makinenin belirlenmiş değerleri Çizelge 3.1 ve 3.2'de verilmiştir. ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

Çizelge 3.1. Ana Makinenin Belirlenmiş Basınç Değerleri

Silindir No	Maks. Yanma Basıncı ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Komp. Basıncı ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
1	139	109
2	138	109
3	138	108
4	138	108
5	139	108
6	138	108

Gemide seyir sırasında alınan indikatör diyagramlarından elde edilen değerler ise Çizelge 3.3 ve 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ana Makinenin Belirlenmiş Güç Değerleri

Silindir No	Endike Güç (HP)	Efektif Güç (HP)
1	1711	1527
2	1784	1593
3	1765	1576
4	1804	1611
5	1765	1576
6	1804	1611

Çizelge 3.3. Ana Makinede Elde Edilen Basınç Değerleri

Silindir No	Maks. Yanma Basıncı (kg/cm <sup>2</sup> )	Komp. Basıncı (kg/cm <sup>2</sup> )
1	110	95
2	110	94
3	110	94
4	108	92
5	111	94
6	110	95

Ana makinenin kompresyon basıncı ve maksimum yanma basıncı, makinenin belirlenmiş basınç değerlerine göre düşüş göstermiştir. Bunun sonucunda da üretilen güç düşmüş yakıt sarfiyatı artmıştır. Kompresyon basıncının düşmesi ile ilgili yapılan incelemede planlı bakım uygulamalarında bazı aksamaların olduğu tespit edildi. Bu süreçte piston ile layner arasında sızdırmazlığı sağlayan segmanların deformasyona uğraması ve değiştirilmemesi nedeniyle kompresyon basıncı düşmüştür.

Çizelge 3.4. Ana Makinede Elde Edilen Güç Değerleri

Silindir No	Endike Güç (HP)	Efektif Güç (HP)
1	1526	1362
2	1595	1424
3	1574	1405
4	1613	1441
5	1574	1405
6	1613	1441

Ek olarak, kompresyon basıncının düşmesi, yakıtın yanma odasına hazırlanıp gönderilmesi ile ilgili problemlerin olması ve düşük dolgu havası basıncı nedeniyle maksimum yanma basıncı da düşmüştür. Bu basınçların düşmesi sonucunda ana makinenin efektif özgül yakıt sarfiyatı artmıştır. Ana makinenin efektif özgül yakıt sarfiyatı farklılaşmasından kaynaklanan yakıt kaybı aşağıda belirtilmiştir.

Ana Makinenin Günlük Yakıt Sarfiyatı : 27.328 ton/gün

Ana Makinenin Ürettiği Efektif Güç : 7826 bhp

Ana Makinenin Saatteki Sarfiyatı : 1138.6 kg/saat

Efektif Özgül Yakıt Sarfiyatı : 145.5 gr/bhp-saat

Belirlenmiş Efektif Özgül Yakıt Sarfiyatı : 128.8 gr/bhp-saat

Efektif özgül yakıt sarfiyatının belirlenen değerden fazla olması yakıt sarfiyatını artırır. Yakıt farkı aşağıdadır.

Ana Makinenin Olması Gereken Sarfiyatı :  $7826 \times 0.1288$  : 1007.9 kg/saat

Günlük Yakıt Sarfiyatı :  $1007.9 \times 24$  : 24.19 ton/gün

Tüketilen Yakıt Farkı :  $27.328 - 24.19$  : 3.138 ton/gün

Yıllık Tüketim Farkı :  $3.138 \times 270$  : 847.26 ton/yıl

Yıllık Gider Farkı :  $847.26 \times 160$  : 135561.6 \$/yıl

### 3.1.2 Gemide Şaft Jeneratörü Olmadığı İçin Oluşan Kayıplar

Geminin elektrik enerjisi D.O. kullanan jeneratörler tarafından karşılanır. Dizel jeneratörün elektrik üretimi için tükettiği yakıt miktarı aşağıdadır.

Dizel Jeneratörün Seyir Yakıt Sarfiyatı : 1.8 ton/gün

Yıllık Seyir D.O. Sarfiyatı :  $1.8 \times 270$  : 486 ton/yıl

Yıllık Seyir D.O. Tutarı :  $486 \times 240$  : 116640 \$

Gemi belirli bölgelerde yılda yaklaşık 3 ay iki jeneratör devrede olarak seyir yapmıştır.

Bu seyir süresi için yakıt sarfiyatı aşağıdadır.

Ek D.O. Sarfiyatı :  $1.8 \times 90 \times 240$  : 38880 \$

Toplam Seyir D.O. Sarfiyatı :  $116640 + 38880$  : 155520 \$

Şaft jeneratörü kullanılması durumunda elektrik enerjisi için tüketilen yakıt miktarı ana makinenin yakıt sarfiyatından yararlanılarak tespit edilir. Elektrik enerjisinin şaft jeneratörü ile elde edilmesi sonucu tüketilen yakıt miktarı aşağıdadır.

Günlük Sarfiyat :  $300 \text{ kW} \times 180 \text{ gr/kW-saat} \times 24 \text{ saat}$  : 1.3 ton

Yıllık Sarfiyat :  $1.3 \times 270$  : 351 ton

Yıllık F.O. tutarı :  $351 \times 160$  : 56160 \$

Yıllık Kayıp Miktarı :  $155520 - 56160$  : 99360 \$

### 3.1.3 Gemide Turbojeneratör Olmadığı İçin Oluşan Kayıplar

Egzost gazlarının enerjisinden sağlanan buharla çalışan turbojeneratörler, seyir sırasında elektrik enerjisi yakıt sarfiyatını tamamen ortadan kaldırır. Bu nedenle turbojeneratör kullanılmadığı için yıllık kayıp miktarı 155520 \$'dır.

Turbojeneratörden elde edilen enerjinin bir kısmını dişliler yardımı ile ana makine krank şaftına aktarmak mümkündür. Bunun sağlanabilmesi için turbojeneratörden daha fazla güç üretmesi gerekir. Bu amaçla yakıt tanklarında yakıt sarfiyatının azaltılması, buhar

kaçaklarının giderilmesi ve elektrik tüketiminin azaltılması yoluna gidilir. Böylelikle baca kazanından elde edilen buhar ile çalışan turbojeneratör gerekli elektrik enerjisinden daha fazla güç üretir. Bu gücün ana makineye verilmesi ile ana makinenin efektif özgül yakıt sarfiyatı 6 gr/bhp-saat azalır. Bu azalma ile elde edilen yakıt tasarrufu aşağıdadır.

Saatteki Yakıt Tasarrufu :  $6 \times 7826 : 46.95 \text{ kg/saat}$

Günlük Yakıt Tasarrufu :  $46.95 \times 24 : 1.126 \text{ ton/gün}$

Yıllık Yakıt Tasarrufu :  $1.126 \times 270 : 304 \text{ ton/yıl}$

Tasarruf Edilen Miktar :  $304 \times 160 : 48640 \text{ \$/yıl}$

#### 3.1.4 Tekne Altının Temizlenmesi İle Elde Edilen Kazançlar

Tekne yüzeyine yapışarak teknenin kirlenmesine neden olan midye ve yosun gibi kirletici unsurlar bir sualtı fırçalama çalışması ile ana kinistin ve balast kinistin sandığından ve tekne altından temizlendi. Teknenin temizlik işleminden sonra yüklü ve balastlı durumda seyir hızları gemiden ofise gönderilen günlük mevki raporları incelenerek kaydedildi. Geminin saatteki hızı 13 milden 0.75 mil artışla 13.75 mile çıktı.

Günlük Seyir Mesafesi :  $24 \times 13 : 312 \text{ mil}$

Günlük Yakıt Sarfiyatı : 27 ton

Sarfiyat Miktarı :  $27/312 : 0.08 \text{ ton/mil}$

Günlük Tasarruf :  $13 \times 0.08 : 1.04 \text{ ton}$

Yıllık Tasarruf :  $1.04 \times 270 : 280.8 \text{ ton}$

Tasarruf Miktarı :  $280.8 \times 160 : 44928 \text{ \$}$

Hız artışı ile birlikte yakıt tasarrufunun yanında geminin bir yıl boyunca kat edeceği mesafe de artar. Bunun sonucunda da getiriler elde edilir. Bunlar aşağıda belirtilmiştir.

Temizlik Öncesi Seyir Mesafesi :  $13 \times 24 \times 270 : 84240 \text{ mil/yıl}$

Temizlik Sonrası Seyir Mesafesi :  $13.75 \times 24 \times 270 : 89100 \text{ mil/yıl}$

Fark :  $89100 - 84240 : 4860 \text{ mil/yıl}$

Kazanılan Gün :  $4860/312 : 15.57 \text{ gün}$

Gemi hız artışı nedeniyle yılda yaklaşık 15 gün kazanmaktadır. Bu özelliklerdeki bir gemi için yıllık yakıt yük gemisinin 2003 yılı için ortalama günlük kazancı 11200 \$'dır. Hız artışı nedeniyle yakıt tasarrufunun yanında ayrıca yaklaşık 168000 \$ ek kazanç sağlanmaktadır.

### **3.1.5 İnsineratör Kullanılması İle Elde Edilen Kazançlar**

Gemide yağlı sintine atıklarını yakabilen insineratör cihazı mevcuttur. Bu nedenle bu atıkların depolandıkları slaç tanklarından liman tesislerine verilmesi sıkıntısından kurtulunmaktadır. Ayrıca bu atıkların enerjisinden faydalanılmaktadır. Hem de bunların gemiden alınması için ödenmesi gereken ücretten de kurtulunmaktadır. Geminin bir yılda ürettiği slaç miktarı 100 tondur. Slacın yakıt değerinin yaklaşık olarak HFO'nun yarısı olduğunu kabul edersek, 50 ton, yaklaşık 8000 \$ değerindeki slacın yakıt olarak kullanılabilirliğini söyleyebiliriz. Bu kadar slaç miktarının gemiden alınması için gereken yaklaşık 1000 \$'ın da kar olduğunu sayarsak, toplam kazanç miktarı 9000 \$'dır.

### **3.1.6 Yanma Katalizörü (CP 3500) Kullanılması İle Elde Edilen Kazançlar**

CP 3500 % 4 ila 7 arasında yakıt tasarrufu sağlar. Yani yaklaşık yıllık 6030 ton yakıtın % 4 ila 7'si yani 241.1 ila 422.1 ton tasarruf edilmektedir. Bunun değeri ise yaklaşık 38592 ~ 67536 \$'dır.

CP 3500 kullanımı ile sağlanan avantajlar;

Daha uzun bakım periyodu aralığı

Daha iyi yakıt atomizasyonu

Daha düşük egzost gazı sıcaklığı

Silindir layner ve piston segmanlarında daha az aşınma

Daha düşük CO ve NO<sub>x</sub> miktarı

Daha az egzost gazı miktarı

Daha az su ve katı partikül miktarı

Köpürmeyi önleme

Tam yanmaya yaklaştırdığı için ekonomayzer, T/C, egzost valfi gibi parçalarda kirlenmeyi önüyor

Daha düşük kalitede F.O. kullanmaya olanak sağlıyor

En önemlisi daha yüksek ve sabit durumda TBN (Toplam Baz Numarası) sağlıyor. Bu da yanma ortamında oluşan asit derişimini dengeleyip parçaların aşınmasını önüyor ve oksidasyonu azaltıyor.

### 3.1.7 Geminin Yıllık İşletme Gideri

Geminin yıllık işletme giderleri Çizelge 3.5’de gösterilmiştir. Geminin işletimi ile ilgili yılda yaklaşık 2.3 milyon \$ harcanmaktadır. Yukarıda belirtilen enerji ekonomisi uygulamalarının gemide yerine getirilmesi ile yıllık yaklaşık 440000\$’lık tasarruf elde edilebilmektedir. Bu da işletme giderlerini yaklaşık % 19 oranında düşürmektedir.

### 3.1.8 Ofis ve Gemi Personelinin Dikkat Etmesi Gereken Hususlar

Enerji ekonomisi uygulamalarının gemide başarılı olabilmesi için hem ofis hem de gemi personeline büyük sorumluluklar düşmektedir. Personelin yapması gereken işlemler şunlardır. (Deniz, 2000)

#### 3.1.8.1 Teknik ve Operasyon Müdürlerinin Dikkat Etmesi Gereken Hususlar

Geminin ofisten idaresini sağlayan bu müdürlerin gemide enerji ekonomisi uygulamalarının başarıya ulaşması için yapmaları gereken şunlardır.

- Geminin makine ve sistemlerine uygun bakım programı hazırlamalıdır.
- Bu programa uygun bakım tutum gerçekleştirilmesi için gemide gerekli yedek parçanın bulundurulmasını sağlamalıdır.
- Gemiden periyodik olarak gönderilen bakım kayıtlarını dikkatli olarak kaydetmeli ve incelemelidirler.
- Gemiye düzenli olarak denetlemeli, kayıtların gerçeklere uygun yapılmasını sağlamalıdır.
- Kaptan ve Baş Mühendisleri gemiye göndermeden önce ofiste yeterince bilgilendirmelidirler.
- Geminin yaşına bağlı olarak enerji ekonomisi uygulamalarının geminin ömür ve bakım periyotlarında yapılmasını sağlamalıdır.

#### 3.1.8.2 Güverte Personelinin Dikkat Etmesi Gereken Hususlar

- Yükleme ve boşaltma işlemlerini “Yükleme - Boşaltma Programı” na göre yapmalıdırlar. Böylelikle seyir sırasında uygun trimde seyir yapılması sağlanmalıdır.
- Hava raporları sık sık alınarak uygun rotada minimum enerjili seyir yapılmalıdır.
- Oto-pilot devreye alınmalı ayarları belirli periyotlarda kontrol edilmelidir.
- Yükstüz seyir sırasında gerektiğinden fazla balast alınmamalıdır.

### 3.1.8.3 Makine Personelinin Dikkat Etmesi Gereken Hususlar

- Bakım programına göre kontrol süresi gelen makine ve teçhizatlar kontrol edilmelidir.
- Çalışan makine ve sistemlerinin basınç ve sıcaklık değerleri ayarlanmalıdır.
- Yağ ve yakıt seperatörleri ve çalışmaları kontrol edilmelidir.
- Yakıtın dinlendirme ve servis tanklarındaki sıcaklığı ile son ısıtıcıdan çıkış sıcaklığı kontrol edilip, yakıtın uygun püskürtme viskozitesine ulaşması sağlanmalıdır.
- Bacadan çıkan egzost gazlarının renkleri kontrol edilerek gereği yapılmalıdır.
- Periyodik olarak indikatör diyagramları alınarak makinenin ısı verimi kontrol edilmeli, aksaklıklar giderilmelidir.

Çizelge 3.5.Yıllık İşletme Giderleri

Gider Adı	Yıllık Miktarı (\$)
HFO	964800
MDO	155520
Yağlama Yağı	68842
Liman Giderleri	350000
Kanal Geçiş	200000
Tekne ve Makine Sigorta	52822
P & I Sigorta	35291
Kumanya	26241
Yedek Parça,Müstehlik Malzeme	114184
Klas Kuruluşu ve Sörvey	10481
Haberleşme	6400
Ofis Giderleri	82296
Personel Ücretleri	257647
<b>Toplam</b>	<b>2324524</b>

#### 4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Armatörler, gemiye ait işletme giderleri içinde en büyük paylardan birini oluşturan yakıt giderlerini en aza indirebilmeleri oranında rekabet güçlerini arttırmaktadırlar. Özellikle navlun ücretlerinin düştüğü ve yakıt fiyatlarının arttığı dönemlerde yakıt giderlerinin en aza indirilmesi daha büyük önem arz etmektedir. Gemi makinelerinde enerji ekonomisi uygulamaları ile yakıt giderleri önemli oranda azaltılabilmektedir. Fakat, bu uygulamalardan istenen sonuçların elde edilebilmesi için geminin tamamını içine alan bir çalışma gerçekleştirilmelidir.

Gemide enerji ekonomisine etki eden faktörlerin belirlenmesinden sonra, bu faktörlerin etki oranını ortaya çıkarmak amacıyla, M/V YASA EMİRHAN gemisinde uygulama çalışmaları yapıldı. Geminin mevcut durumu ortaya konuldu. Belirlenen enerji ekonomisi faktörlerinin gemiye uygulanması ile, elde edilebilecek iyileştirmenin oranı tespit edilmeye çalışıldı. M/V YASA EMİRHAN gemisinde enerji ekonomisi uygulamalarının yapılması ile özellikle yakıt sarfiyatının düşmesi sonucunda işletme giderlerinin % 19 oranında azaltılabileceği tespit edildi. Yılda % 19 oranında gerçekleştirilebilecek bir iyileştirme ile rekabet gücü artacak olan gemi sahibi, aynı zamanda yeni yatırımlara girme fırsatı bulabilecektir.

Yakıt sarfiyatının düşmesinin diğer bir faydası da, yük taşıma kapasitesindeki doğacak artıştır. Gemilerde sefere başlamadan önce genellikle seferin tamamına yetecek yakıt tanklarda depolanır. Bazı durumlarda, sefer rotası üzerinde bulunan yakıt ikmal merkezlerinden yakıt alınsa da, bu esnada ödenecek liman ve acente masrafları ile zaman kaybı nedeniyle bu yol tercih edilmez. Sefer başlamadan önce, seferde yapılacak yakıt sarfiyatı hesaplanarak, gerekli miktarda yakıt depolama tanklarına alınır. Gemi dizel motorlarında enerji ekonomisi uygulamaları ile yakıt sarfiyatı düştüğünden, seferde kullanılacak yakıtın miktarı da düşecektir. Daha az yakıtın tanklarda depolanması nedeniyle, azalan yakıt miktarı oranında daha fazla yük taşımak, dolayısıyla daha fazla navlun elde etmek mümkün olacaktır.

Enerji ekonomisinin gemi dizel motorlarında bir bütün halinde uygulanabilmesi için, gemi makinelerinde ve sistemlerinde planlı bakım uygulamaları yapmak gereklidir. Böylece bir yandan verimlilik artıp işletme giderleri düşerken, diğer yandan da güvenli gemi işletmeciliği sağlanmaktadır. Enerji ekonomisi elde edilmesinin en önemli faktörlerinden biri bakım tutumdur. Planlı bakım uygulamalarıyla makine ve sistemler herhangi bir arızaya uğramadan önce belirlenen program dahilinde kontrol edilirler. Böylece makine ve sistemlerin ani arıza

yapma riskleri düşer. Özellikle gemilerin, boğaz ve kanal geçişi, yoğun trafikte seyir, kısıtlı görüşte seyir gibi kritik seyir durumlarında arızalanma risklerinin düşmesi nedeniyle gemi güvenliği artar. Böylece IMO'nun (Uluslar arası Denizcilik Örgütü) denizde güvenliği arttırmaya yönelik olarak yürürlüğe koyduğu ISM CODE'un (Uluslar arası Güvenlik Yönetim Kodu) ana hedeflerinden biri olan güvenli gemi işletmeciliği de sağlanır. Gemilerde arızaların ortaya çıkması, hatta bu arızalar nedeniyle kaza yapmaları sonucunda çalışamayacakları için, bir kayıp söz konusudur. Bu kayıp planlı ve düzenli bakım uygulamalarının yerine getirilmesi ile dikkate değer ölçülerde indirilebilir.



**KAYNAKLAR**

- MITSUI MAN B&W, (2001) Instruction Manual of MITSUI MAN B&W 6S50MC Engine, Osaka.
- MAN B&W, (1996) Basic Principles of Ship Propulsion, Copenhagen.
- MAN B&W, (1989) Uni-Fuel Unit, Copenhagen, 9-11.
- Deniz, C. , (2000) Gemi Makinelerinde Enerji Ekonomisi, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Woodward, J. B. , (1988) Low Speed Diesel Engines, Robert Krieger Publishing Company, 54-81.
- Kafalı, K. , (1972) Gemi Formunun Statik ve Dinamik Esasları, Özarkadaş Matbaası, İstanbul.
- Palavan, S. , (1950) Gemi Dizel Motorları I, İTÜ Matbaası, İstanbul, 5-58.
- Küçükşahin, F. , (1985) Dizel Motorları I, Ercivan Matbaası, İstanbul.
- Küçükşahin, F. , (1980) İçten Yanmalı Gemi Makineleri, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 160-178.
- Hughes, C. N. , (1987) Ship Performance, Lloyd's of London Pres Ltd. , London.
- Hensel, W., (1982) Energy Saving in the Ship Power Supplies, "Trans I Mar E." Vol. 96, 3-8.
- Smith, M., (1984) Economic Painting Consideration, Shipbuilding & Marine Engineering-March, 77-78.
- Watson, D. M., (1981) Designing Ships for Fuel Economy, The Royal Institution of Naval Architects, 501-521.
- Geisler, O. S., (1989) Marine Propulsion Systems Research For Efficiency, Marine Engineering Now And In The Future, London, 17-18 July 1989
- Safgönül, B., (1981) Pistonlu Motorlar I, İTÜ Matbaası, İstanbul, 150-190.
- Hughes, C. N., (1989) Shipping: A Technoeconomic Approach, Lloyd's of London Press Ltd., London.
- Adams, E. M., (1984) Cutting Fuel Consumption to Reduce Operating Costs, Fairplay, November, 43-44.
- Harvald, A., (1991) Resistance And Propulsion Of Ships, Krieger Publishing Company, Florida, 43-215.
- Mikkelsen, G., (1983) Auxiliary Power Generation in today's Ships, Trans I Mar, Vol.96, 19-24.
- Meek, M., (1984) Marine Technology and UK Maritime Performance, The Royal Institution Architects, 69-80.
- Burnet, R. F., (1981) Designing Ships for Fuel Economy, Shipbuilding & Marine Engineering, December, 541-544.

- Kresic, M., (1983) Effect Of Propeller Design Points Definition On The Performance at A Propeller, SNAME Transactions, Vol 91, 195-224.
- Fisher, C., (1986) Bunkers, Lloyd's of London Pres. Ltd., 161-165.
- Ünsalan, D., (1984) Tekne ve Pervane Pürüzlenmesinin Savaş Gemileri Performansına Etkileri, Gemi İnşaatı Teknik Kongresi, 320-333.
- Harvald, A. HEE M., (1988) The Components Of The Propulsive Efficiency Of Ships In Relation To The Design Procedure, SNAME, 126-138.
- Gallin, C., (1983) Economic And Technical Studies Of Modern Ships, Shipbuilding & Marine Engineering, April, 38-45.
- Erbakan, N., (1957) Dizel Motorlarında Tutuşma Gecikmesi Hakkında Yeni Araştırmalar, Doçentlik Tezi, İTÜ yayınları, İstanbul, 10-45.
- Heywood, J. B., (1988) Internal Combustion Engines Fundamentals, McGraw Hill Book Company, New York, 491-561.
- Chigier, N., (1979) Energy and Combustion Science I, Pergoma Pres. Ltd., London, 36-80.
- Mak, (1993) Project Guide M552C/m601C, 13-18.
- Moser, P., (1990) Servicing Turbochargers to Minimise Cost, Shipbuilding Technology International, 121-127.
- Schulz, E. J., (1986) Diesel Mechanics, Mc Graw Hill Book Company, New York, 216-251.
- Pringle, G., (1982) Economic Power Generation at Sea, Trans I Mar E.1982, Vol 94, 1-6.
- Fukugaki, A., (1993) Review of Shipboard Energy Technology, Trans I Mar E, Vol.106, 43-59.
- Tanaka, Y., (1985) Design Consideration for Energy Efficient Propulsion Plants, SNAME, 117-129.
- Valbak, O., (1995) Some Economic Aspects, Alfa-Laval, Sweden, 21-22.

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	09.10.1977	
Doğum yeri	Muş	
Lise	1988-1995	Amasya Anadolu Lisesi
Lisans	1996-2001	İstanbul Teknik Üniversitesi Denizcilik Fak. Gemi Makinaları İşletme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2002-2004	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Müh. Anabilim Dalı, Enerji Mak. Programı

**Çalıştığı kurumlar**

2001-2003	YA-SA Denizcilik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
2002-2002	CE-KA (AK-SA) Enerji Üretim Santrali A.Ş.

