

**Technical Report (RP)****Gemilerde Uygun Olmayan Yakıt ve Yetersiz Silindir Yağlama Yağının Ağır Devirli Gemi Dizel Motorlarına Etkileri Üzerine Bir Çalışma**

Murat YAPICI

Piri Reis Üniversitesi, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği; uppermurat@hotmail.com

**Öz**

**Amaç:** Çalışmanın amacı; gemilerde kullanılan yakıtların uygunluğu açısından önemli noktaları irdelemek, ayrıca ana makine olarak kullanılan iki zamanlı ağır devirli gemi dizel motorlarında silindir yağlama yağına olan etkileri incelemektir.

**Yöntem:** Çalışmada 2007-2015 yılları arasındaki gemi kayıtları incelenmiş ve tablo 3'de bulunan veriler elde edilmiştir. Geminin 39000 saatlik ana makine piston ve silindir bakım saatleri tablosu oluşturulmuştur.

**Bulgular:** Uygun yakıt ve silindir yağlama yağı ile ilgili bakım sonrası uygun yağ miktarının tespiti yapılmıştır. Değişken kükürt oranlarına göre ayarlanabilen silindir yağlayıcıları (cylinder oil lubricator) için kükürt oranı ve yüke göre veriler girilerek Excel tabanlı yağ miktarı hesaplama uygulaması modellenmiştir.

**Sonuç:** Yapılan çalışma sayesinde başka tonaj ve tipteki makinelere aynı model uygulanarak makine bakım geçmişi çıkarılarak eksiklikler saptanabilir veya hazırlıklar yapılabilir. Örneğin 15000-19999 çalışma saati aralığında 16 kez piston bakımı yapıldığına göre layner değişiminden sonraki ikinci 20000 saatlik dilimde 35000-40000 saatlik dilimde piston ve layner değişimlerinin olacağı önceden tespit edilerek gerekli yedek malzeme erken tedarik edilerek zamandan kazanılmış olur. Bu sayede daha büyük arızaların önü kesilmiş olur. Şirket ve gemi arasında planlı bakım sistemi daha verimli hale getirilmiş olur.

Bu kapsamda yapılan çalışma ile literatüre gerçek bir uygulamadan yola çıkılarak ilerideki çalışmalar için başlangıç olması hedeflenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Ultra Düşük Kükürtlü Yakıt, Yakıt Emisyonu, MARPOL Ek VI, Gemi Yakıtları.

**A Study on Effects of Unsuitable Fuel and Insufficient Cylinder Lubricating Oil on Low Speed Marine Diesel Engine****Abstract**

**Objective:** The aim of this study is to explicate the significant issues with regards to the suitability of the fuel consumed on board the ships, and in the meantime, to review its effects on two stroke slow speed diesel engines which are used as main engines on board.

**Method:** Shipboard records between 2007-2015 are reviewed through the study and data on Table 3 are gathered. 39000 hours of main engine piston and cylinder maintenance schedule is formed.

**Findings:** Post maintenance proper amount of lubricating oil is determined regarding the suitable fuel and lubricating oil. Excel based lub oil calculation sheet is modelled by the input

of load&sulfur content based data for the cylinder lubricating oils which are adjustable in accordance with the variable sulfur content.

**Conclusion:** Same model can be applied to the engines with different type and tonnage and deficiencies can be stated and preparations can be made by extracting the engine maintenance history. For example, considering that piston maintenance was carried out 16 times through the 15000-19999 hours period, time can be saved by supplying the required spare parts in advance by anticipating the piston and liner replacements at the 35000-40000 hours interval of the second 20000 hours period after the first liner replacement. Major breakdowns can be prevented this way. Planned maintenance between the office and the vessel can become more efficiently. Study carried out in this context by evolving from real life applications, is aimed to be an inception for the future literature studies.

**Keywords:** Ultra Low Sulphur Fuels, Fuel Emissions, MARPOL Annex VI, Marine Fuels.

## 1. Giriş

Günümüzde enerji kullanımı artan nüfus ve ticaret hacmi göz önüne alındığında artmaktadır. Bu talebi karşılamının yanında çevreyi ve doğal dengeyi korumak amaçlanmaktadır. Bu amaca en iyi hizmet eden taşımacılık türü deniz taşımacılığıdır. Son yıllarda küresel ısınmanın artışına önlem olarak uygulamaya geçirilen kurallar ile atmosfere yayılan emisyonların azaltılması hedeflenmiştir. Bu nedenle gemilerde kullanılan yakıtlar hem günün ekonomik koşullarına cevap verirken hem emisyonlar açısından uygun olmalıdır.

Emisyonların indirgenmesine yönelik gemilerin kullandıkları yakıt kükürt içerikleri 1 Ocak 2015'ten itibaren özel alanlar olarak bilinen Emisyon Kontrol Alanlarında (ECA) % 0.1 m/mm'a indirilmiştir. Bu tarihten itibaren özel alanlarda ultra düşük kükürt oranlı fuel oil kullanılmaktadır [10].

Gemilerde ultra düşük kükürt oranlı yakıtların kullanımı bir takım teknik önlemleri almayı gerektirmektedir. Özellikle kullanılan yakıtın uygunluğu ve iki zamanlı makinelerin silindir yağlama yağı ayarlarının doğruluğu teknik işletmecilik anlamında makine bakım sürelerini uzatacak, maliyetleri azaltacaktır.

Günümüzde yapılan çalışmalar, emisyon değerlerini azaltmak, alternatif yakıtların ekonomik ve çevresel faktörlerini ele almaktadır. Bu bakımdan çalışmada hava kirliliği ve ilgili düzenlemeler ile teknik işletmeciliğin etkileşimi incelenerek literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir.

## 2. Araştırmanın Amacı

Çalışmanın amacı; gemilerde kullanılan yakıtların uygunluğu açısından kullanım, depolama, transferi gibi önemli noktaları irdelemek ayrıca ana makine olarak kullanılan iki zamanlı ağır devirli gemi dizel motorlarında silindir yağlama yağına olan etkileri incelemektir. Bu sayede bakım tutum açısından önceden önlem alınabilme ve planlı bir takip oluşturulacaktır. Bu sayede bakım tutum planlaması önceden hazırlanarak hem maliyet hem de günümüz şartlarında yoğun liman kalış sürelerine ilişkin uygun bakım hazırlıkları evelden yapılacaktır. Ayrıca kullanılan yakıtın özelliklerine ilişkin tedbirler alınarak oluşabilecek hasarlardan kaçınılmış olunacaktır.

## 3. Metodoloji

Çalışmada gemilerde kullanılan yakıtların standartları, içerik limitleri ile uygunsuz yakıtın, yakıt separatörü, yakıt filtreleri ve transfer pompalarına olan etkilerinin yanı sıra silindir yağlama yağına olan etkileri incelenmiştir.

Çalışma için üç adet aynı ana makine ve tonaja sahip gemilerden biri incelenmiştir. Geminin seyre başladığı ilk yıl olan 2007 yılından 2015 yılına kadar olan tüm ana makine bakım kayıtları bulunmuş, bu veriler işlenerek benzer özelliklere sahip gemilerde de uygulanabilecek bir bakım tutum takip önlemi oluşturulmaya çalışılmıştır.

Bakım tutum işlemi sonrası uygun silindir yağlama yağının kademeli olarak

düşürülmesi ve uygun yağ miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

#### 4. Örneklem

Çalışmada kullanılan 2007-2015 yılları arasındaki gemi kayıtları incelenmiş Tablo 3'de bulunan veriler elde edilmiştir. Geminin 39000 saatlik ana makine piston ve silindir bakım saatleri tablosu oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan veriler istatistiksel olarak SPSS programı kullanılarak incelenmiştir.

#### 5. Analiz

Uygun yakıt ve silindir yağlama yağı ile ilgili bakım sonrası uygun yağ miktarının tespiti yapılmıştır. Değişken kükürt oranlarına göre ayarlanabilen silindir yağlayıcıları (cylinder oil lubricator) için kükürt oranı ve yüke göre veriler girilerek Excel tabanlı yağ miktarı hesaplama uygulaması modellenmiştir.

#### 6. Bulgular

Günümüz gemi dizel motorlarında kullanılan başlıca fosil yakıtlar fuel oil, dizel oil ve LNG'dir. Son yıllarda emisyonları düşürmek amacıyla dual Fuel yakıt veya Try Fuel kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Sıvı yakıtlar;

- Benzon (benzen)
- Alkol,
- Aseton,
- Kerosen
- Eter,
- Benzin,
- Fuel Oil

-Damıtma ürünü yakıtlardır [1].

Günümüz gemi dizel motorlarında kullanılan sıvı yakıtlar ham petrolün damıtılmasıyla elde edilmektedir. Ham petrolün yapısı incelendiğinde parafin ve naftan içerikli olduğu görülmektedir.

Parafinler yüksek kaynama sıcaklığında bulunan yakıtlarda mum oluşumu şeklinde

**Tablo 1.** ISO 8217 Standartları [2]

| Karakteristik   | Birim               | Limit        | Kategori     |              |              |              | Test Metot Referansı   |
|---|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
|   |                     |              | DMX          | DMA          | DMZ          | DMB          |                        |
| Density at 150C   | kg/m <sup>3</sup>   | max.         | -            | 890          | 890          | 900          | ISO 3675<br>ISO 12185  |
| Viscosity at 400C,  | mm <sup>2</sup> /s* | min.<br>max. | 1.40<br>5.50 | 2.00<br>6.00 | 3.00<br>6.00 | 2.00<br>11.0 | ISO 3104<br>ISO 3104   |
| Cetane number   | -                   | min.         | 45           | 40           | 40           | 35           | ISO 4264               |
| Flash point,  | °C                  | min.<br>max. | -<br>43      | 60<br>-      | 60<br>-      | 60<br>-      | ISO 271 9              |
| Pour point (upper,)<br>-Winter quality<br>-Summer quality               | °C                  | max.<br>Max. | -6<br>0      | -6<br>0      | -6<br>0      | 0<br>6       | ISO 3016<br>ISO 3016   |
| Sulphur,  | % (m/m)             | max          | 1.0          | 1.5          | 1.5          | 2.0          | ISO 8754<br>ISO 14596  |
| Hyrogen Sulfide   | mg/kg               | max.         | 2.00         | 2.00         | 2.00         | 2.00         | IP 570                 |
| Acid Number   | Mg KOH/g            | max.         | 0.5          | 0.5          | 0.5          | 0.5          | ASTM D664              |
| Total existent sediment,  | % (m/m)             | max.         | -            | -            | -            | 0.10         | ISO 10307-1            |
| Stability   | g/m <sup>3</sup>    | max.         | 25           | 25           | 25           | 25           | ISO 12205              |
| Carbon residue on %10<br>(V/V) distillation bottoms,<br>Carbon residue, | % (m/m)<br>% (m/m)  | max.<br>max. | 0.30<br>-    | 0.30<br>-    | 0.30<br>-    | -<br>0.30    | ISO 10370<br>ISO 10370 |
| Cloud point,  | °C                  | max          | -16          | -            | -            | -            | ISO 3015               |
| Ash,  | % (m/m)             | max.         | 0.01         | 0.01         | 0.01         | 0.01         | ISO 6245               |
| Sediment  | % (m/m)             | max.         | -            | -            | -            | 0.10         | ISO 10307-1            |

./..

**Tablo 1.** ISO 8217 Standartları [2] (Cont')

| Karakteristik           | Birim   | Limit | Kategori |     |     |     | Test Metot Referansı |
|-------------------------|---------|-------|----------|-----|-----|-----|----------------------|
|                         |         |       | DMX      | DMA | DMZ | DMB |                      |
| Water,                  | % (v/v) | max.  | -        | -   |     | 0.3 | ISO 3733             |
| Vanadium,               | mg/kg   | max.  | -        | -   |     | -   | ISO 14597            |
| Aluminium plus silicon, | mg/kg   | max.  | -        | -   |     | -   | ISO 10478            |

\* $\text{mm}^2/\text{s} = \text{cSt}$

**DMX** : Pure Distillate marine oil.

**DMA** :Gas Oil.

**DMB** :Clean Diesel

**DMC** :Blended Diesel Oil

görülmektedir. Yüksek parafin içeren yakıtlar düşük özgül ağırlığa sahiptirler. Bu yakıtların setan sayıları yüksektir [4].

ISO (International Organization for Standardization) tarafından gemide

Ayrıca gemilerde yakıt içerisindeki uygunsuz partikülleri ayrıştıran purfier lerin sıklıkla temizlenmesine ve filtrelerin kirlenmesine neden olmaktadır. Şekil 1'de limitler dışında tedarik edilmiş bir



**Şekil 1.** Yoğun Katı Partikül İçeren Yakıtın Separatör Kirliliğine Etkisi

kullanılan yakıt ve yağ standartları belirlenmiştir. Bu standartlar ISO 8217 olarak bilinmektedir. Beş kez değişmiştir. Son olarak ISO 8217:2012 yürürlükte bulunmaktadır [2, 3].

Tablo 1'de ISO 8217 standartlarına göre gemilerde kullanılan yakıt standartları ve bulunması gereken limitler görülmektedir.

Bu limitlerde tedarik edilen yakıtlar gemi teçhizatlarının çalışması bakımından sorun teşkil etmemektedir. Ancak limitlerin üzerinde olan bir değer gemi dizel motorlarında ve kazanlarda kalıcı tahribatlara neden olmaktadır.

yakıtın purfierde oluşturduğu kirlenme görülmektedir.

Yakıt alım operasyonu esnasında alınan numunelerin laboratuvarlarda analizi sonrası yakıtın sıcaklığı ve separatör ayarlarının değişmesi gerekmektedir. Ancak numune analiz sonuçlarının Tablo'1 de verilen değerleri tutmaması durumunda ciddi zararlar doğabilmektedir.

Bu zararlar anlık kullanımda gerçekleşebileceği gibi uzun vadeli rutin makine bakım saatleri haricinde bakım gerektiren tahribatlara neden olabilmektedir.

Tablo 2’de ultra düşük kükürt içerikli fuel oil ve maksimum kükürt içerikli fuel oil’in günümüzde kullanılan değerleri verilmiştir. Ultra düşük kükürtlü yakıt uygun ısıtma ve depolama imkânına sahip olmalıdır. İkmali gerçekleştirilecek düşük kükürt içerikli yakıtın transfer edileceği tankın en son kullanılan yakıttan arındırıldığı, temizliğinin yapıldığı, tamamen boş olduğundan emin olunmalıdır. Ultra düşük kükürt içerikli yakıtlar yüksek parafin içerikli olduğundan başka yakıtla birlikte uyumu zordur.

**Tablo 2.** Ultra Düşük Kükürt İçerikli Fuel Oil Standartları Karşılaştırması [2]

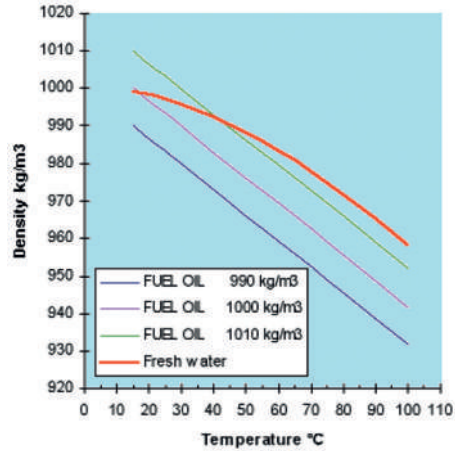
| Karakteristik                      | IFO-180 RMD80LS | IFO-180 RME180 |
|------------------------------------|-----------------|----------------|
| Density at 15°C kg/cm <sup>3</sup> | Max. 980        | Max. 991       |
| Viscosity at 50°C cSt              | Max. 80         | Max. 180       |
| Flash point°C                      | Min. 60         | Min. 60        |
| Upper Pour Point°C                 | Max. 30         | Max. 30        |
| Micro Carbon Residue % (m/m)       | Max. 14         | Max. 15        |
| Ash % (m/m)                        | Max. 0.1        | Max. 0.1       |
| Water % (m/m)                      | Max. 0.50       | Max. 0.50      |
| Sulfur % (m/m)                     | Max. 0.10       | Max. 3.50      |
| Vanadium mg/kg                     | Max. 350        | Max. 200       |
| Total Sediment Potential % (m/m)   | Max. 0.10       | Max. 0.10      |
| Al+Si mg/kg                        | Max. 80         | Max. 80        |

Zorunlu hallerde ancak %5-%10 dolaylarında karıştırılması mümkün olabilmektedir.

Yakıtın sıcaklığı özellikle asma tankında bulunduğu, deniz suyu sıcaklığından etkilendiği durumlarda parafin nedeniyle yakıtta kristalleşme meydana gelmektedir. Bu durum yakıt tanklarının ve transfer devrelerinde kalabilecek yakıtın donabilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle yakıt transfer edilecek ve kullanılacak tankların yukarıda belirtilen değerlerden 10-15 °C daha fazla ısıtılması gerekmektedir.

Özellikle liman kalışı sonrasında tekrar

ana makineyi çalıştırıp seyir yapma açısından Fuel oil Servis ve Settling tankları 65-75 °C’ de tutulması önemli bir noktadır. Fuel Oil Seperatörlerinin sıcaklığı 85 °C olmalıdır. Ultra düşük kükürt oranlı yakıtın makineye giriş viskozitesi 12-15 cSt ile servis edilmesi gerekmektedir. Şekil 2’de fuel oil sıcaklığı ve yakıt yoğunluğu arasındaki ilişki görülmektedir [9].



**Şekil 2.** Fuel Oil Sıcaklığı Yoğunluk İlişkisi

Ultra düşük kükürt oranlı yakıtların hem doğru kullanılması hem de uygun yakıt kullanılması yaşanabilecek teknik arızaların önüne geçmek açısından çok önemlidir. Özellikle makine yakıt sisteminde oluşabilecek arızalar seyir emniyetini tehlikeye atacaktır.

Ultra düşük kükürt oranlı yakıt kullanımı beraberinde uygun silindir yağı ve miktarının kullanılmasını gerektirmektedir.

Gemi dizel makinelerinde yanma sonucu gerçekleşen yüksek sıcaklığa karşı koymak günümüz koşullarında mümkün değildir. Bu sebeple iki zamanlı ağır devirli yüksek güçlü gemi dizel motorlarında tekrar kullanılmayan, yanma sıcaklığıyla birlikte yok olan, asitleri nötrleyen ayrı bir yağa ihtiyaç duyulmaktadır[7].

Bu görevi sağlayacak yağların yeterli uçuculuğa sahip, yapışkan atık oluşumuna engel olması yandığında karbon atığı üretmemesi gerekmektedir.

Genelde silindir yağlarının içeriği %70

mineral yağ %30 saf su oluşumundan meydana gelmektedir. Silindir yağı kullanımdaki ana amaç Şekil 3' te görülen silindir layneri aşınmalarını azaltmaktır.



Şekil 3. Silindir Layneri

1 gram silindir yağlama yağında bulunan 1 mg potasyum hidroksit (KOH) miktarına TBN (Total Base Number) denilmektedir[2],[4],[5],[6].

Yüksek kükürt içerikli yakıtların ağır devirli gemi dizel motorundaki olumsuz etkileri; silindir layneri aşınması, yanma odası ,egzoz sisteminde korozyondur[8].

Ağır devirli gemi dizel motorlarında silindir laynerlerindeki aşınmalar 1000 saatlik dilimlerle takip edilmektedir. Bu nedenle iki bakım süresi arasında alınan ölçülerdeki aşınma miktarları azalması veya artması yağlamanın iyi yapılması, uygun yakıt ve teknik koşulların oluşmasının olup olmadığının tespitini sağlamaktadır.

Çalışmada kullanılan örnek için 0.4-0,8 mm arasındaki aşınma normal bir aşınma miktarı kabul edilmektedir.

Bu da bir laynerin geminin çalışmasına bağlı olarak 20-30 sene olduğu kabulü ile, 4 ile 5 kez layner değişimi olacaktır. Aşınma miktarının hızlanması layner kullanım süresini azaltacak, silindir layneri değişimi nedeniyle maliyet artacaktır. Orta ve Yüksek Devirli Dizel motorlarında silindir layneri aşınma miktarı ağır devirli gemi dizel

makinelere göre daha azdır.

Araştırmaya konu olan geminin piston ve silindir layneri bakım kayıtları çıkarıldığında 38822 çalışma saatine kadar olan bakımlar Tablo 3'de listelenmiştir. Bu tabloya göre 2007 yılından 2015 yılına kadar toplam 34 bakım yapılmıştır.

Tablo 3. Piston ve Silindir Layneri Bakım İstatistikleri

| Silindir Numarası | Sıklık | Yüzde  | Kümülatif Toplam |
|-------------------|--------|--------|------------------|
| No:1              | 6.00   | 17.65  | 17.65            |
| No:2              | 5.00   | 14.71  | 32.35            |
| No:3              | 5.00   | 14.71  | 47.06            |
| No:4              | 7.00   | 20.59  | 67.65            |
| No:5              | 6.00   | 17.65  | 85.29            |
| No:6              | 5.00   | 14.71  | 100.00           |
| TOPLAM            | 34.00  | 100.00 |                  |

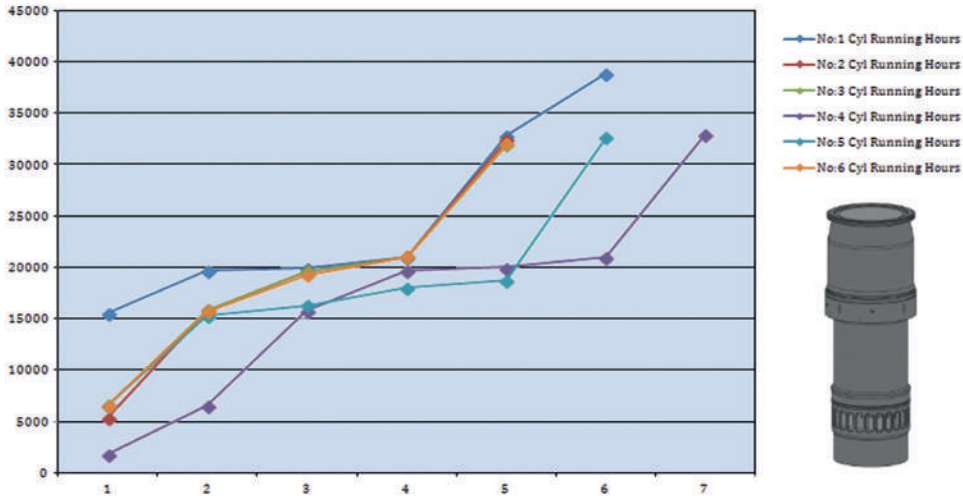
Yapılan bakımların çalışma saatleri açısından incelendiğinde her 5000 çalışma saatinde kaç adet piston bakımının gerçekleştiği Tablo 4'te görülmektedir. Bu verilere göre 15000-19999 çalışma saati arasında 16 adet bakım yapılmış ve layner değişiminin yapıldığı görülmektedir. Bu durumda bu gemi için silindir layneri ömrünün 20000 saat olduğu ve değişim sonrası ikinci değişim zamanının geldiği görülmektedir.

Şekil 4'de ana makineye ait altı silindirin bakım zamanlarına ait grafik görülmektedir.

Tablo 4. Piston ve Silindir Layneri Bakım Saatleri

| Çalışma Saati | Sıklık | Yüzde  | Kümülatif Toplam |
|---------------|--------|--------|------------------|
| 0-4999        | 1.00   | 2.94   | 2.94             |
| 5000-9999     | 5.00   | 14.71  | 17.65            |
| 10000-14999   | 0.00   | 0.00   | 17.65            |
| 15000-19999   | 16.00  | 47.06  | 64.71            |
| 20000-24999   | 5.00   | 14.71  | 79.41            |
| 25000-29999   | 0.00   | 0.00   | 79.41            |
| 30000-34999   | 6.00   | 17.65  | 97.06            |
| 35000-40000   | 1.00   | 2.94   | 100.00           |
| TOPLAM        | 34.00  | 100.00 |                  |





Şekil 4. Tüm Silindir Piston ve Layner Bakım Saatleri

Şekil 5’de 1 numaralı silindirdeki piston bakımları ve silindir layneri değişimleri görülmektedir. Yapılan incelemede 19659 çalışma saatinden sonra 19983 ve 20906 çalışma saatlerindeki piston bakımlarının olmuş olması erken bir bakımı işaret etmektedir. Bu bakımların sebebi piston segmanlarında oluşan kırılmalardır.

Şekil 6’da iki layner değişimi ve aradaki üç piston bakımını göstermektedir. Özellikle silindir layneri değişiminden sonra iki kez segman kırığı nedeniyle piston bakımının yapılmış olması bir konuda eksiklik yapıldığını göstermektedir.

Makine üretici firmaları tarafından özellikle silindir layneri bakımı sonrası silindir yağlama konusunda ilk 1000 çalışma saatinde dikkat edilmesi gereken noktalar belirtilmiş ancak bu noktaların eksik uygulanması durumunda iki kez tekrar piston segmanları yenilenmek durumunda kalmıştır. Özellikle ultra düşük kükürt oranlı yakıt kullanımı nedeniyle yetersiz silindir yağlamasının oluştuğu tespit edilmiştir.

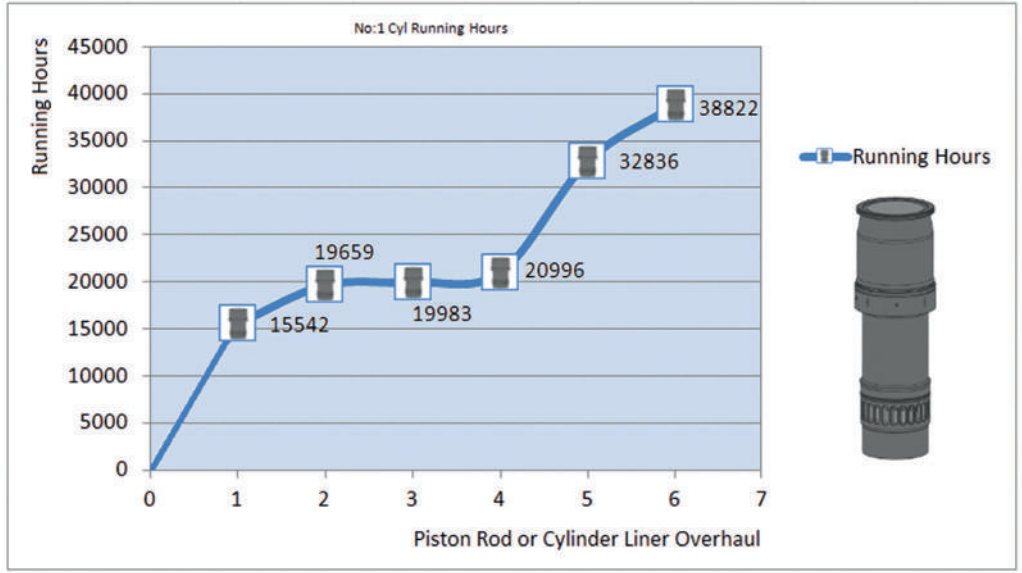
Günümüzde gelişen silindir yağlama teknolojileri ile beraber silindir yağlama yağı miktarını kullanılan yakıt sülfür oranına göre ayarlanması mümkündür. Minimum silindir yağlama miktarı mekanik yağlayıcılarda (cylinder lubricator)

0.6 g/kwh iken yeni teknolojilerin kullanılması ile bu miktar 0.5 g/kwh olarak ayarlanabilmektedir.

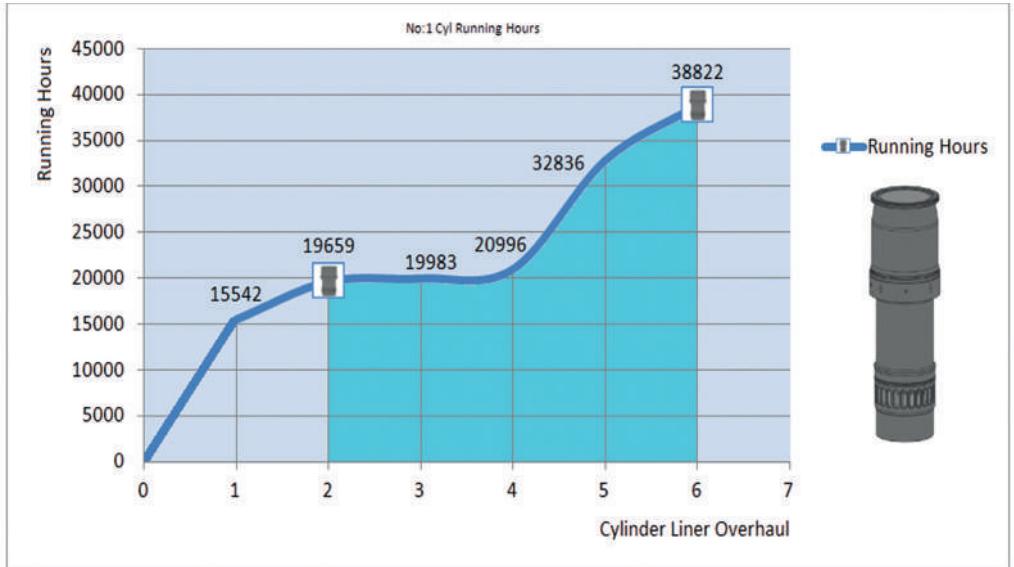
Özellikle laynerin port deliklerinin üzeri uygun olmayan silindir yağlaması sonucu aşınmaktadır. Silindir laynerinin ilk 1000 saatlik kullanım dilimindeki aşınmalar Şekil 7’de gösterildiği gibidir. Bu aşınmalar göz önünde bulundurulduğunda silindir yağlama miktarının artırılması özellikle layner değişimi ve piston bakımları sonrası aşınmaları azaltacaktır.

Yenilenen silindir laynerinin ilk çalıştığı 1000 saatlik dilimde layner ve segmanların yeni olması nedeniyle sürtünerek alıştıkları aşamadır. Bu nedenle silindir yağlama yağının normalin üzerindeki bu aşınmaları karşılayabilmesi bir yandan da asitleri nötrleme ve karbon oluşturmama görevinin sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle yüksek bir miktardan kademeli olarak düşürülmesi ve segmanların kontrolünün belli aralıklarla yapılması gerekmektedir. Şekil 7’de özellikle ilk 500 saatte aşınmanın en yüksek miktarda gerçekleştiği görülmektedir. Bu durumda bakım sonrası 10 günlük bir seyir demektir.

Silindir laynerindeki aşınmaların limitler arasında olup olmadığı veya aşınma hızı hakkında bilgi sahibi olmak için piston bakımları arasındaki aşınmayı tespit etmek



Şekil 5. No:1 Piston Bakım Saatleri



Şekil 6. No:1 Silindir Layneri Bakım Saatleri

amacıyla aşağıdaki model geliştirilmiştir.

$$\Sigma MW = (Cw1 - Cw2) / Rh \quad (1)$$

$\Sigma MW$ : İki bakım arasındaki aşınma miktarı(mm).

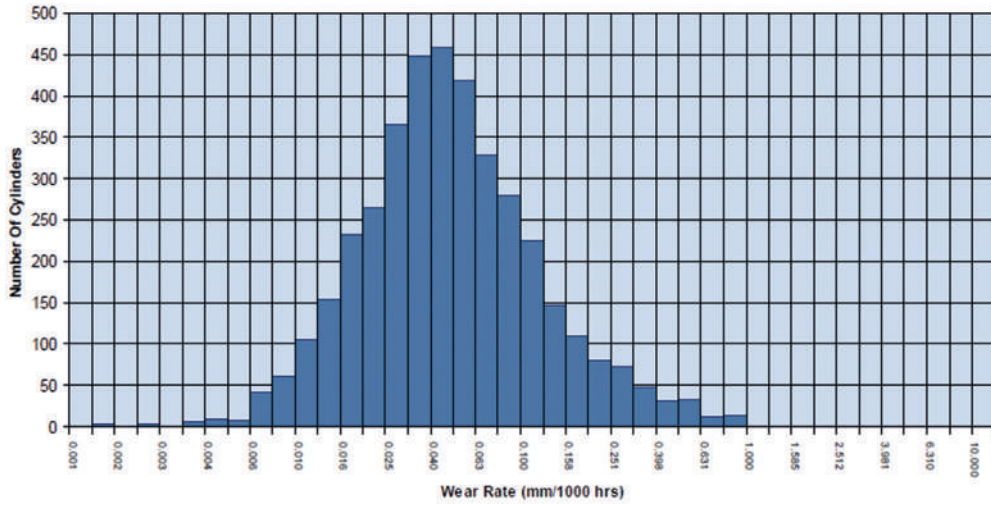
$Cw1$ : Bakımdan evvel ölçülen son silindir layneri çapı ölçüsü(mm).

$Cw2$ : Son bakım sonrası ölçülen silindir layneri çapı ölçüsü (mm).

$Rh$  :İki bakım arasındaki çalışma saati toplamı.

Bu hesaplama sayesinde iki bakım arasındaki aşınma miktarı 1000 saatlik çalışma saati dilimi olarak





belirlenebilmektedir.

Şekil 7. Silindir Layneri Değişimi Sonrası ilk 1000 Saatlik Aşınma Miktarı

Yeni silindir layneri ile önceki silindir layneri arasındaki toplam aşınma ve laynerin kullanılıp kullanılmayacağına karar vermek amacıyla aşağıdaki formül kullanılabilir.

$$\sum TW = (C1 - C2) / R \quad (2)$$

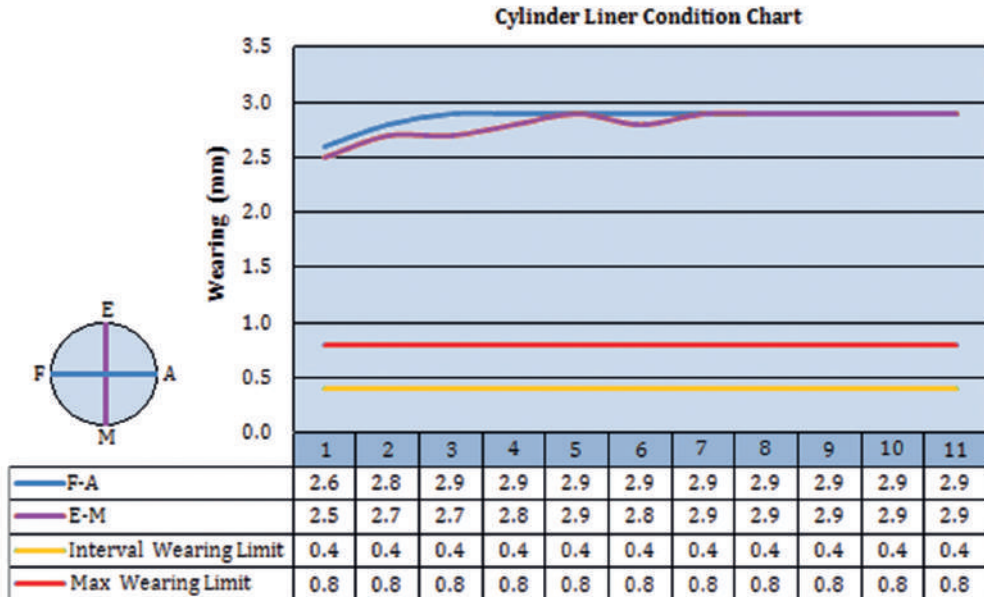
$\sum TW$ : Toplam aşınma miktarı (mm)

C2: Eski Silindir Layneri iç çapı (mm)

R: İki Silindir layneri arasındaki çalışma saati.

Oversize Limit :  $\sum TW > 0.4 - 0.8$  mm

Layner bakımı sonrası yapılan ölçüm değerleri Şekil 8’de gösterilmektedir. Şekil 8 incelendiğinde F-A değerini 2.6-2.9 arasında, E-M değerinin 2.5 ile 2.9 arasında olduğu, bu değerlerin en fazla aşınma limit



Şekil 8. Silindir Layneri Kondisyon Raporu

değeri olan 0.8 değerinin çok üzerinde olduğu görülmektedir.

Sonuçlar değerlendirilerek yeni layner donatılmasına karar verilmiştir.

Şekil 9'da yeni donatılan silindir layneri ve eski silindir layneri yüzeyleri görülmektedir. Eski layner yüzeyi aşınma nedeniyle yağ filmi tabakası tamamen ortadan kalkmıştır. Ayrıca emme portu deliklerinin üzerinde iz yaptığı görülmektedir. Silindir layneri değiştirilerek Şekil 10'da hazırlanan yağ miktarları ayar hesaplamaları yapılmıştır.

Bu ayar hesaplamasına göre makine üretici firması tarafından kullanılan yakıtın kükürt içeriğine göre ayar seçilmiş ancak ilk 500 saat değişimi yapılan silindir layneri ve piston segmanlarının aşınmalarının daha fazla olacağı ve iki metal yüzeyin birbirine alışma periyodu anında diğer silindirlere göre daha fazla silindir yağlama yağı gönderilmiştir.

göre miktar ayarlayabilirken bakımı yeni yapılan veya bakım zamanı yaklaşmış bir silindirin yağ miktarını ayarlayabilme imkanı olmasıdır. Şekil 10'da yapılan hesaplama ile hem makine gücüne göre özgül silindir yağı tüketimi, hem de günlük toplam silindir yağı sarfiyatı hesaplanabilmektedir. Bu değer silindir yağı tankları seviyeleri ile karşılaştırıldığında eğer tankta hesaplanandan daha fazla yağ bulunması durumunda silindir yağlama sisteminde yer alan nozulların silindir yağlama görevini yetersiz yaptığı sonucuna ulaşılabilmektedir.

## 7. Sonuç

Yapılan inceleme sonucunda hava kirliliğini azaltma amacıyla uygulamaya konulan kuralların teknik anlamda uyumu için yakıt ve silindir yağlama yağı uygunluğunun hem bakım masraflarının azaltılması hem de seyir emniyeti



**Şekil 9.** Yeni Silindir Layner (Solda) ve Eski Silindir Layner (Sağda) yüzeyleri

Eğer bakım ultra düşük kükürt oranlı yakıtın kullanıldığı emisyon kontrol alanlarında yapılmışsa bu durumda yağ ayarı ve miktarı daha düşük olacaktır Ancak bu ayarın yüksek tutulması gerekmektedir. Otomatik ayarlanabilen yağ ayarının en büyük avantajlarından biri kükürt oranına

açısından uygulama zorluklarının yaşandığı görülmüştür. Özellikle 1 Ocak 2015 tarihinden sonra kullanılan yakıtlara uygun makine ayarlarının yapılması konusunda farkındalık sağlanmaya çalışılmıştır. Yanlış veya eksik yapılan ayarın tekrar bakıma neden olduğu elde edilen verilerden

| CYLINDER NUMBER | Sulphur % | g/kWh | g/BHP | MCR %25 | MCR %50 | MCR %75 | MCR %100 | SELECTED MCR |
|-----------------|-----------|-------|-------|---------|---------|---------|----------|--------------|
| NO:1 CYLINDER   | 2.7       | 1.36  | 1.00  | 6.038   | 12.077  | 18.115  | 24.154   | 18.115       |
| NO:2 CYLINDER   | 2.7       | 0.92  | 0.67  | 4.063   | 8.125   | 12.188  | 16.250   | 12.188       |
| NO:3 CYLINDER   | 2.7       | 0.92  | 0.67  | 4.063   | 8.125   | 12.188  | 16.250   | 12.188       |
| NO:4 CYLINDER   | 2.7       | 0.92  | 0.67  | 4.063   | 8.125   | 12.188  | 16.250   | 12.188       |
| NO:5 CYLINDER   | 2.7       | 0.92  | 0.67  | 4.063   | 8.125   | 12.188  | 16.250   | 12.188       |
| NO:6 CYLINDER   | 2.7       | 0.92  | 0.67  | 4.063   | 8.125   | 12.188  | 16.250   | 12.188       |
| TOTAL:          |           | 5.94  | 4.36  | 26.351  | 52.703  | 79.054  | 105.406  | 79.054       |

Şekil 10. Silindir Yağlama Yağı Miktarı Ayarlama Uygulaması

çıkartılmıştır. Ultra düşük kükürtlü yakıt kullanımında dikkat edilmesi gerekli noktalar emniyetli seyir açısından irdelenmiş ve operasyonel çözüm getirilmeye çalışılmıştır.

Yapılan çalışma sayesinde başka tonaj ve tipteki makinelere aynı model uygulanarak makine bakım geçmişi çıkarılarak eksiklikler veya hazırlıklar yapılabilir. Örneğin 15000-19999 çalışma saati aralığında 16 kez piston bakımı yapıldığına göre layner değişiminden sonraki ikinci 20000 saatlik dilimde 35000-40000 saatlik dilimde piston ve layner değişimlerinin olacağı önceden tespit edilerek gerekli yedek malzeme erken tedarik edilerek zamandan kazanılmış olur. Bu sayede daha büyük arızaların önü kesilmiş olur. Şirket ve gemi arasında planlı bakım sistemi daha verimli hale getirilmiş olur.

Bu kapsamda yapılan çalışma ile literatüre gerçek bir uygulamadan yola çıkılarak ilerideki çalışmalar için başlangıç olması hedeflenmiştir.

Silindir yağlama yağı çeşidi ve günlük kullanım miktarı tespitleri silindir yağlama yağı tedarik planı oluşturmada kolaylık

sağlayacaktır.

### Kaynakça

- [1] Küçükşahin, F. (2001). Denizcilik Kimyası Yakıtlar-Yağlar, Suların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, Akademi Denizcilik Yayınları, İstanbul.
- [2] ISO 8217 Marin Yakıt Standartları (2015). International Standard ISO 8217 (2012). Petroleum Products-Fuels (Class F) Specifications of Marine Fuels. Erişim Tarihi: 20.09.2015 [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=59479](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=59479)
- [3] Standard Test Method for Base Number of Petroleum Products by Potentiometric Perchloric Acid Titration. <http://www.pqiamerica.com/TBN.htm> Erişim Tarihi: 22.09.2015.
- [4] CIMAC Guideline. The Interpretation of Marine Fuel Oil Analysis. [http://www.cimac.com/cms/upload/workinggroups/WG7/CIMAC\\_WG07\\_2014\\_09\\_Guideline\\_](http://www.cimac.com/cms/upload/workinggroups/WG7/CIMAC_WG07_2014_09_Guideline_)

- MarineFuelOilAnalysisTestResults.pdf
- [5] Hamrock. B ve diğeri (2004). Fundamentals of Fluid Film Lubrication. Marcel Dekker, New York.
  - [6] Office of Industrial Resources International Cooperation Administration (1957). Lubrication Fundamentals and Practices Sessions I,II, III, Technical Bulletin No.43, Washington.
  - [7] Booser R. E. (1983). CRC Handbook of Lubrication "Theory and Practice Tribology" Volume II, CRC Press, Washington.
  - [8] Lee Sunggyu ve diğeri (2007). Handbook of Alternative Fuel Technologies, CRC Press, New York.
  - [9] Devold H. (2006). Oil and Gas Production Handbook. ABB Press, Oslo.
  - [10] Revised MARPOL ANNEX VI Regulations for the prevention of air pollution from ships and Nox Technical Code 2008, 2009 Edition, IMO publication, London, 2009.