



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
GEMİ İNŞAATI VE DENİZCİLİK FAKÜLTESİ  
GEMİ MAKİNELERİ İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

# GEMİ MAKİNELERİNDE ENERJİ TASARRUF POTANSİYELLERİ VE VERİMLİ İŞLETMECİLİĞİN ESASLARI

**Dr. Öğr. Üyesi Görkem KÖKKÜLÜNK**

*YTÜ GMİM Bölümü Öğretim Üyesi*

*TMMOB GEMİMO Genel Sekreteri*

*DEDEK Kurucu Üye/Genel Sekreter*

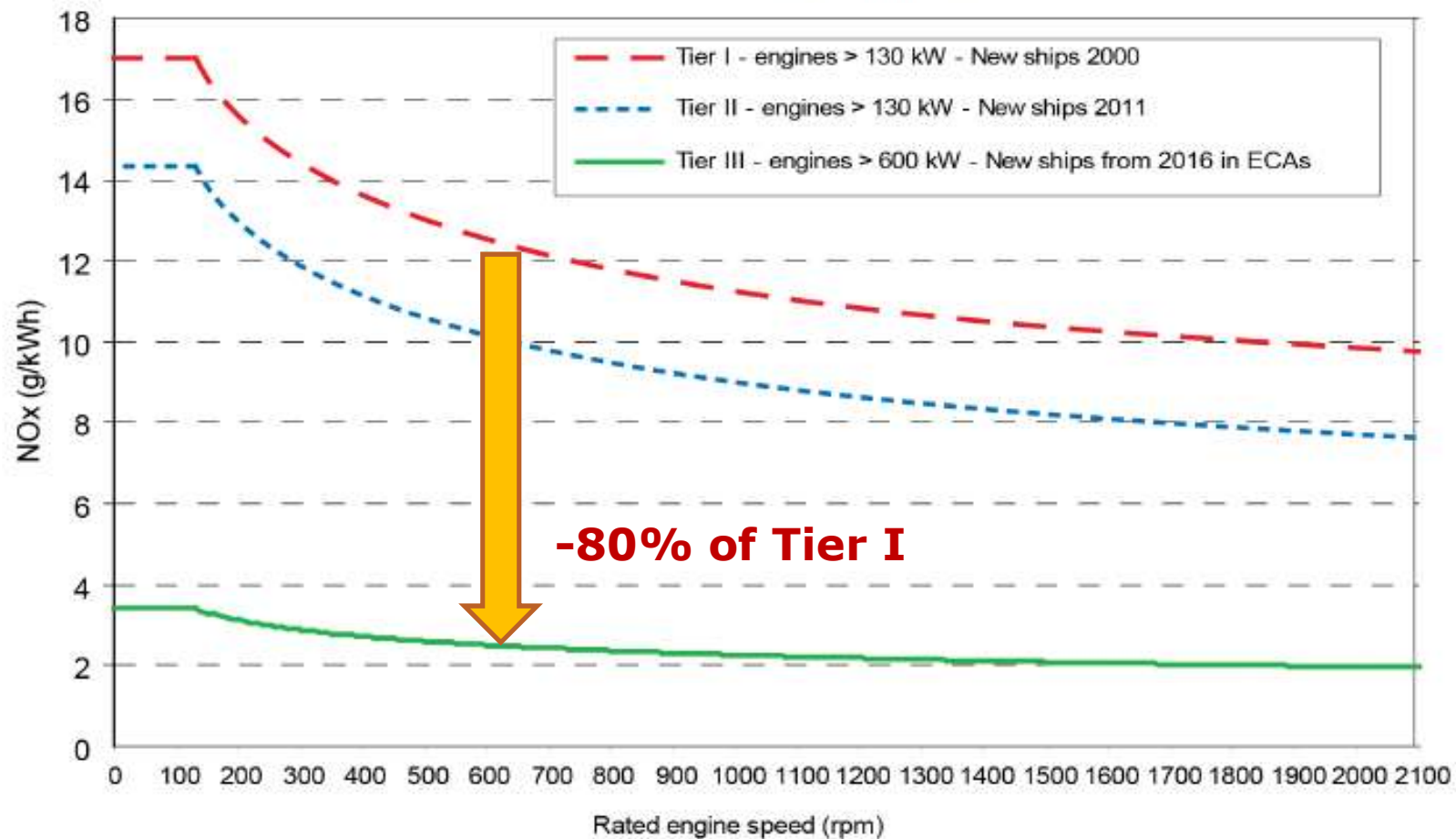


# Konu Başlıkları

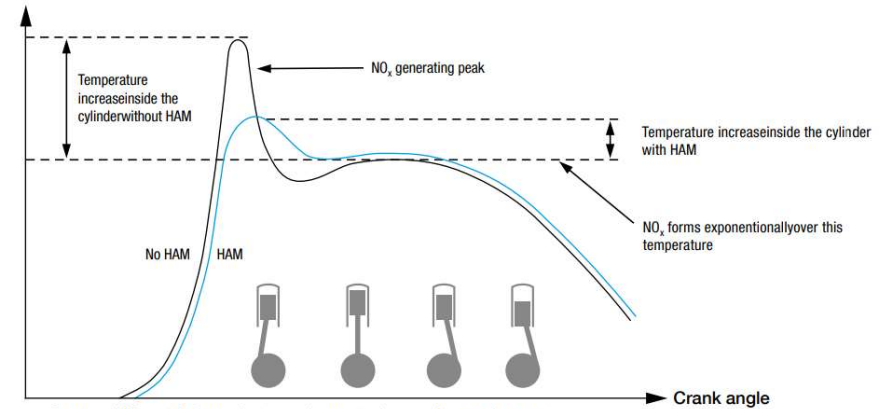
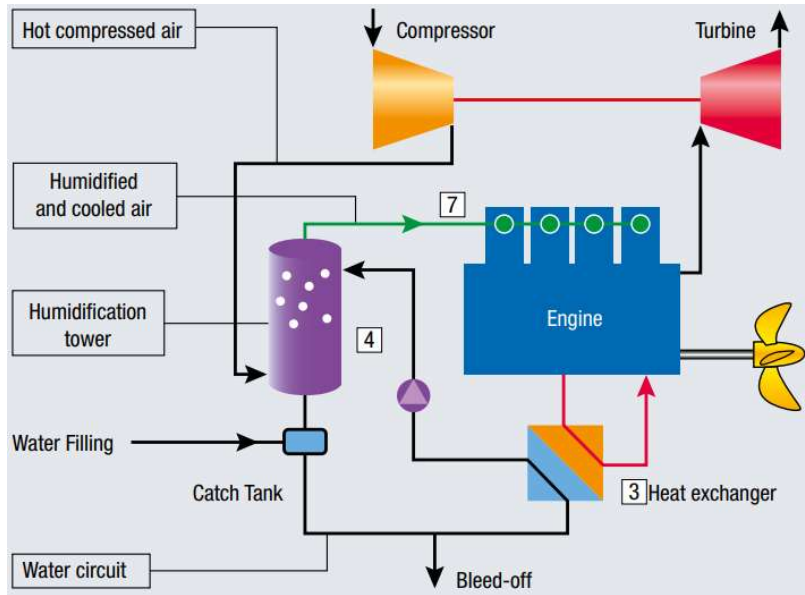


# NOx emisyonları

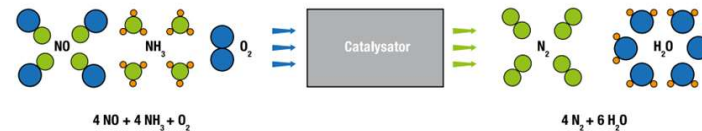
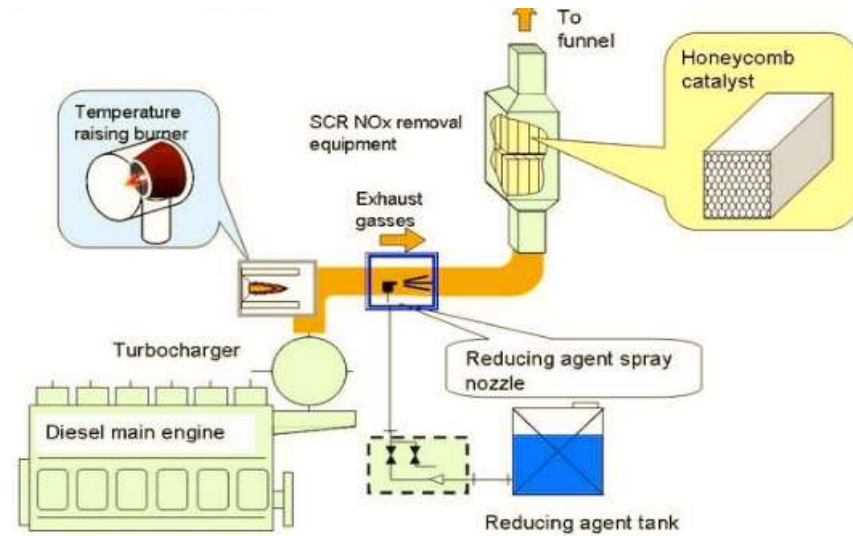
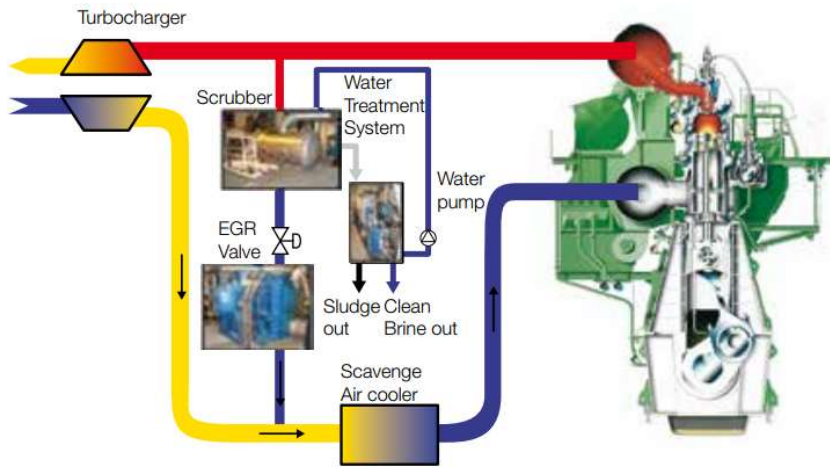
Tier	Ship construction date on or after	Total weighted cycle emission limit (g/kWh) n = engine's rated speed (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 January 2000	17.0	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm – 12.1	9.8
II	1 January 2011	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ e.g., 720 rpm – 9.7	7.7
III	1 January 2016	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm – 2.4	2.0



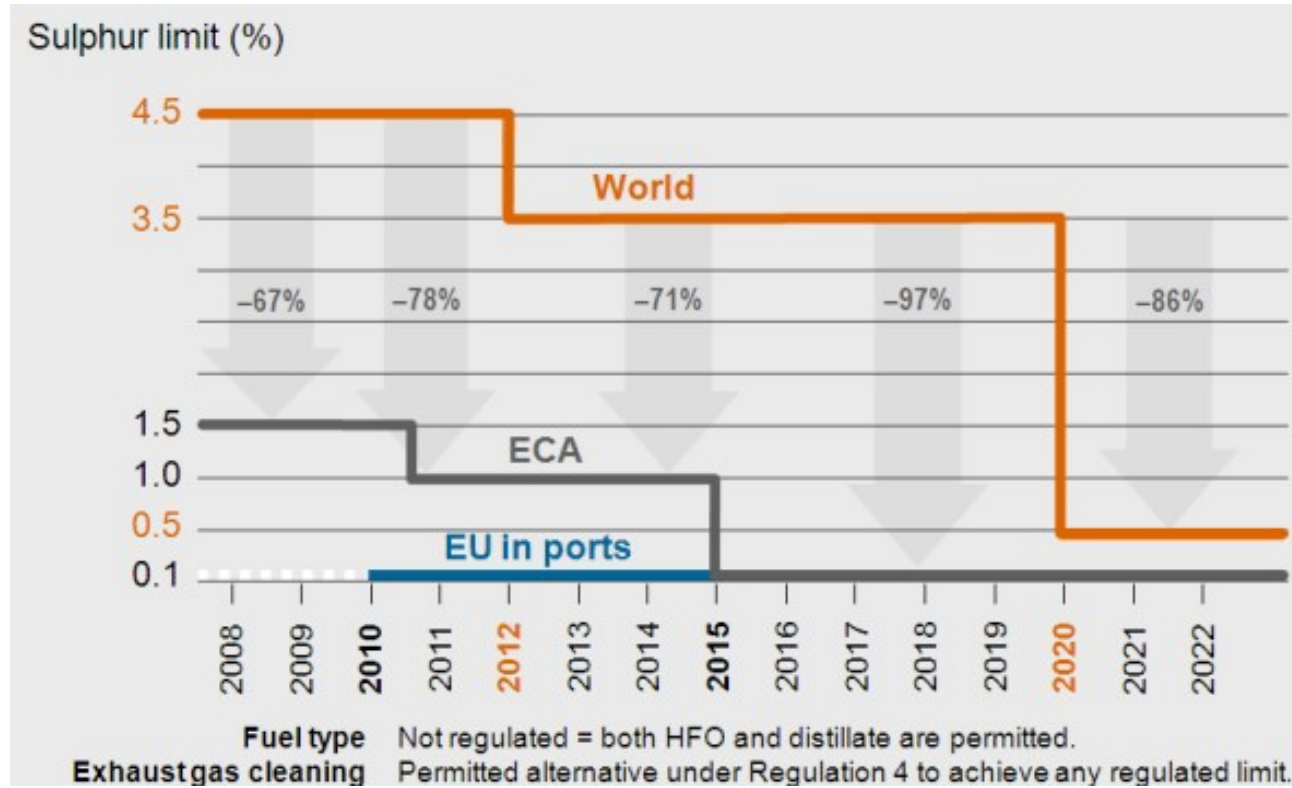
# NOx Emisyonlarının azaltılması



Ş 2: Cutting NO<sub>x</sub> with humid air – schematic heat release diagram



# SOx Emisyonlarının azaltılması



Outside an ECA established to limit SOx and particulate matter emissions	Inside an ECA established to limit SOx and particulate matter emissions
4.50% m/m prior to 1 January 2012	1.50% m/m prior to 1 July 2010
3.50% m/m on and after 1 January 2012	1.00% m/m on and after 1 July 2010
0.50% m/m on and after 1 January 2020*	0.10% m/m on and after 1 January 2015

# SOx Emisyonlarının azaltılması

## 1 Ocak 2020 Den Sonra Yakıt İsimleri

❖ 1 Ocak 2020 tarihinden sonra yakıt terminolojisi değişmektedir. Bu terminolojide yakıtlar ısıtılıp ısıtılmadığına ve kükürt içeriğine göre kategorize edilmektedir.

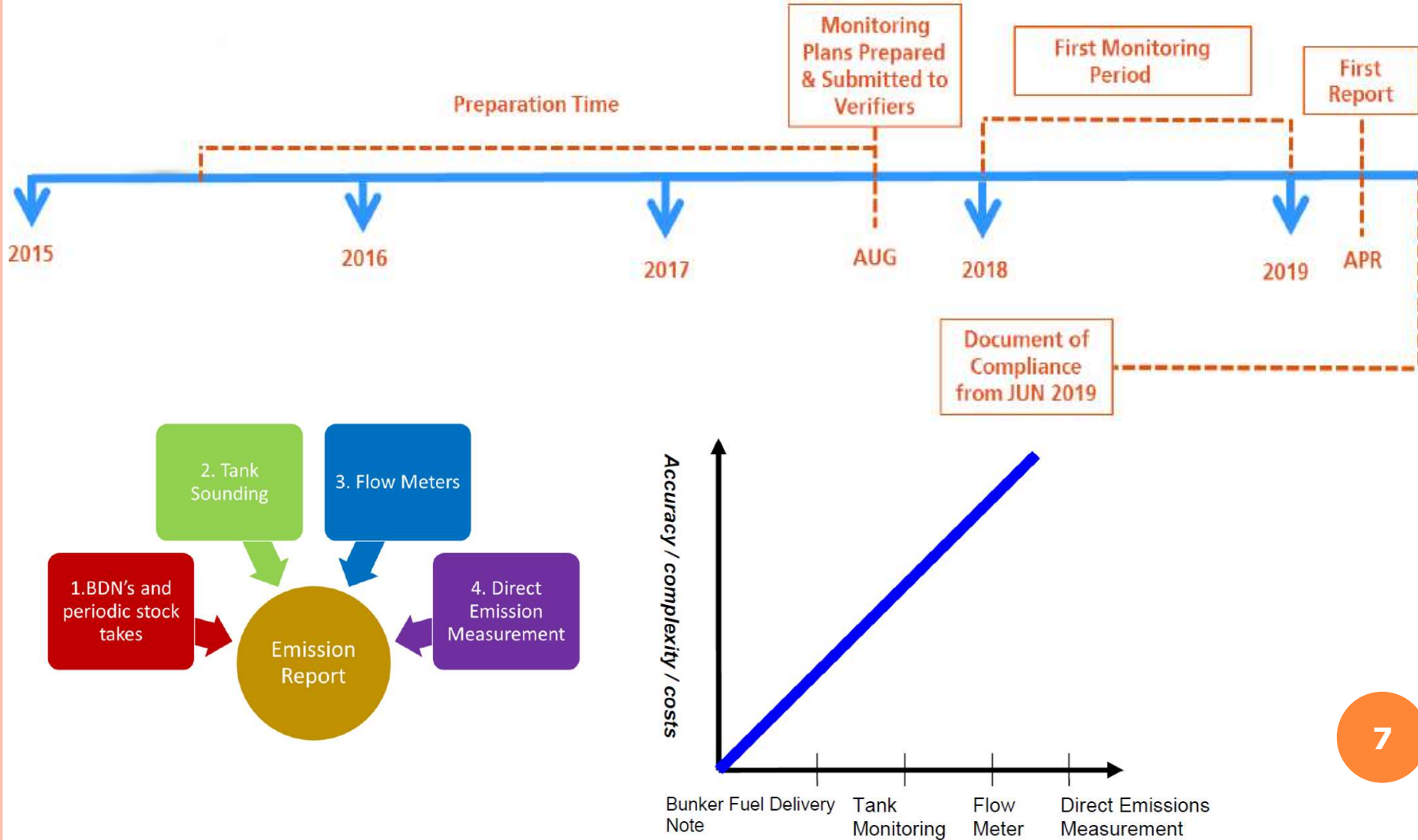
- HFO: Heavy Fuel Oil
- MGO: Marine Gas Oil
- DM: Distillate Marine (fuel that does not need heating)
- RM: Residual Marine (fuel that needs heating)
- MDO: Marine Diesel Oil
- ULSFO: Ultra Low Sulphur Fuel Oil
- VLSFO: Very Low Sulphur Fuel Oil
- HSFO: High Sulphur Fuel Oil

Sulphur content	HFO (RM-grades)	MDO (DMB, DFB)	MGO (DMA, DFA, DMZ, DFZ)
$S \leq 0.10 \%$	ULSFO RM		ULSFO DM
$0.10 \% < S \leq 0.50 \%$	VLSFO RM		VLSFO DM
$0.50 \% < S$	HSFO RM*		HSFO DM*

\* Sadece **Scrubber** kullanan gemiler için müsaade edilmektedir.

## CO<sub>2</sub> Emisyonları - EU MRV

5000 GRT ve üzeri gemiler için 1 Ocak 2018 tarihi itibari ile uygulanması zorunlu hale gelecek olan (2018-2019 takvim yılı için) Gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonları için yakıt sarfiyatını izleme, raporlama ve doğrulama (MRV: Monitoring, Reporting and Verification) yönetmeliği 1 Temmuz 2015 tarihinde yürürlüğe girmiştir.



# CO<sub>2</sub> Emisyonları - EU MRV





# CO<sub>2</sub> Emisyonları - IMO MARPOL

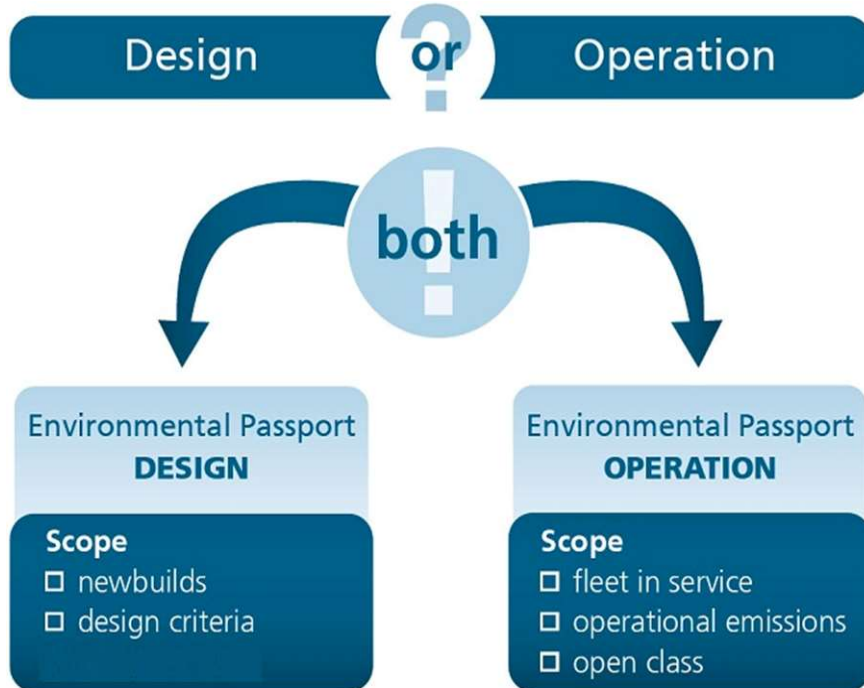


MEPC  
Marine Environment  
Protection Committee

6-10 Ekim 2008 tarihinde yapılan 58. oturumda, gemi kaynaklı sera gazlarının azaltılması ile ilgili enerji ölçütlerinin belirlenmesinin gerekliliği vurgulanmıştır.



International Convention  
for the Prevention of  
Pollution from Ships



Bu ölçütlerle ilgili olarak da; yeni gemiler için enerji verimliliği dizayn indeksi **(EEDI)**, mevcut gemiler için enerji verimliliği operasyon indeksi **(EEOI)** ve hem yeni inşa hem de mevcut gemiler için enerji verimliliği yönetim planı önerilerinde bulunulmuştur

## CO<sub>2</sub> Emisyonları - IMO MARPOL

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{cargo} \times D}$$

$$\text{Average EEOI} = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \times C_{Fj})}{\sum_i (m_{cargo,i} \times D_i)}$$

EEOI, işletmecilere geminin işletilmesi esnasındaki yakıt verimliliğini ölçme ve operasyonlar esnasında yakıt tüketimine etki eden faktörleri önceden tespit ederek önlem alınmasına imkân sağlamaktadır.



EEOI  
*means*  
Energy Efficiency  
Operational Indicator



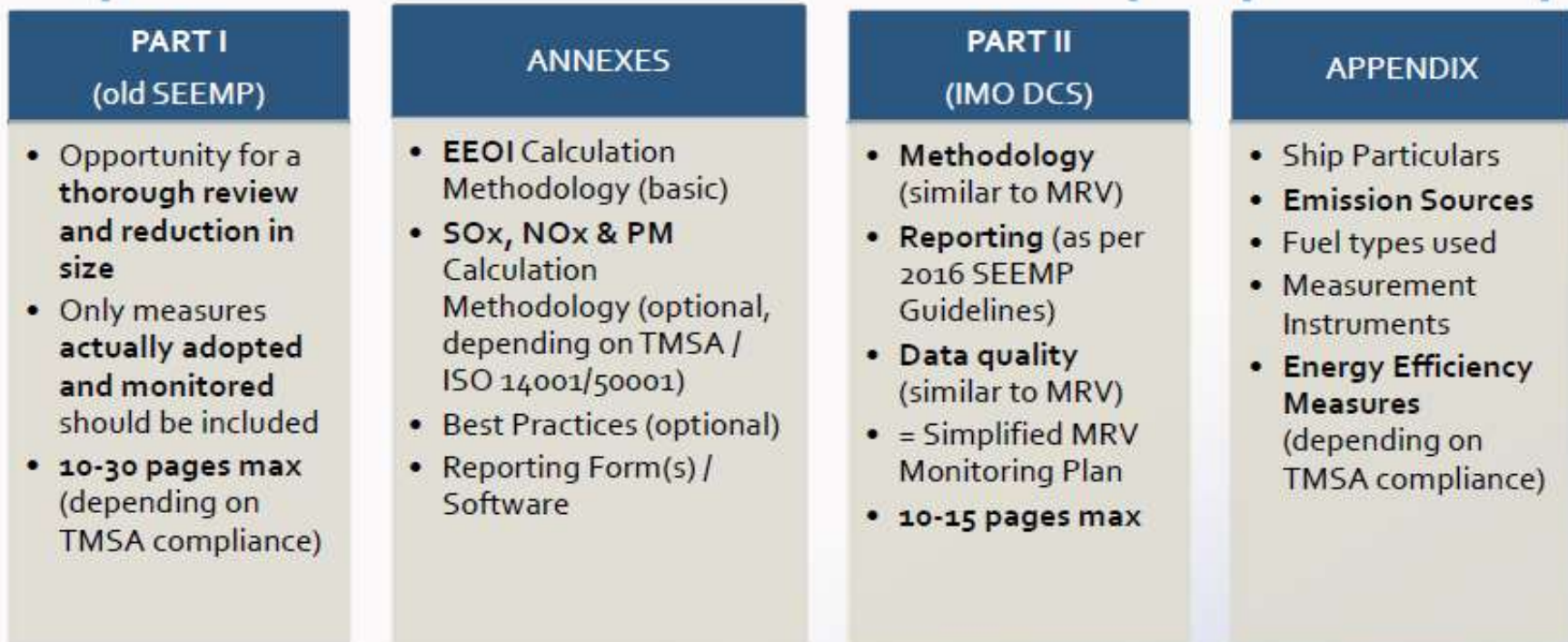
SEEMP enerji verimliliği arttırmak için şirket yönetimi tarafından hazırlanan iyileştirici tedbirleri içerir. Aynı zamanda şirket de bu planın uygulandığına dair ilgili Loyd Kuruluşu tarafından denetlenir. Kısaca SEEMP, operasyon indeksin düşürülmesinde izlenecek yol ve yöntemleri bir plan halinde barındıran bir yönetim sistemidir.

## CO<sub>2</sub> Emisyonları - IMO-DCS

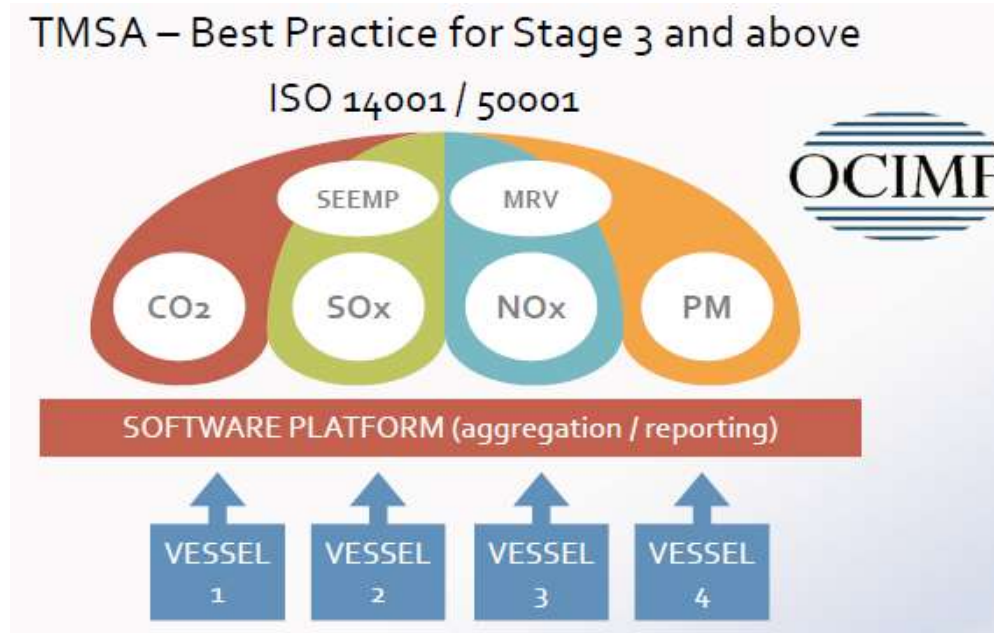
IMO DCS which enters into force on 1 March 2018, all ships above 5000 GT will have to report their annual CO<sub>2</sub> emissions from 1 January 2019 onwards. Owners will have to update their Ship Energy Efficiency Management Plans (SEEMP) and submit them to the RO before that date.

### SEEMP Structure

The SEEMP may contain 2 parts, Annexes (**Company-specific**) and a **ship-specific** Appendix:



## Emission Control



### **To control all the components;**

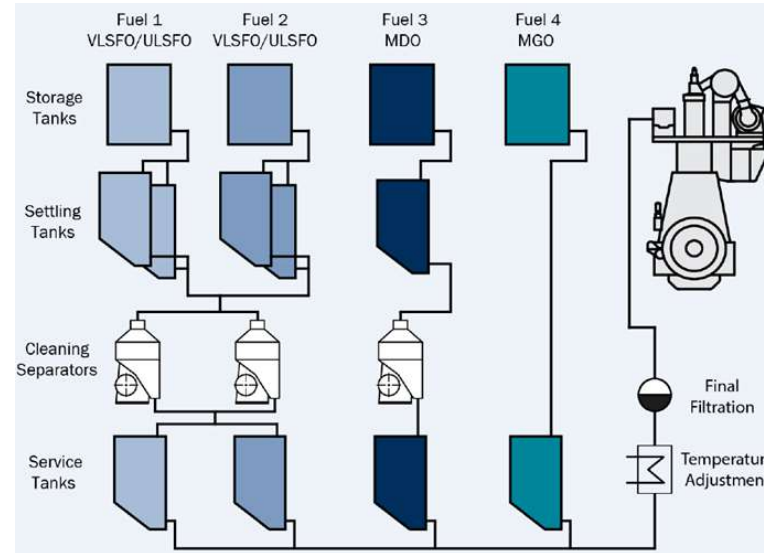
- SCR or EGR (NO<sub>x</sub>)
- Low Sulphur Fuel or Scrubber (SO<sub>x</sub>)
- High efficient diesel engine or auxiliary systems
- Alternative fuels (LNG, Methanol)

# Emisyonların azaltılması

## 2020 İTİBARIYLA GEMİLERDE KULLANILABİLECEK YAKIT TÜRLERİ

### UYGUN OPSİYONLAR

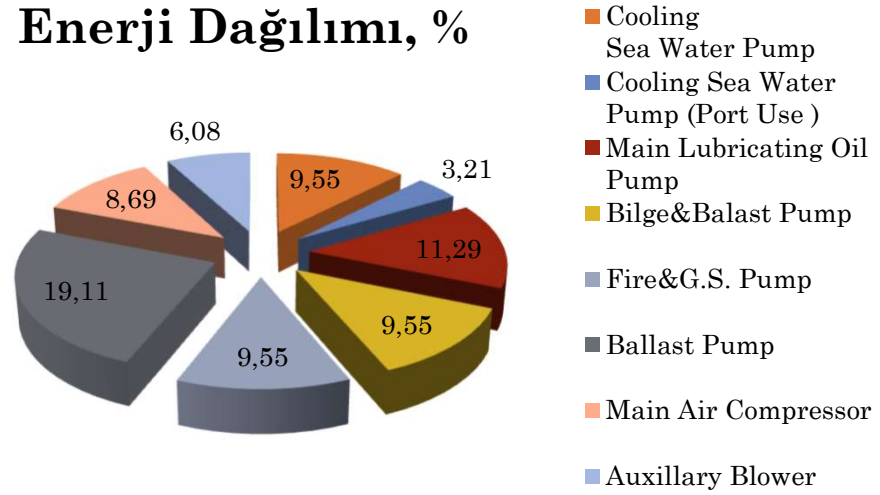
- a) Marine Gas Oil (Low Sulfur Distillate Fuel)
- b) 0.10% Heavy Fuel Oil (ECA Fuel)
- c) 0.50% Heavy Fuel Oil (Global Fuel) (**Karışım olabilir, spesifikasyonlar bilinmiyor**)
- d) Exhaust Gas Cleaning System (EGCS) with Heavy Fuel Oil
- e) LNG
- f) LPG, Etanol, Metanol, Biyodizel, Güneş enerjisi, Yakıt Hücresi vb.



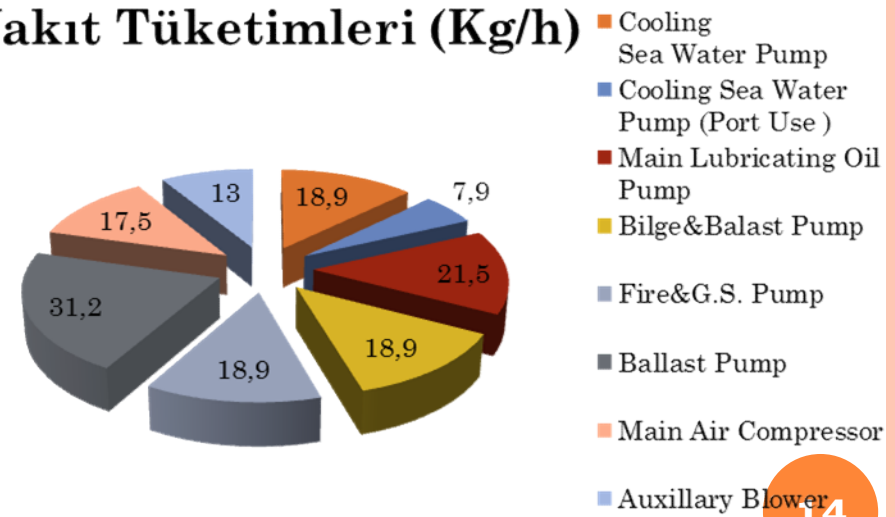
# Enerji Tasarruf Potansiyelleri, Pompalar

ANA TÜKETİCİLER	Pay	Yakıt	Maliyet
	%	kg/h	USD/h
Cooling SW Pump	9,55	18,9	17,67
Cooling SW Pump (Port Use)	3,21	7,9	6,88
Main LO Pump	11,29	21,5	20,11
Bilge & Ballast Pump	9,55	18,9	17,67
Fire & G.S. Pump	9,55	18,9	17,67
Ballast Pump	19,11	31,2	29,23
Main Air Compressor	8,69	17,5	16,37
Auxiliary Blower	6,08	13	12,16

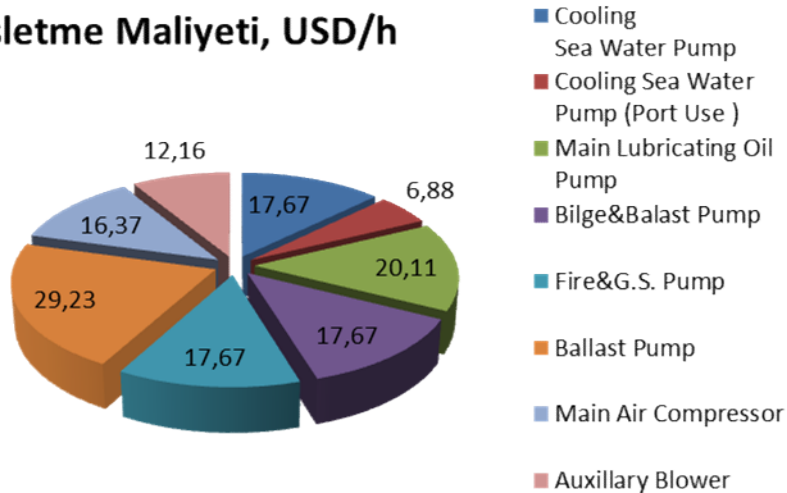
## Enerji Dağılımı, %



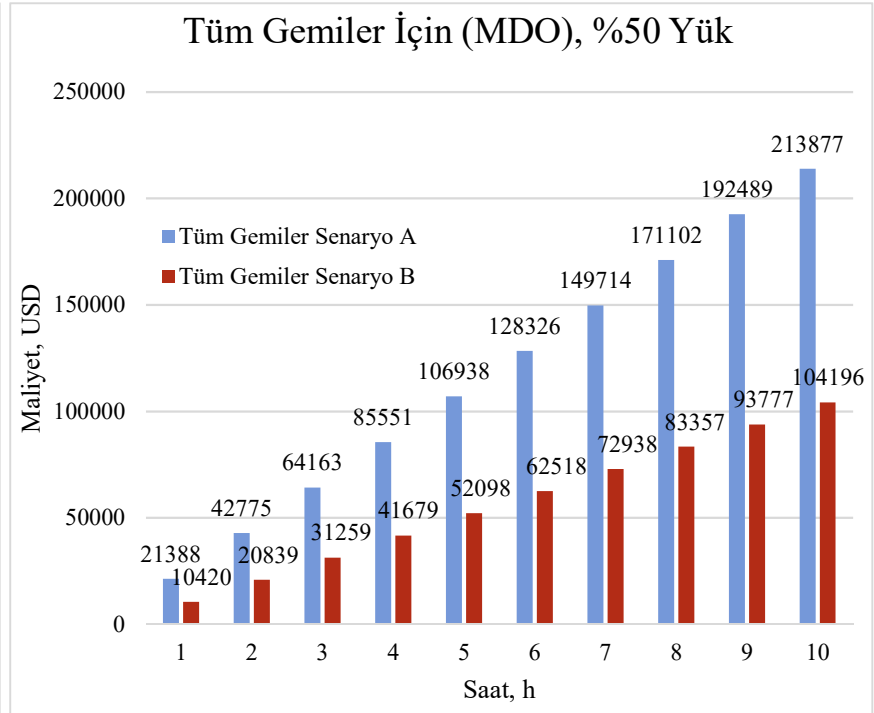
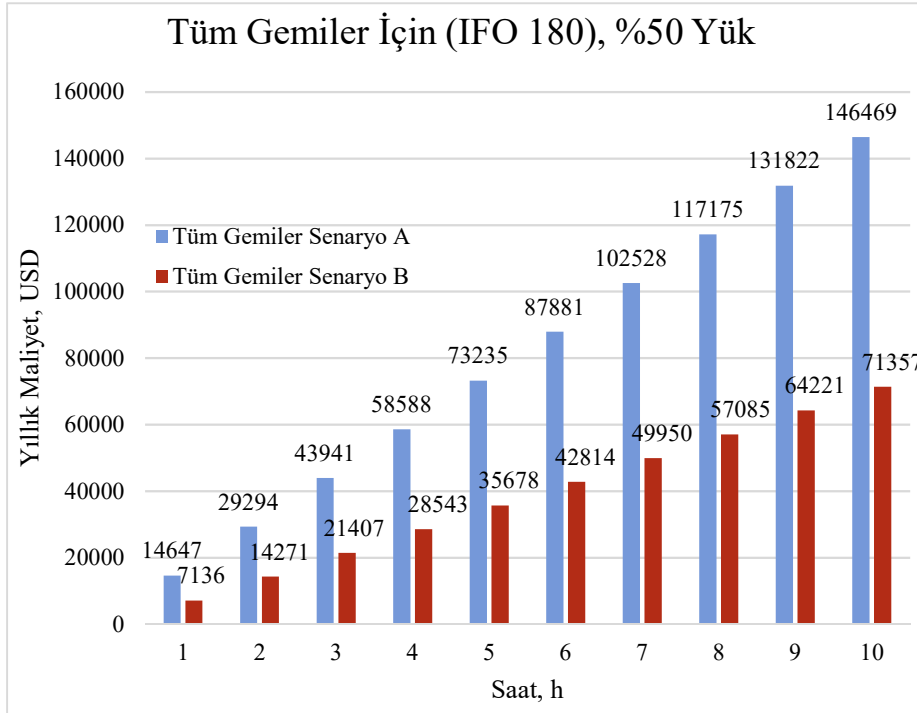
## Yakıt Tüketimleri (Kg/h)



## İşletme Maliyeti, USD/h

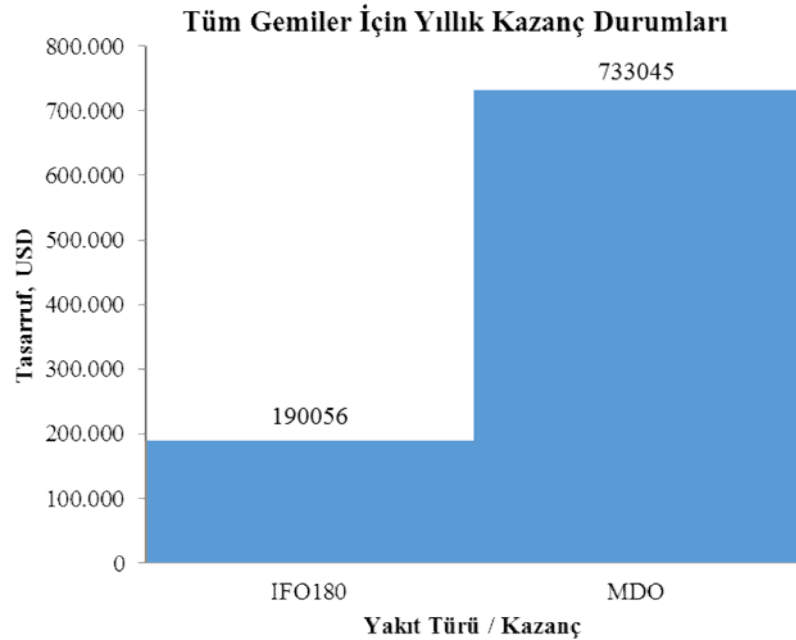
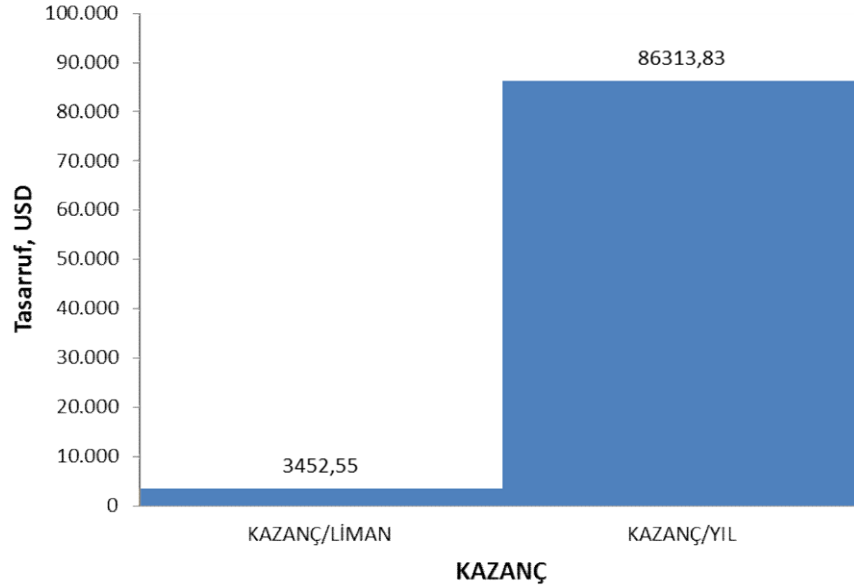


# Enerji Tasarruf Potansiyelleri, Manevra



Senaryo A' da 4 adet baş ve kıç ırgat motorlarının aralıklı çalışmaları dikkate alınarak tek bir ırgat motorunun sürekli çalıştığı kabulü yapılmıştır. Ayrıca demir ırgat motorunun devrede olduğu düşünülmüştür. Senaryo B de ise ırgat motorları dikkate alınmamıştır.

# Enerji Tasarruf Potansiyelleri, Liman Elektriği

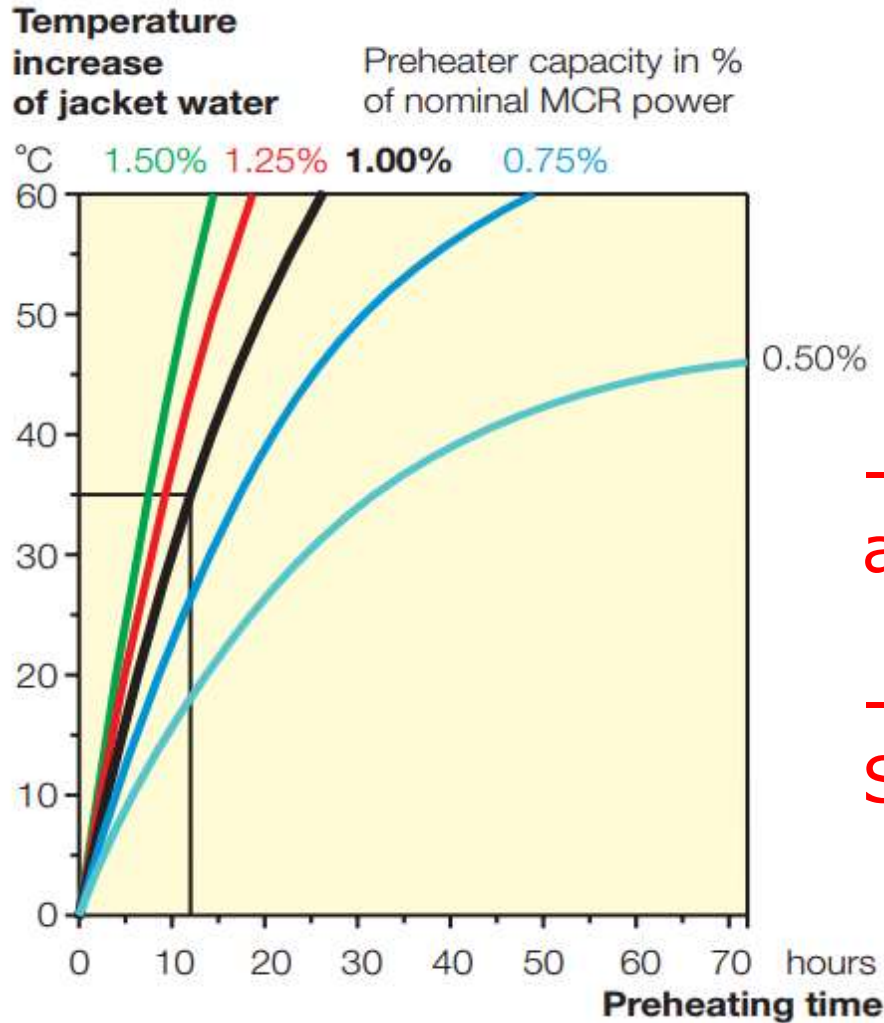


AKTİF ENERJİ				
	TZ:TEK ZAMANLI	GZ:GÜNDÜZ	P:PUANT	G:GECE
TL/kWh	0,2473	0,245074	0,387475	0,118536
USD /kWh	0,115	0,114	0,180	0,055
USD,satış kuru	2,15			
	M/V ANADOLU	AÇIKLAMA		
Güç	35	kW		
Özgül Yakıt Sarfıyatı	0,371	kg/kWh		
Yakıt sarf	13,0	kg/h		
Yakıt Sınıfı	MDO	IF380,IF180,MDO,MGO yazılacak		
Yakıt maliyeti	0,936	USD/kg		
Çalışma saati	1	Saat/Yıl		
Liman Maliyet	12,16	USD/liman		
Yıllık Liman süresi,	3000	Saat/Yıl		
Yıllık maliyet	36485,51	USD/Yıl		
ELEKTRİK MALİYETİ				
TARİFE	TZ	TZ,GZ,P,G veya R		
Liman Elektrik Fiyatı	0,12	USD/kWh		
Liman Maliyeti	4,03	USD/liman		
Yıllık Maliyet	12077,44	USD/Yıl		
TASARRUF POTANSİYELİ				
KAZANÇ/LİMAN	8,14	USD/LİMAN		
KAZANÇ/YIL	24408,07	USD/YIL		



## Enerji Tasarruf Potansiyelleri, M/E Ön Isıtma

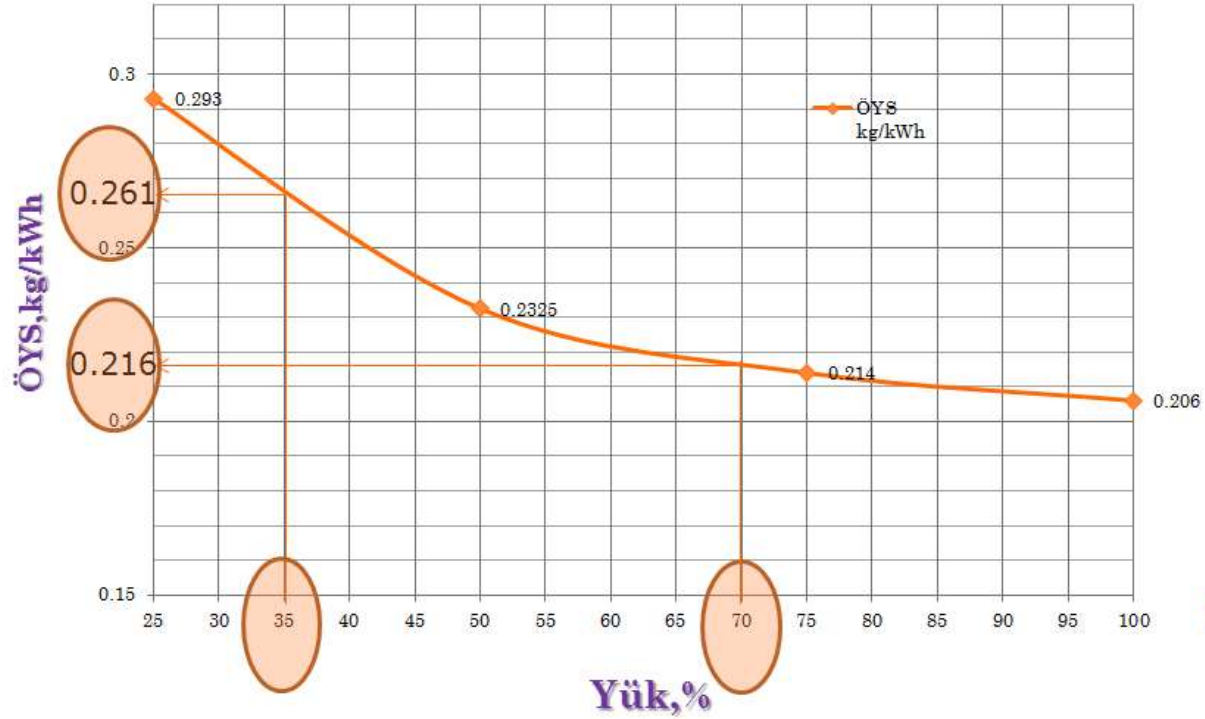
**YANLIŞ UYGULAMA:** Ön ısıtma sürekli devrede ve çok daha yüksek sıcaklıkta(75-80 °C)!..



-Ön ısıtma süresi 2 kat artıyor!

-Yüksek Kazan Yakıt Sarfiyatı!

## Enerji Tasarruf Potansiyelleri, Düşük yüklü D/G kullanımı



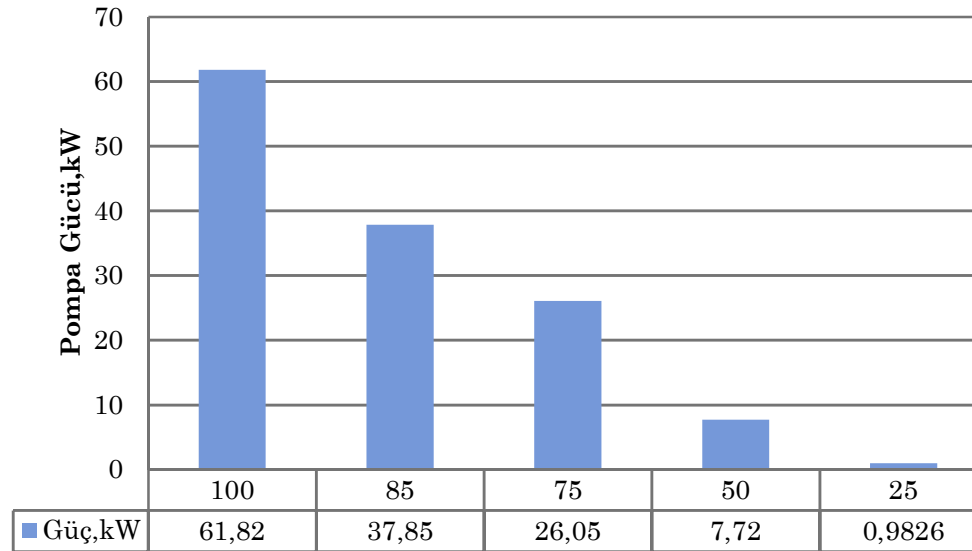
Fazla Yakıt sarfiyatı :302 kg/gün  
Yıllık Fazla Yakıt Sarfı(250 gün seyir) :75.500 kg/YIL

Günlük kayıp :0.72\$/kg\*302 kg/gün=217\$/gün  
Yıllık Kayıp :54.360 \$/YIL  
Filo(14 gemi) :761.040 \$/YIL

## Enerji Tasarruf Potansiyelleri, Değişken devirli pompa

M/E Yük (%)	kW	N <sub>B</sub> (d/d)	V (m <sup>3</sup> /h)	H <sub>B</sub> (m)	p <sub>B</sub> (bar)	P <sub>B</sub> kW	Tasarruf (%)
100	2500	1750	143.6	30.00	2.94	61.82	0
85	2125	1486	122.0	21.60	2.12	37.85	38.77
75	1875	1312	107.6	16.80	1.65	26.05	57.86
50	1250	875	71.7	7.50	0.73	7.72	87.51
25	625	440	35.9	1.90	0.18	0.98	98.41

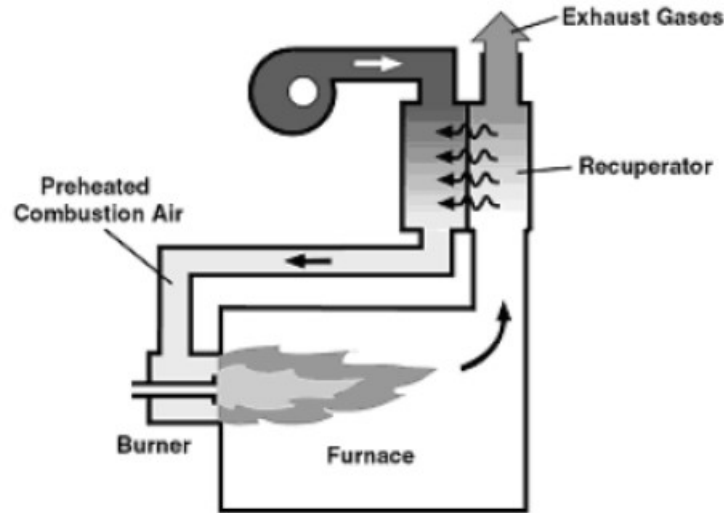
Pompanın M/E Yüküne Bağlı Güç İhtiyacı



## Enerji Tasarruf Potansiyelleri, Kazanlar

Liman ve demirde 1000 kg IF380 yakıt kullanan ve verimi %60 olan bir kazanın giriş havası bir ısıtıcı yardımıyla 25 °C den 120 °C ye çıkarılmak isteniyor. Kazanın toplam çalışma süresi 5000 saat olup yakıtın ısıl değeri 41.900 kJ/kg dir. Yakıt maliyeti 0.72 \$/kg olduğuna göre kazan havasının ısıtılmasıyla sağlanacak yıllık tasarrufu hesaplayınız.

**ÇÖZÜM:**



$$\text{Tasarruf} = \frac{1.745 \times 10^6 \times 5000 \text{ saat}}{41900} \left[ \frac{1}{0,60} - \frac{1}{0,634} \right] = 18.620,75 \text{ kg/YIL}$$

Parasal Kazanç = 13.406 \$/YIL/Gemi  
Filonun yıllık tasarrufu = 187.689 \$/YIL/Filo

# Enerji Tasarruf Potansiyelleri, Hava kompresörleri

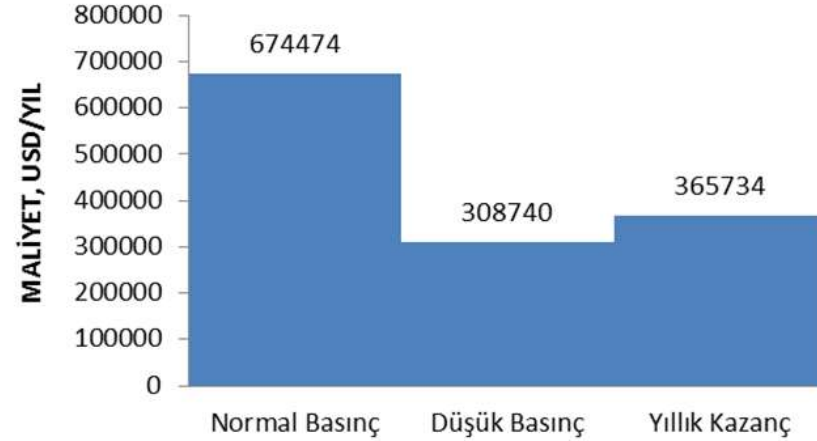
## KOMPRESÖR BASINCINI DÜŞÜRME

Px	Dolma
bar	süresi,s
0	0
5	230
10	490
15	820
20	1090
25	1380
29	1740

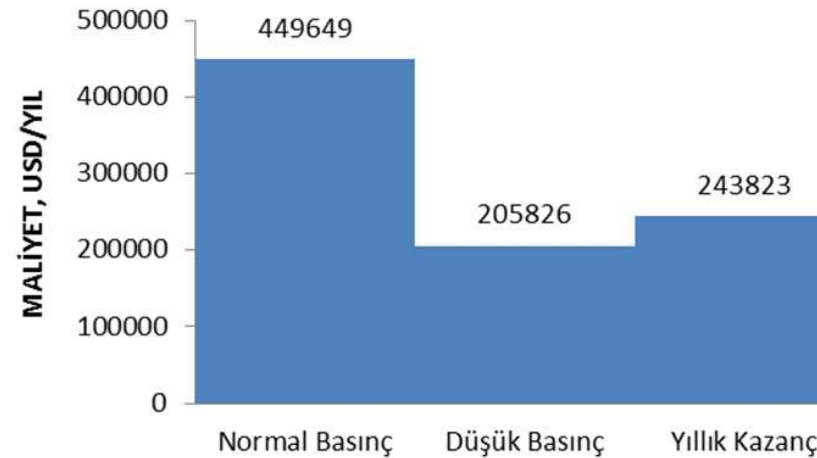
### Farklı Basınlarda çalışan kompresörün kazanç potansiyeli

Düşürülecek Kompresör basınç $P_{x,1}$	15	bar
Tüp dolma süresi $t_{x,1}$	783.6	s
Normal Doldurma Basıncı, $P_{x,29}$	29	bar
Tüp dolma süresi $t_{x,2}$	1711.8	s
Düşürülen Kompresör Gücü $W_{x,1}$	33.3	kW
Normal halde Kompresör Gücü $W_{x,2}$	46.2	kW
Normal halde toplam çalışma saati	3000	h
Düşürülen basınçtaki yıllık çalışma süresi	1373	h
Normal Çalışma Yıllık Maliyet	48176.72	USD/Yıl
İndirilen Basınç Yıllık Maliyet	22052.84	USD/Yıl
Yıllık Kazanç	26123.88	USD/Yıl

### 3000 h, 15 bar basınç için yıllık kazanç

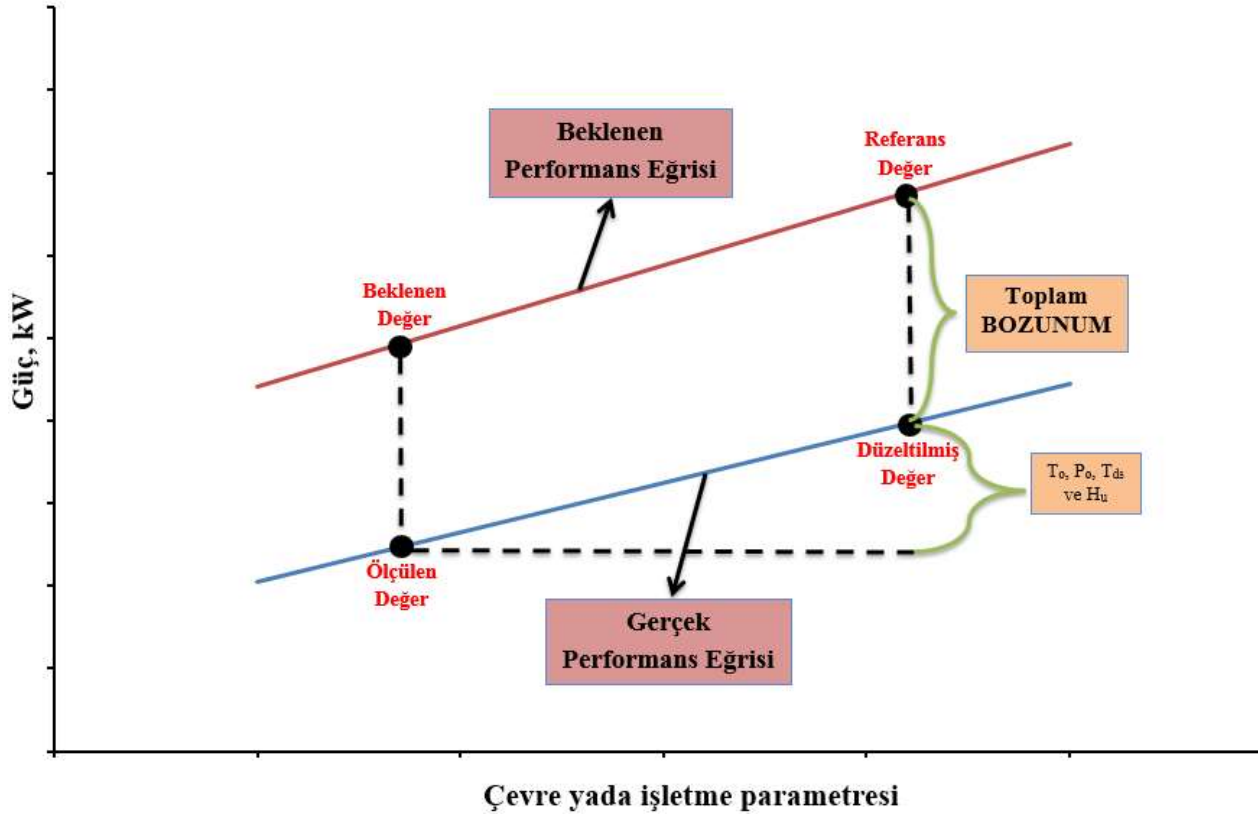


### 2000 h, 15 bar basınç için yıllık kazanç



- Hava kompresörleri devreye alındığında hava fanlarının devrede olduğuna dikkat edilmelidir.

# Enerji Tasarruf Potansiyelleri, M/E ve D/G

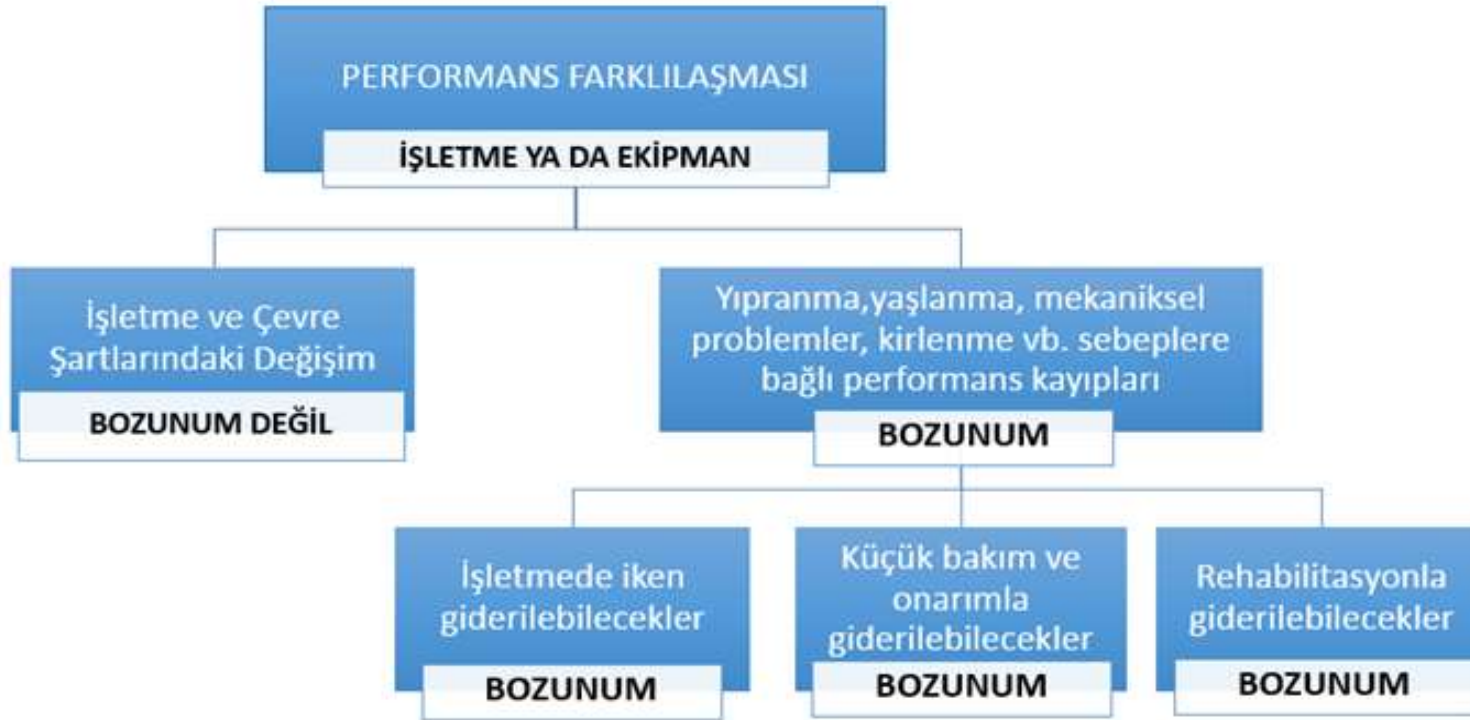


$$Performans_{referans} = Performans_{beklenen} \left[ \prod_{\text{Çarpan Faktörü}} (P_{ortam}, T_{ortam}, T_{deniz suyu}, H_u) \right]$$

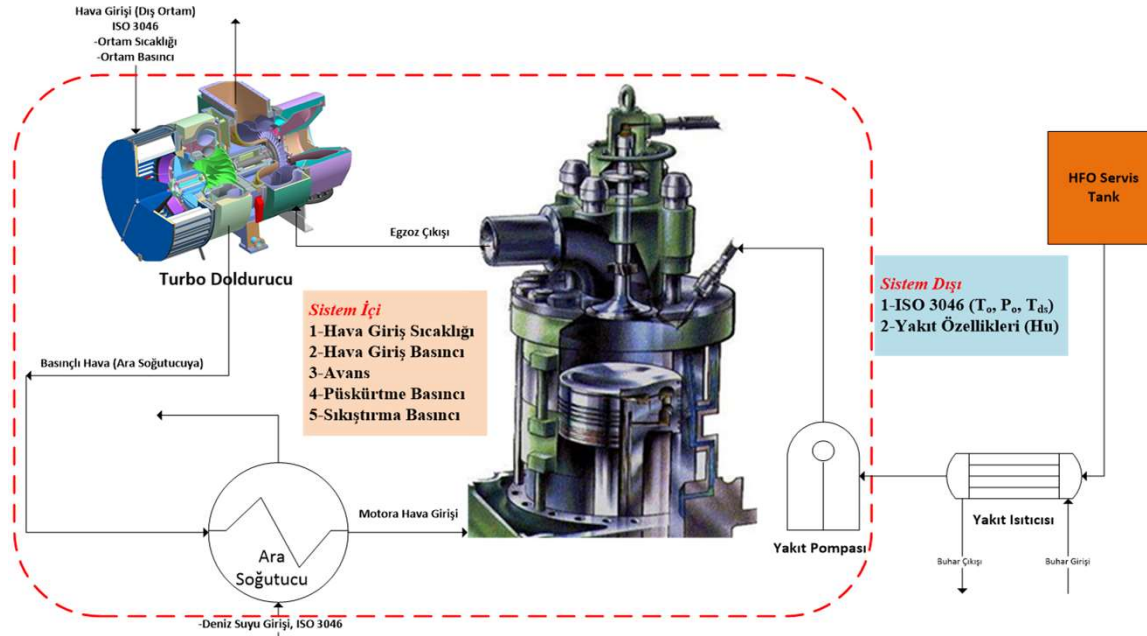
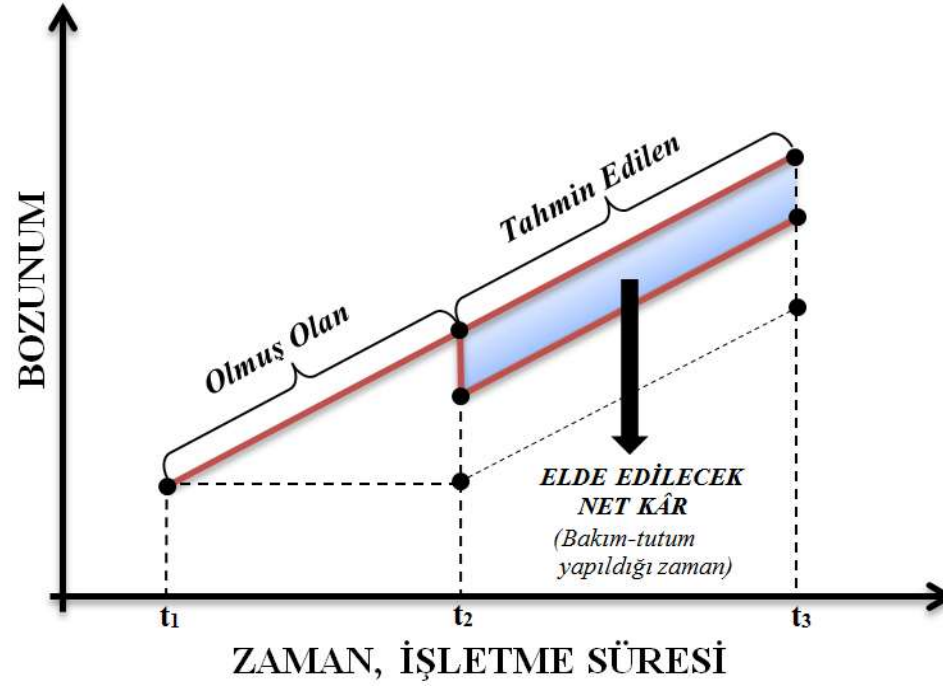
$$Performans_{düzeltilmiş} = Performans_{ölçülen} \left[ \prod_{\text{Çarpan Faktörü}} (P_{ortam}, T_{ortam}, T_{deniz suyu}, H_u) \right]$$

$$Toplam Bozunum = Performans_{referans} - Performans_{düzeltilmiş}$$

# Enerji Tasarruf Potansiyelleri, M/E ve D/G



# Enerji Tasarruf Potansiyelleri, M/E ve D/G



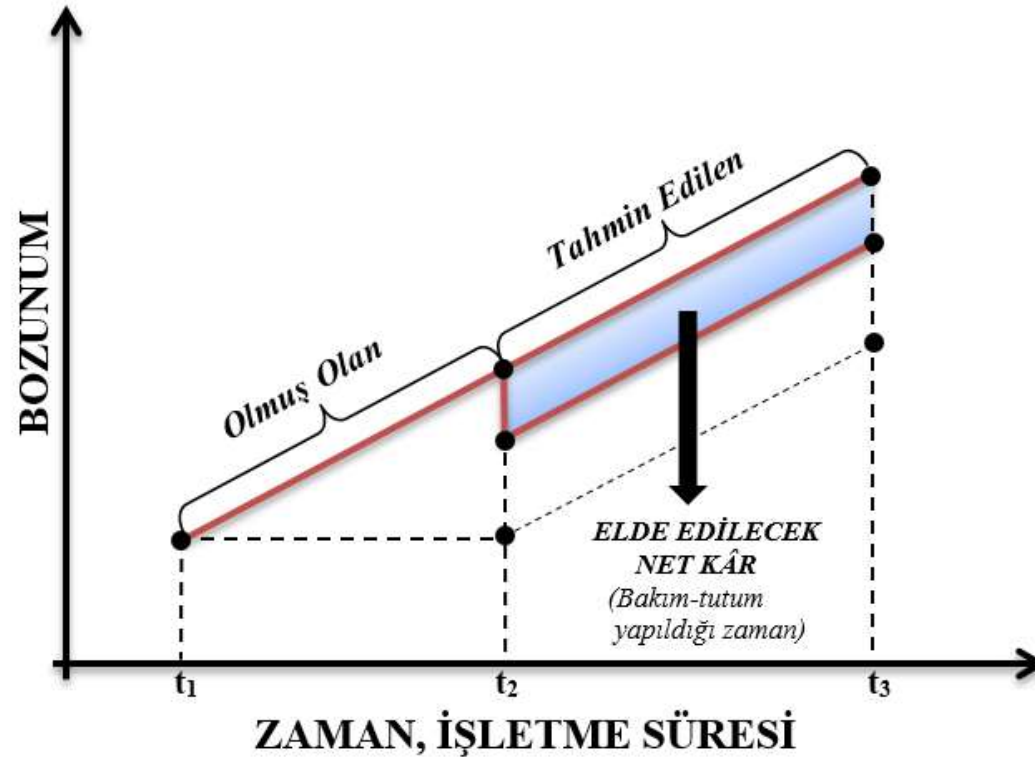


# Enerji Tasarruf Potansiyelleri, M/E ve D/G

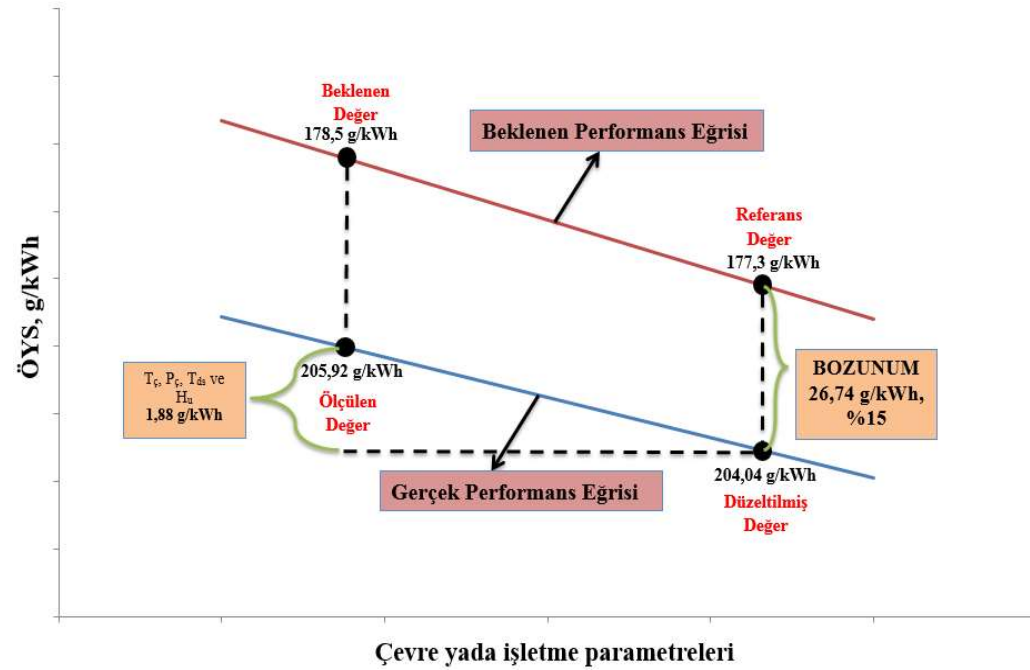
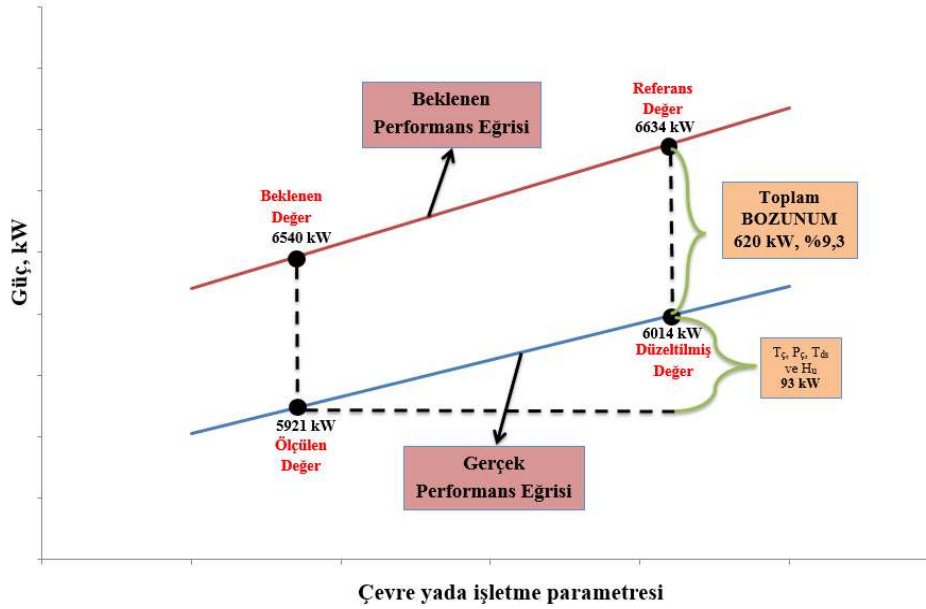
$I = \text{masraflar}$

*Parça Masrafları*  
*İşçilik Masrafları*  
*Navlun Gelir Kaybı*  
*Bakım için durmak gerekiyorsa maliyet*

- 1- Bozunumu geri kazanmak için bakım ve masraf yapalım mı?
- 2- Bakım süresi optimum ne kadar olmalı?



# Enerji Tasarruf Potansiyelleri, M/E ve D/G

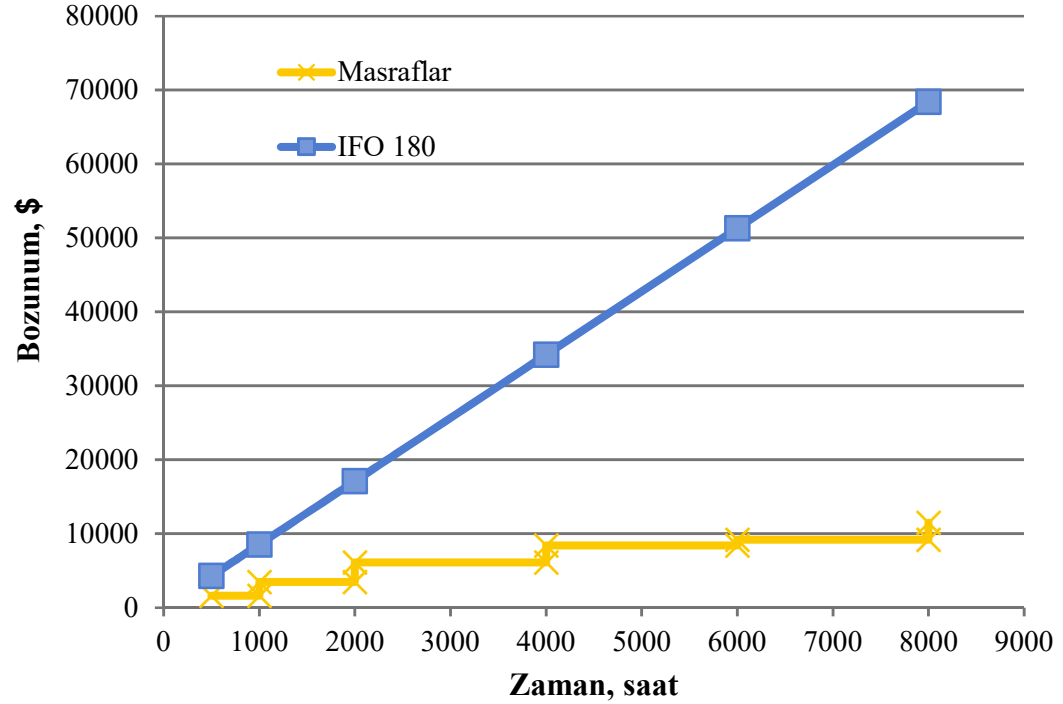


## Enerji Tasarruf Potansiyelleri, M/E ve D/G

Parametreler	Seyir Tecrübesi-Ölçülen	Bozunum (kW)	Bozunum (g/kWh)	Yakıt Tüketimi, kg/h	Parasal Değer, USD/500h	Parasal Değer, USD/yıl
Skav. Sıcaklığı, °C	40-50	-141	+2.49	14.8	2.500	40.000
Skav. Basıncı, bar	2.8-2.7	-88	+2.32	13.8	2.100	33.600
Avans, CA	(-3.5) – (-1.5)	-81	+3.76	22.3	3.400	54.400
Sıkıştırma Basıncı, bar	98-89	-129	+7.72	45.7	6.900	110.000
Enjektör Basıncı, bar	300-290	-87	+4.85	28.7	4.300	68.800
Diğerleri (Yıpranma Yaşlanma, vb)		-94	+5,60	33.2	5.000	80.000
<b>TOPLAM</b>		<b>-620</b>	<b>+26.74</b>	<b>158.2</b>	<b>24.200</b>	<b>386.800</b>

# Enerji Tasarruf Potansiyelleri, M/E ve D/G

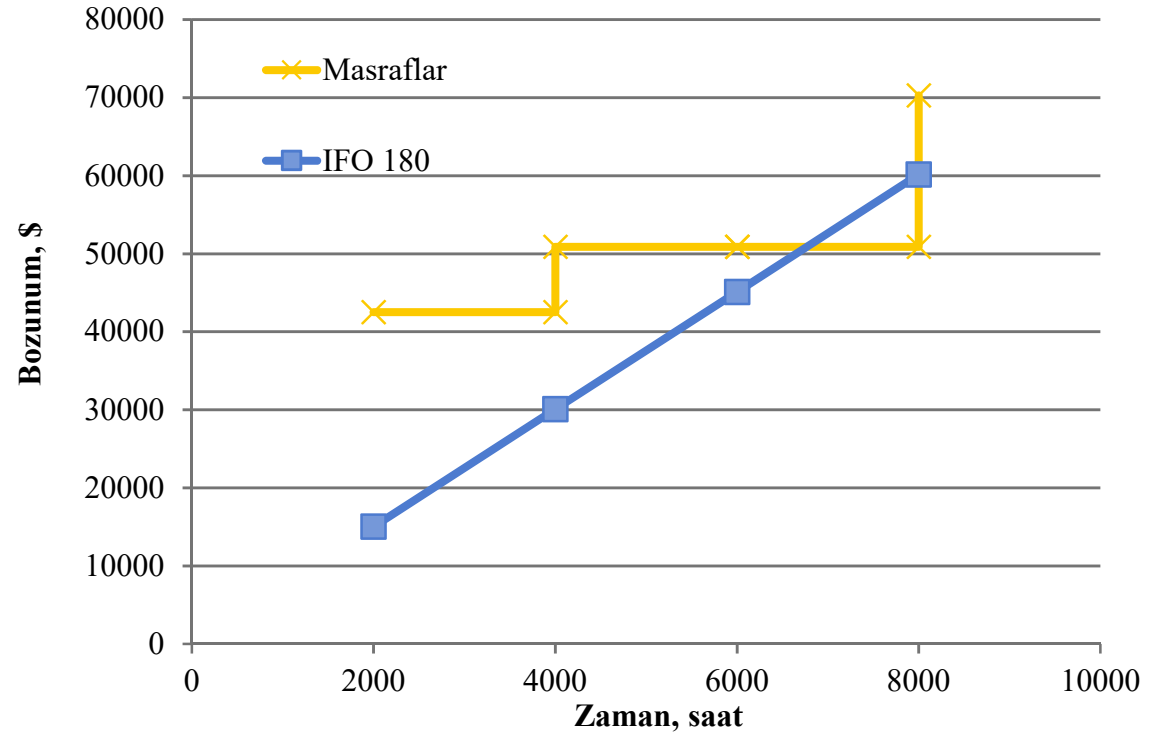
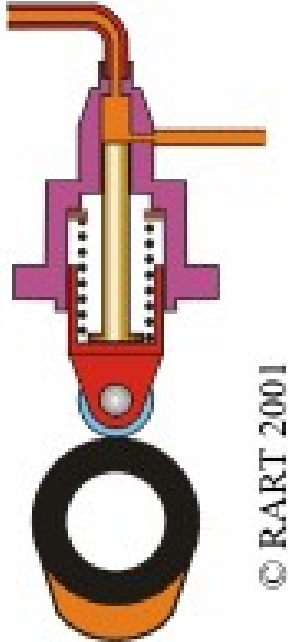
## Ekonomik Bozunum (Skavenç Hava Sıcaklığı)



Masraflar = I	Miktar	Fiyat
1- Kuler hava tarafı kirli	1	500 \$/2000h
2- Kuler deniz suyu tarafı kirli	1	200 \$/2000h
3- Skavenç temizliği	1	100 \$/2000h
4- Aşınma Ringi (Deniz Suyu pompası)	1	1500 \$/4000h
5- İmpeller (Deniz Suyu pompası)	1	3000 \$/12000h

# Enerji Tasarruf Potansiyelleri, M/E ve D/G

## Ekonomik Bozunum (Avans)



Masraflar = I	Miktar	Fiyat
1- Plunger barrel deęiřimi	6	18000 \$/12000h
2- Suction valve	6	2100 \$/4000h
3- Delivery valve	6	2100 \$/4000h
4- Enjektör atomizer	12	9000 \$/8000h
5- Enjektör yay, pul vs.	12	4200 \$/4000h
6- Yakıt Pompası O-ring komple	6	2100 \$/12000h
7- VIT Actuator bakımı	6	3000 \$/12000h
8- Booster pompa, Viskozimetre ve emn. V/V	1	2000 \$/8000h

**Sorular?  
Yorumlar?**

