



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**AŞILAMA YÖNTEMİYLE MOTOR YAĞ  
ÖMRÜNÜN ARTTIRILMASI**

İsmail Varol TARAKÇI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Temmuz-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

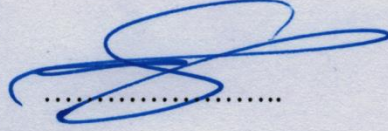
İsmail Varol TARAKÇI tarafından hazırlanan “Aşılama Yöntemiyle Motor Yağ Ömrünün Arttırılması” adlı tez çalışması 19/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

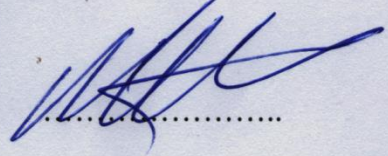
#### Başkan

Prof. Dr. Hüseyin Selçuk HALKACI



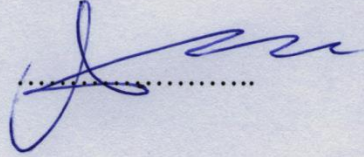
#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ



#### Üye

Doç. Dr. Murat DİLMEÇ



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this thesis document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



İsmail Varol TARAKÇI  
Tarih: 17 / 07/ 2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## AŞILAMA YÖNTEMİYLE MOTOR YAĞ ÖMRÜNÜN ARTTIRILMASI

**İsmail Varol TARAKÇI**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ**

**2019, 46 Sayfa**

Dekapaj kamyonları ve iş makinaları açık ocak madenciliğinin vazgeçilmezidir. Dekapaj kamyonlarının motorlarında 135 lt madeni yağ kullanılmaktadır ve 200 saat kullanım sonunda bu yağın tamamı değişmektedir. Bu nedenle iş makinelerinde önemli miktarda yağ sarfiyatı ve maliyeti oluşmaktadır.

Yağ değişimi 3 sebepten dolayı yapılmaktadır. Bunlar; oksidasyon ile meydana gelen fiziksel ve kimyasal bozulmalar, yanma reaksiyonuyla meydana gelen kimyasallarla kirlenme ve yağ çalışma saatinin doldurulmasıdır. Arada yapılan kontrollerde fiziksel ve kimyasal değişim ya da kirlenme tespit edilirse 200 saatlik periyodik değişim zamanı beklenmeden yağ yenilenmektedir.

Bu çalışmanın amacı motor yağlarının periyodik bakım sürelerini belirlemek ve motor yağının kullanım ömrünün aşılama yöntemiyle ne oranda artırılabilceğini araştırmaktır. Bunun için Ege Linyit İşletmelerinde faaliyet gösteren toplamda 104 adet dekapaj kamyonunun yağ sarfiyatları izlenmiş, motor yağının periyodik değişim zamanı yağ analizleri ile belirlenmiş ve değişim zamanı gelmiş motor yağının tamamını değiştirmek yerine belirli orandaki yağı değiştirerek yani aşılama yaparak yağ çalışma saatinin ne oranda artırılabilceği araştırılmıştır.

Çalışmada motor yağı ömrünün ölçüm kriteri olarak, yağın baz derecesini gösteren Toplam Baz Numarası (TBN) değeri kullanılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda motor yağının ömrünün 538 saati bulunduğu belirlenmiştir. Böylece hiç aşılama yapmadan dahi yağdan çok daha fazla yararlanılabileceği tespit edilmiştir. 538 saatten sonra yağda 30 lt aşılama yapılarak yağ ömrü 300 saat artırılmıştır. Böylece aşılama yönteminin motor yağından yararlanma süresini %55 oranında uzattığı bulunmuştur. Madeni yağdan maksimum düzeyde yararlanmayı sağlayan bu çalışmanın, gerek mali açıdan gerekse de çevre sağlığı açısından olumlu etkiler ortaya koyma potansiyeli bulunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Aşılama yöntemi, Motor yağları, Tbn, Yağ analizi, Yağ değişimi, Yağ ömrü

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

## **ENHANCEMENT OF ENGINE OIL LIFE WITH VACCINATION METHOD**

**İsmail Varol TARAKÇI**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Mechanical Engineering**

**Advisor: Dr. Lecturer Mevlüt TÜRKÖZ**

**2019, 46 Pages**

Rock trucks and construction machinery are indispensable for open pit mining. 135 lt mineral oil is used in the engines of pickling trucks and all of this oil changes after 200 hours of use. For this reason, a significant amount of oil consumption and costs occur in construction machinery.

Oil change is done for 3 reasons. These; physical and chemical deterioration caused by oxidation, contamination with chemicals caused by combustion reaction and filling of oil working hours. If physical and chemical change or contamination is detected during the checks performed, the oil is renewed without waiting for 200 hours periodic change time.

The aim of this study is to determine the periodic maintenance periods of engine oils and to investigate the extent to which engine oil life can be increased by vaccination method. For this purpose, the oil consumption of 104 lorries operating in Ege Lignite Enterprises was monitored, periodic change time of the engine oil was determined by oil analysis and it was researched how the oil working hours could be increased by changing the oil at certain rate instead of changing the whole of the engine oil.

In this study, Total Base Number (TBN), which indicates the base degree of the oil, was used as the measurement criterion of engine oil life. As a result of the measurements, it was determined that the life of the engine oil reached 538 hours. Thus, it has been found that even without vaccination, the oil can be used more. After 538 hours, 30 liters of inoculation in oil increased oil life by 300 hours. Thus, it was found that the inoculation method increased motor oil utilization time by 55%. This study, which provides maximum utilization of mineral oil, has the potential to have positive effects both in terms of financial and environmental health.

**Keywords:** Engine oils, Oil analysis, Oil change, Oil life, Tbn, Vaccination method

## ÖNSÖZ

Öncelikle, çalışmam sırasında karşılaştığım maddi, manevi yoğun bir dönemin ardından bu çalışmayı başarıyla ortaya koyduğumuz için mutluluk duyuyorum.

“Aşılama Yöntemiyle Motor Yağ Ömrünün Arttırılması” konulu tez çalışmamın yürütülmesinde ve değerlendirilmesinde, görüş ve önerilerini şahsımdan esirgemeyen değerli hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ ’e teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca bana verdikleri maddi ve manevi destekten dolayı başta aileme sonra TKİ Ege Linyitleri İşletmesi Makine işletme Şube Müdürü H. Rifat KARATAŞ’a, Işıklar Atölye Başmühendisi Mustafa DEMİRE’e, Çalışma arkadaşlarım; makine mühendisi Teoman ÖZNAR, makine mühendisi Erhan YAKUT, Makine Teknikeri Mehmet ACA, makine teknikeri Hüseyin Çiftçi ve Yıkama Yağlama Postabaşı N. Levent İŞLEKLER’e teşekkür ederim.

İsmail Varol TARAKÇI  
KONYA-2019

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>II</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>VI</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>VII</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>2</b>
2.1 Yağ Terimleri .....	6
<b>3. MATERYAL VE METOT</b> .....	<b>8</b>
3.1 Materyal .....	8
3.1.1 Kullanılan motor yağı teknik bilgileri .....	8
3.1.2 Ege Linyitleri İşletmesi' nde kullanılan dekapaj kamyonlarının teknik bilgileri.....	10
3.2 Metot .....	13
3.2.1 Yağ numunesi alma .....	14
3.2.2 Yağ analizleri .....	16
3.2.3 Motor yağlarının ömür tayini .....	21
<b>4. UYGULAMA VE TARTIŞMA</b> .....	<b>26</b>
4.1 TBN' ye Göre Motor Yağ Değişimi Uygulaması .....	29
4.1.1 ELİ dekapaj kamyonlarının yıllık motor yağı sarfiyat değişimi .....	30
4.1.2 ELİ dekapaj kamyonlarının yıllık motor yağı maliyet değişimi .....	31
4.2 Aşılama Metodunun Uygulanması.....	32
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>34</b>
5.1 Sonuçlar.....	34
5.2 Öneriler .....	35
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	<b>36</b>
<b>7. ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>37</b>
<b>8. EKLER</b> .....	<b>38</b>
EK-1 .....	38
EK-2 .....	41

## KISALTMALAR

<b>Kısaltma</b>	<b>Anlamı</b>	<b>Birimi</b>
TBN	: Total Base Nummer	( mgKOH/g )
TAN	: Total Acid Nummer	( mgKOH/g )
SAE	: Society of Automotive Engineers	-
ACEA	: Association of European Car Manufacturers	-
API	: American Petroleum Institute	-
ISO	: Uluslar Arası Standartlar Organizasyonu	-
IP	: Institute of Petroleum	-
COC	: Cleveland Açık Kap	-
EHL	: Elastohidrodinamik Yağlama	-
SUS	: Saybolt Universal Second	-
FT-IR	: Fourier Transform Infrared Spevtroskopy	-
KOH	: Potasyum Hidroksit	-
Absorbance	: Optik Yoğunluk	-



## 1. GİRİŞ

İş makinelerinde kullanılan makine yağları çeşitli gruplardan oluşmaktadır. Bu yağlardan tüketimi en çok olan ve periyodik bakım ile en sık değiştirilen yağ türü motor yağlarıdır. Çünkü motor yağları diğer yağ türlerine göre (hidrolik, şanzıman, vb.) daha çabuk özelliğini kaybetmektedir. Motor yağının çok sık değiştirilmesi kullanım miktarını arttırmakta ve buna bağlı olarak maliyetleri yükselmektedir. Maliyetin yanında, kullanılan yağların doğada yok edilmesi sırasında çevreye büyük zararlar vermektedir. Bu iki sebepten dolayı motor yağlarını uzun süreli kullanmak hem maliyetler açısından hem de çevre sağlığı açısından büyük önem arz etmektedir.

Yağlama sisteminin en vazgeçilmez unsuru motor yağıdır. Motor yağı kalitesi motor ömrü ile doğru orantılıdır. Kalitesiz ve temiz olmayan motor yağı kullanılması motor verimini büyük ölçülerde düşmektedir. Motor yağları, motor sisteminde hareket halindeki tüm parçaları dolanarak pislikleri temizler ve aynı zamanda bu parçaların soğumasını sağlar. Bu sebepten dolayı bir motorun verim ve ömrüne etki eden en önemli faktörlerden biri yağlamadır (Orhan A., 2009)

Motor yağlarının önemi oldukça fazla olmakla birlikte sarfiyatının da göz ardı edilemeyecek kadar yüksek olması bir problemdir. Örneğin bir hidrolik yağ, bir makinede 2500 saatte değiştirilmekte iken motor yağı ortalama 200 saatte değiştirilmektedir. Değiştirme sıklığının bu kadar fazla olması bu konunun önemini arttırmaktadır (Megep, 2011).

Araçlarda motor yağı sarfiyatı, ekonomik açıdan ve çevreye etkisi nedeniyle motor yağlarından daha fazla oranda yararlanmak önemli bir hedeftir. Bu hedef kapsamında tez çalışmasında öncelikle motor yağının kullanım ömrünü belirlemeye yönelik olarak ölçümler yapılmıştır. Sonra motor yağı ömrünü artırmak için aşılama isminde bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde motor yağı, ölçümle belirlenen ömür kadar kullanıldıktan sonra tamamının değiştirilmesi yerine belirli bir kısmının alınıp yerine yeni yağ ilave edilmek ve bu işlemin motor yağı kullanılamaz hale gelinceye kadar tekrarlanması yoluyla motor yağından daha fazla oranda yararlanılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde yağ numunesi alma, motor yağı periyodik bakımı, motor yağı analizine göre arıza tespiti ve motor yağı ömür tayini gibi konularda çalışmalar yapılmıştır.

İçten yanmalı motorlarda yakıt içeriğinde bulunan kükürt, yanma reaksiyonuna girerek sülfürik aside dönüşür. Oluşan sülfürik asit yüksek ısı ve buharlaşmanın etkisiyle silindir cidarlarındaki motor yağıyla birlikte kartere iner ve karterde bulunan motor yağlarının asitleşmesine sebep olur. Karterde bulunan asitlik değeri yükselmiş motor yağı sistemde devir daim yaparak bütün motor parçalarının daha hızlı bir şekilde korozyona uğramasına neden olur. Motor yağlarında bulunan baz katkısı, oluşan bu asitliği nötralize etmektedir fakat zamanla tükenmektedir. Bu nedenle yağların Toplam Asit numarası (TAN) ve toplam baz numarası (TBN) ölçümleri yapılmakta ve bu ölçüm sonuçlarına göre motor yağının ömrü tayin edilebilmektedir.

Yıldırım (1988) çalışmasında yağ analizlerinin öneminden bahsederken; bakıma ayrılan masrafların azaltılabileceğinden ve makinelerin kullanım ömürlerinin arttırılabileceğinden bahsetmiştir. Yağ analizleri ile bütün kullanılmış yağlar; motor, şanzıman, diferansiyel, cer ve hidrolik sistem yağları test edilebilmektedir. Bu testler, sadece yağın mevcut durumunu değil, aynı zamanda makinelerin durumunu değerlendirmek üzere geliştirilmiştir. Doğru bir yağ kontrol programıyla motorun vereceği arızaların önceden tahmin edilerek maddi olarak önemli kazançlar sağlanması mümkün olmaktadır. Yağ analizi, motorların içinde neler olduğunu görmenin en güvenilir yoludur ve her türlü mekanik arıza oluşmadan erken uyarı yapılabilir.

ASTM D974 – 14E2 ve ASTM D2896-15 numaralı ASTM standartlarında renk-indikatör titrasyonu ile asit ve baz numarası için standart test yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bu test yöntemi, oksidasyon koşulları altında bir yağda görülen göreceli değişiklikleri belirlemek için kullanılabilir. Titrasyon testi kesin denge koşullarında (tepkimenin %99.9' nun gerçekleştiği durumda) yapılırsa da, yöntem, servis koşullarında (uygulamada) bir yağın performansını tahmin etmek için kullanılacak gerçek asit ve baz numarasını ölçmez. Yatak korozyonu ile asit veya baz sayıları arasında genel bir ilişkiyi belirlemez.

Kauffman (1998) çalışmasında antioksidanın belirlenmesinde kullanılan hızlı voltametik tekniklerin özelliklerinden bahsetmektedir. Bu voltametik teknikler, toplam asit sayısı (TAN) ve toplam baz numarası (TBN) ölçümleri için çok çeşitli yağ ve sıvıları içerir. Voltametik teknikler, 1 mililitreden (ml) az yağ, 5 ml aseton veya etanol solüsyonu ve her analiz için 2 dakikadan daha az zamana ihtiyaç duyar ve kutulara ucuz, taşınabilir aletler kullanılarak yapılabilir. Halen kullanılan TAN (ASTM Nixathod 664) ve TBN (ASTM Yöntemi 2896 veya 4739) tekniklerinin aksine, voltametik teknikler titrasyonlar içermez ve dolayısıyla operatöre bağımlı olan uç noktalara dayanmazlar. Hazırlandıktan sonra, yağ / analiz solüsyonu karışımı, voltametik analizlerin doğruluğunu sağlamak için birkaç kez (tekrarlama analizi başına 20 saniye) analiz edilebilir. Mevcut ASTM yöntemleri yeniden örnekleme ve ardından titrasyonu (titrasyon başına birkaç dakika gerektiren) veya yinelenen analizleri gerektirir.

Çağlayan (2003), çalışmasında yağ analizi ve motor ömrü arasındaki bağıntıyı açıklanmış, motor arızalarının yağ analizi ile önceden tahmini ve yağ tasarrufu konusunda yöntemler önermiştir. Çalışmada önerilen yöntemler yağ kirliliğini tanımlama ve sayma yöntemleridir. Bunlar gravimetri, süzme, filtre blokaj, lazerli yansıma yöntemleridir. Yağ analizlerini belirli periyotlarda ve işletmenin kendi bünyesinde yaptırmak gerekir. Eğer mevcut tahlillerde problem ile karşılaşılırsa daha detaylı araştırma yapılabilmesi için laboratuvara gönderilmelidir. Alınan yağ analizlerinin incelenip yorumlanması ve analiz sıklıklarının hangi periyotlarda yapıldığına dair bilgiler bu çalışmadan edinilmiştir.

Gökalp (2005), araştırmasında laboratuvar ortamında asit-kil yöntemi ile kullanılmış motor yağlarının iyileştirilmesine çalışmıştır. Birçok ülkede bu asit-kil yöntemi uygulanmaktadır. Bu işlem esnasında sülfürik asitin yağa karıştırılması suretiyle birçok kirlenici ve bozunma ürünleri giderilerek yağ iyileştirilmektedir. Bu işlem sonucunda oluşan kükürt içerikli bileşikler reaktör tabanında çöker. Ürün daha sonra nötralize edilir. Rengini ağartmak için kil filtrelenir. Vakum ile atık yağ rafine edilir. Açığa çıkan ürün genellikle enerji amacıyla kullanılmaktadır. Araştırmanın diğer kısmında ise örnek dizel motorlar üzerinde, yağ analizine göre düzenli olarak yapılan bakım çalışmalarının motor aşınma değerlerinin üzerindeki etkisi incelenmiştir. Her iki çalışmada da elde edilen sonuçların kinematik viskoziteleri, parlama noktaları, TBN değerleri, tortu, su ve aşınma metal değerleri incelenmiştir. Bu sonuçların, motor aşınma

değerlerindeki fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilgili eğriler çıkartılarak karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar; sistemlerde yapılacak düzenli yağ analizleri ile yağ kullanım sürelerinin arttırılabileceğini ve kullanılan motor yağının birtakım iyileştirme yöntemleri ile işleme tabii tutulup daha sonra tekrar endüstrinin diğer dallarında kullanılabileceğini göstermiştir.

İpek ve Erdoğan (2006), motor performansını arttırmak için motor yağı katkı maddelerinin, motorun aşınma direncine ve yağlama performansına etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Çok yaygın olan üç farklı katkılı motor yağının aşınmaya ve aşınma mekanizmalarına etkileri mukayese edilmiştir. Aşınma testlerinin öncesi ve sonrasında, yağ içindeki element değişimi belirlenmiştir. Aşınma mekanizmaları ve her bir katkı malzemesinin içerdiği element ve bu elementleri aşınma mekanizmalarına etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır; katkılar, aşınma süreçlerini ve mekanizmalarını etkilemektedir. Bununla beraber, katkı içeren yağlamada aşınmış yüzeyde bazı elementlerin (Cu, Sn, Al, Pb, Mo ve Si) çökeldiğini gösteren belirtiler ve veriler elde edilmiştir.

Gökalp ve ark. (2007) çalışmalarında, motor aşınma değerlerini bir yağ analiz programı ile deneysel olarak incelenmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalarla, motor yağlarının kullanıldığı sistemlerde, motor bünyesinde oluşabilecek aşınmaya bağlı hasarların, yapılacak düzenli yağ analizleri ile daha önceden tahmin edilebileceği gösterilmiştir. Örnek verilecek olursa; motorda kullanılan bir yağlama yağının metal değerlerinde anormal bir artış gözlenmiş ancak; yağ performans değerinde (viskozite, TBN v.b.) anormal bir durum belirlenmemiştir. Bu durumda, o motorda yağ değişimi yerine, aşınma analizinde tespit edilen metalin ilgili olduğu motor parçasında hasar olduğu tahmin edilerek parça değişimi yapılmıştır. Başka bir örnekte ise yağ analizinde alüminyum değerinin yüksek çıkması piston üst kol yatağında bir problem olduğunu göstermiştir.

Orhan'ın (2009) çalışmasında, iş makinelerine ait motor, şanzıman ve diferansiyelden alınan yağ numuneleri incelenmiştir. Yağın kirlilik derecesine ve buna sebep olan su, mazot, toz vb. nedenleri araştırmıştır. Aşınmanın derecesi şekil ve boyut bakımından mevcut aşınma cetveliyle kıyaslanmıştır. Bu bakım yönteminin uygulanmasıyla arızalar önceden tespit edilerek, gerekli önlemler alınmıştır.

Ateş (2011), “yağ analizi (SOS) “ makalesinde, bir iş makinasının bakımlarının yağ analiz programına göre gerçekleştirilmesinin önemini anlatmış ve doğabilecek büyük çaplı hasarların önüne geçilebileceğini vurgulamıştır. Bu makaleden; numune alma yöntemleri ve numune alma sırasında dikkat edilebilecek unsurların yanı sıra yağ analizinin çeşitleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Megep (2011)’in “Motorlu Taşıtlar Teknolojisi ve Otomotiv Periyodik Bakımı” kitabında, motorlu araçlarda periyodik bakımın öneminden, otomotiv sektöründe kullanılan içten yanmalı motorlarda bulunan sistemlerden ve bu sistemlerde uygulanan periyodik bakımlardan söz edilmiştir. Taşıt teknolojisi ve periyodik bakım bilgileri için genel bilgi verilmiştir.

Wohltjen ve ark. (1994) çalışmasında, ASTM yöntemindeki sorunları aşmak ve TBN ölçümlerini kolaylaştırmak için interdigital transdüktör adı verilen geliştirilmiş bir cihazla, yüzey akustik dalga (SAW) mikrosensörleri kullanılarak, yağdaki ısı, basınç, sıcaklık ve yer değiştirmeler incelenmiştir. Bu sensörler ile dizel motor yağlarındaki yakıt kirliliği de ölçülmüştür. Çalışmada bir SAW esaslı yakıt seyreltme sayacının tasarımı ve yapımı açıklanmıştır. Denenen dizel gemi motorları üzerindeki SAW mikrosensörleri sayesinde monitöre aktarılan değerler anlık olarak gösterilebilmiştir.

Yukarıda belirtilen çalışmalarda genel olarak yağ analizleri, motor arızalarının tespiti için yapılmıştır. Literatürde, yağ ömrünün belirlenmesine yönelik olarak yağ analizlerinin yapıldığı ve yağ ömrünün artırılması için farklı metotların araştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tez çalışmasında öncelikle her 50 saatlik çalışmada bir motor yağından numuneler alarak makinaların motor yağ çalışma saatlerinin gerçek ömürleri tayin edilmiştir. Daha sonra TBN değeri yarıya düşen (ilk konulan motor yağ TBN değerine göre) dekapaj kamyonlarından 30’ ar litrelik motor yağı boşaltıp, 30 litre yeni motor yağı ilave edilmiş yani aşılama işlemi yapılmıştır. Motor yağı kullanılmaz hale gelene kadar her TBN’nin yarıya düşüşünde bu işlem tekrarlanmış ve önerilen bu yöntemin motor yağ ömrüne katkısı ölçülmüştür. Sonuçta da aşılama yönteminin maliyet analizi yapılarak önerilen yöntemin Ege Linyit İşletmelerinde kullanılan dekapaj kamyonlarının yağ ekonomisine katkısı belirlenmiştir.

## 2.1 Yağ Terimleri

Bu çalışmada sıklıkla kullanılan yağ terimleri aşağıda açıklanmıştır.

**Aşınma:** Sürtünme ile meydana gelir. İstenmeyen katı parçacıkların yağın içine girmesiyle oluşur.

**Katkılar:** Yağa istenilen özellikleri vermek için katılan maddelerdir.

**Adezyon:** Yağın yapışabilme özelliğidir.

**Antioksidanlar:** Yağın eskimesini(asitleşmesini) yavaşlatan maddelerdir.

**Kül:** Yanmış yağın atığıdır.

**Baz Numarası:** Asidik yağı nötralize etmek için gerekli olan miktardır.

**Baz Yağlar:** Çoğunlukla mineral yağlardan oluşur. Motor yağları için gerekli olan yağ grubudur. Asitleşmeye karşı direnci fazla olan yağlardır.

**Bulutlanma Noktası:** Isınmış bir yağın soğutulduğunda kristalleşmeye başladığı sıcaklık derecesidir ( ISO 3015).

**Renk:** Bir kalite özelliği olarak nitelendirilemez. Kullanılan yağın zamanla siyahlaşması o yağın kirlendiğini gösterir. Yağ renkleri ASTM renk numarası değerlendirilir ( DIN ISO 2049). Bu renkler; 0,5 (berrak) – 8,0 (koyu) arasındadır.

**Uyumluluk:** Bir yağın başka bir yağ ile karışabilme özelliğidir.

**Deterjanlar:** Yağların içerisinde zamanla oluşan tortuları engelleyen katkı maddesidir.

**Dinamik Viskozite:** Kesme geriliminin kayma hızına oranıdır.[mPa\*s]

**Elastohidrodinamik Yağlama ( EHD veya EHL ):** Yüksek basınçtaki yağ filminin yüksek hızlardaki yağlayıcılığıdır.

**Ester:** Yağ asidi ve alkol reaksiyonudur. Yüksek viskozite aralığına sahiptirler.

**Film Mukavemeti:** Bir yağ filminin bozulmadan hız, sıcaklık ve yüke karşı direncidir.

**Hidrokrak Yağlar:** Geliştirilmiş mineral yağlardır. Viskozite indeksi yüksek ve kayıplar minimumdur. Bu yağ grupları HC-, MC, HVI yağlarıdır. Başlangıç olarak gaz yağından ürettirilirlir.

**Hidrolik Stabilite:** Sentetik yağların ayrışmaya karşı gösterdiği dirençtir.

**Naftenik:** Ham petrolden elde edilen bir çeşit akışkandır.

**Nötralizasyon Sayısı:** Bir yağın asitlik veya bazlık ölçüsüdür.

**Oksidasyon:** Bir maddenin oksijen ile reaksiyonudur. Yağ viskozitesinin artmasındaki en önemli nedenlerden biridir.

**Oksidasyon Stabilesi:** Bir yağın oksidasyona karşı direncidir.

**Poliglikol:** Bir çeşit baz yağdır. Mükemmel yağlayıcılık özelliğine sahiptir. Ayrışma esnasında kesinlikle kalıntı bırakmazlar.

**Akma Noktası:** Bir akışkanın en düşük sıcaklıktaki akma yeteneğidir.

**Toplam Asit Numarası (TAN):** Bir gram asidik yağı nötrlemek için gerekli olan mg cinsinden baz miktarı.

**Toplam Baz Numarası (TBN):** Bir gram bazik yağı nötrlemek için gerekli olan mg cinsinden asit miktarı.

### 3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan motor yağı ve dekapaj kamyonu bilgileri ile yağ numunesi alınmasından aşılamanın yapılıp sonuçların elde edilmesine kadar geçen süreçte uygulanan metotlar aşağıda ayrıntılı anlatılmıştır.

#### 3.1 Materyal

Bu çalışmada kullanılan dekapaj kamyon, motor ve motor yağ bilgileri aşağıda verilmiştir.

##### 3.1.1 Kullanılan motor yağı teknik bilgileri

Bu çalışmada; dekapaj kamyonları için kullanılan motor yağının satın alındıktan hemen sonra yapılan kontrol amaçlı ilk analiz değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan dökme madeni yağ analiz değerleri

Firma	Petrol ofisi
Markası	Maximum turbo diesel s 15W/40
Viskozite indeksi	152
Kinematik vis. 40°C	114.5
Kinematik vis. 100°C	16.22
TBN	11.60
TAN	-
Su miktarı (ppm)	1063.93
Parlama noktası (°C)	243 (açık kap)
Yoğunluk (15°C)	0.88814 g/cm <sup>3</sup>
Yoğunluk (20°C)	0.8850 g/cm <sup>3</sup>
Oksidasyon (ppm)	5.740
Silisyum (ppm)	4.34

Yağ analizlerinin tamamı Ege Linyit İşletmesinin bünyesinde bulunan yağ analiz laboratuvarında yapılmıştır. Yağ analizinde kullanılan cihazlar ve kullanım yerleri aşağıda sıralanmıştır.



- Silisyum ölçümünde spectrol M&A-RFS cihazı (Elementel Analiz),
  - Oksidasyon-nitrasyon-TBN ölçümünde spectroil FT-IR cihazı (Moleküler Yapı Analiz)
  - Partikül sayımında laser Net Fines cihazı, su tayininde Cou-Lo Aquamax cihazı
  - Viskozite indeksi ve 40°C - 100°C viskozite ölçümlerinde Spectro Visc cihazı
  - Parlama noktası ölçümünde MiniFlash FLPH cihazı
- Kullanılan bu cihazlar Şekil 3.1' de gösterilmiştir.



Spectroil M&A-RFS



Spectro FT-IR



Spectro Visc



MiniFlash FLPH



Laser Net Fines



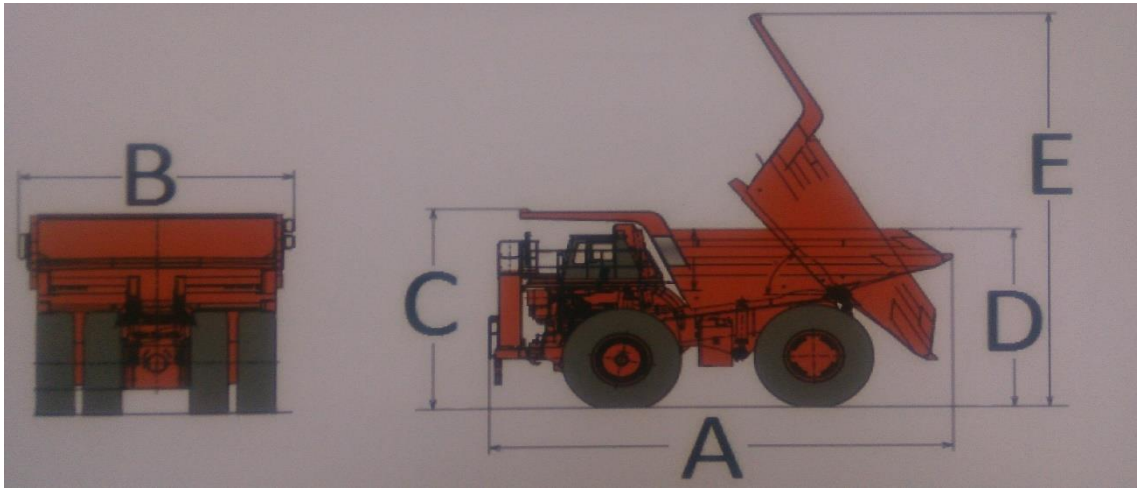
Cou-Lo Aquamax

Şekil 3.1. Yağ analiz laboratuvarında kullanılan cihazlar

### 3.1.2 Ege Linyitleri İşletmesinde kullanılan dekapaj kamyonlarının teknik bilgileri

**Dekapaj:** Açık ocak prosesine göre cevher yatağının kazılmasından taşınmasına, harmana dökülmesinden yeni yolların yapılmasına kadar olan bütün muhtelif işlemleri kapsayan olayların tümüne “dekapaj” denir.

Şekil 3.2 ve Çizelge 3.2’de tez çalışmasında kullanılan Komatsu markalı 630 ES, HD 785-1, HD 785-2 ve HD 465-3 model dekapaj kamyonlarının boyutları verilmiştir.



Şekil 3.2. Dekapaj kamyonlarının boyut bilgileri

Çizelge 3.2. Dekapaj kamyon boyutları

MARKA MODEL	A(m)	B (m)	C (m)	D (m)	E (m)
KOMATSU 630 ES	11.94	7.01	6.43	5.56	11.89
KOMATSU HD 785-1	10.13	5.0	4.87	3.99	9.00
KOMATSU HD 785-2	10.13	5.0	4.87	3.99	9.00
KOMATSU HD 465-3	8.90	4.40	4.00	3.40	8.80

Ege Linyitleri İşletmesinde hâlihazırda kullanılmakta olan 4 tip dekapaj kamyonu bulunmaktadır fakat bu kamyonlardan HD 785-1 ile HD 785-2 modeli dekapaj kamyonları boyutsal olarak aynıdır. Şekil 3.3'te gösterilen dekapaj kamyonunun modeli 630 ES' tir ve boyutsal olarak TKİ kurumunun en büyük dekapaj kamyonudur.



Şekil 3.3. Komatsu 630 ES dekapaj kamyonu

Çizelge 3.3'te Komatsu markalı 630 ES, HD 785-1, HD 785-2 ve HD 465-3 model dekapaj kamyonlarının motor güç bilgileri ve bu motorların çalıştıkları kamyonlardaki yük taşıma kapasiteleri verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Dekapaj Kamyon Motor Bilgisi

	MARKASI	MODELİ	MOTOR MARKASI	MOTOR MOTELİ	MOTOR GÜCÜ		KAPASİTE (YÜK)		MİKTAR (ADET)
<b>AĞIR KAMYON</b>	KOMATSU	630 ES	CUMMINS	KT-50	1600	HP	170	Ton	10
	KOMATSU	HD 785-1	CUMMINS	KT-2300 C	877	HP	85	Ton	43
	KOMATSU	HD 785-2	KOMATSU	KT-2300 C	877	HP	85	Ton	36
	KOMATSU	HD 465-3	KOMATSU	SA6D170A	702	HP	50	Ton	5
<b>SULAMA KAMYON</b>	KOMATSU	HD 785-1	CUMMINS	KT-2300 C	877	HP	85	Ton	6
	KOMATSU	HD 465-3	KOMATSU	SA6D170A	702	HP	50	Ton	4

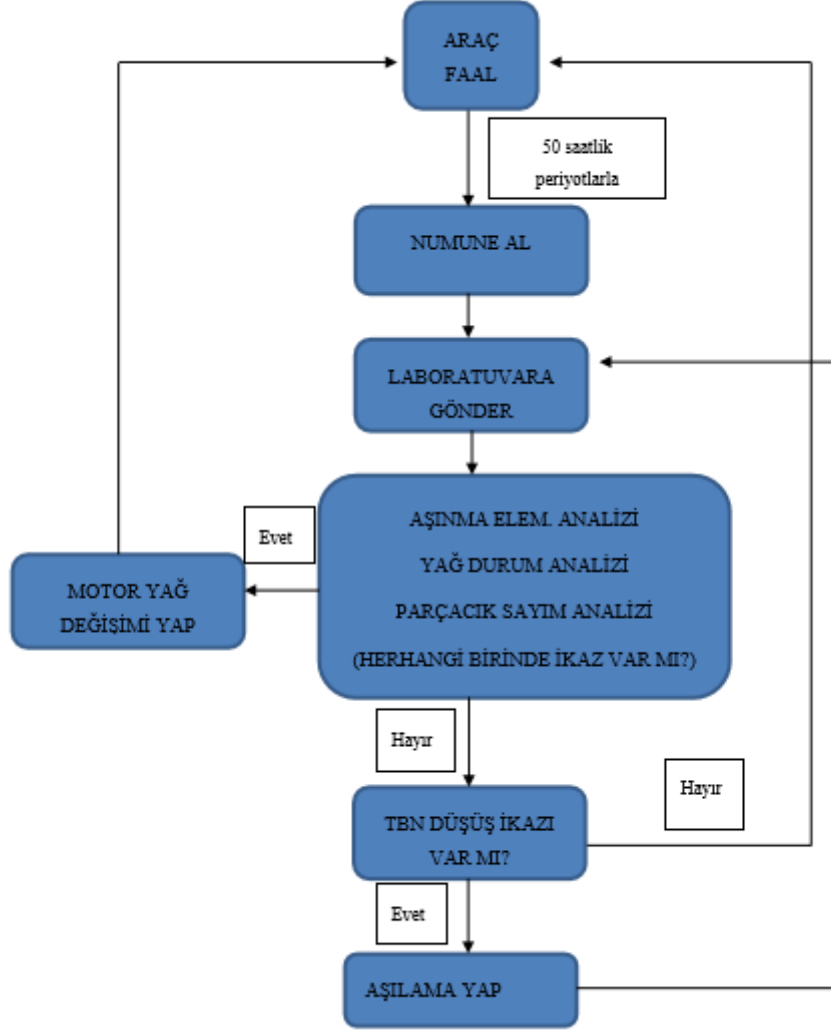
Çizelge 3.4’de dekapaj kamyonlarının motor, şanzıman, hidrolik, fren ve diferansiyel sistemlerinde kullanılan yağ standardı, kapasitesi ve miktarı ile değişim periyodu bilgileri görülmektedir.

**Çizelge 3.4.** Dekapaj Kamyon Yağ Kapasiteleri ve Değişim Saatleri

MARKA MODEL	MAK. SAYISI	KULLANIM YERİ	YAĞ STAND.	YAĞ KAPASİTESİ (Lt)	YAĞ DEĞİŞİM PERİYODU (Saat)
<b>KOMATSU HD 785-1</b>	49	MOTOR	SAE 15W-40	135	200
		ŞANZIMAN	SAE 30	80	1000
		HİDROLİK	SAE 10	320	2000
<b>KOMATSU HD 785-2</b>	36	MOTOR	SAE 15W-40	135	200
		ŞANZIMAN	SAE 30	120	1000
		HİDROLİK	SAE 10	665	2000
<b>KOMATSU HD 465-3</b>	9	MOTOR	SAE 15W-40	71	200
		ŞANZIMAN	SAE 30	120	1000
		HİDROLİK	SAE10	180	2000
<b>KOMATSU 630 ES</b>	10	MOTOR	SAE 15W-40	180	200
		HİDROLİK	SAE 10	507	5000

### 3.2 Metot

Tez çalışmasında yapılan işlemlerin akış şeması Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Tez çalışmasına yapılan işlemlerin akış şeması

Bu çalışma kapsamında kullanılan Komatsu HD785-1 model dekapaj kamyonlarının motor yağ kapasiteleri 135 lt' dir ve önerilen yağ değişim periyodu 200 saattir. Bu çalışmada dekapaj kamyonlarının motor yağlarının gerçek ömürlerini incelemek için öncelikle periyodik yağ değişim zamanı iptal edilmiş ve yağ analiz sonuçlarına göre değişim zamanı belirlenmeye çalışılmıştır. Verilen akış şemasından da anlaşılacağı gibi her 50 saatte bir çalışmakta olan motorların yağ karterlerinin orta kısmından vakum yöntemiyle numuneler alınarak laboratuvarında analiz edilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre yağda bir uygunsuzluk varsa bu motor yağı komple değiştirilmiş ve akış şemasında en başa dönülmüştür. Şayet bu motor yağında herhangi bir uygunsuzluk yoksa yağın TBN değerine bakılmıştır. TBN değerinde bir düşüş gözlemlenmediyse motor yağı çalışmaya devam ettirilmiş ve tekrardan akış şemasında en başa dönülmüştür. TBN değerinde bir düşüş varsa ki bu değer ilk TBN değerinin yarısıdır, o zaman aşılama metot uygulamasına başlanmıştır ve bu aşılama ile yağı komple değiştirmek yerine 30 litrelik yağ boşaltma ve aynı miktarda yeni yağ ekleme işlemi yapılmıştır. Aşılama miktarının tayini ise her bir dekapaj kamyonunun yağ filtresinin içerisine mevcut olan motor yağ miktarına göre belirlenmiştir. Yani hem filtre değiştirmiş hem de aşılama yapılmış olmaktadır. Böylece yapılacak olan en düşük aşılama miktarı 30 litre olarak kabul edilmiştir. Aşılama yapıldıktan sonra araç rölantide 1 saat çalıştırılmış (motorun ısınması ve yağın homojen karışması için) ve tekrar numune alınarak değerler not edilmiştir. Bu yapılan işlemler TBN ikazı verecek her dekapaj kamyonu için uygulanmış ve 200 saatlik orijinal periyot - uzatılmış periyot (TBN ikazı verene kadarki zaman) - aşılama değişim periyotları karşılaştırılmıştır.

### 3.2.1 Yağ numunesi alma

Yağ analizi ppm (milyonda parçacık sayısı) düzeyinde yapıldığı için dikkatli ve temiz koşullarda alınmalıdır, aksi takdirde sonuç yanıltıcıdır ve dikkate alınmamalıdır.

Tozlu ortamda alınan numunelerde veya kirlenmiş numune alma kabının kullanıldığı numunelerde parçacık sayılarındaki artıştan dolayı sonuçlar yanıltıcı olacaktır. Numune kabının ağzının açık bırakılması veya numune hortumunun değiştirilmemesi yağ analizinde farklı sonuçlar doğurur. (Gökalp B.,2005)

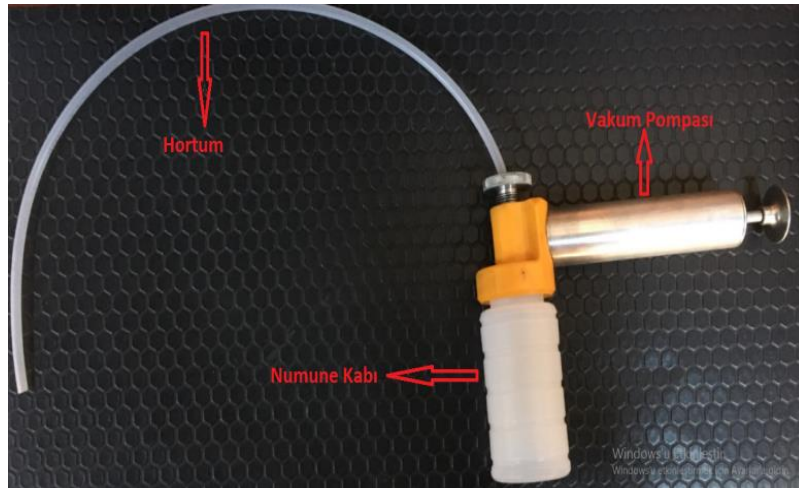
Numune alınırken dikkat edilecek hususlar:

- I. Numune kabı her zaman temiz ve kapağı açık bekletilmemiş olmalıdır.
- II. Numune karter yağ seviyesinin orta noktasından alınmalıdır.
- III. Numunenin homojen olabilmesi için numune motorun çalışma sıcaklığında olmalıdır.
- IV. Numune kabının  $\frac{1}{4}$  'ü boş bırakılmalıdır.
- V. Numuneler geciktirilmeden ivedilikle analize gönderilmelidir.

## Vakum pompası ile numune alma yöntemi

Genelde numune alma tapası olmayan sistemler için birebir olan bu yöntem tez çalışmasında uygulanarak numuneler aşağıdaki maddeler göz önünde bulundurularak alınmıştır.

- Açılı kesilmiş temiz numune alma hortumu vakum pompasının üstüne Şekil 3.5'te görüldüğü gibi geçirilerek bir ucu numune kabının yarısına kadar, diğer ucu karterin yarısına kadar yerleştirilmiştir.
- Vakum pompasının diğer ucuna numune alma kabı yerleştirilmiş ve iyice sıkılmıştır.
- Pompanın uç kısmındaki kol doğrusal hareket ile ileri gelir yapılarak karterden çekilen yağ, vakum ile numune kabına doldurulmuştur.
- Numunenin homojen olması için, numuneler motor çalışma sıcaklığında iken alınmıştır.
- Alınan her numune üzerine araç bilgileri Şekil 3.6'da görüldüğü gibi yazılmış ve numune kaplarının kapakları sıkıca kapatılarak ivedilikle analize gönderilmiştir.



Şekil 3.5. Numune Almaya Hazır Vakum Pompası Sistemi



Şekil 3.6. Numunesi Alınmış Bir Dekapaj Kamyonunun Bilgileri

### 3.2.2 Yağ analizleri

Yağ analizleri, makinaların ömrünü arttırmak ve bakım masraflarını büyümeden önüne geçmek için kullanılan bir çeşit yöntem gereksinimidir. (Ateş M. G.,2010)

Aşınma elementleri analiziyle motorda oluşabilecek arızaların yorumlanması, parçacık sayım analiziyle yağdaki kirlilik miktarı, yağ durum analiziyle yağın ömür tespiti ve yağ ömrünün uzatılabilmesi sağlanabilir. Özellikle yağ durum analizi sırasında ölçülen TBN miktarı, motor yağının ömür tespitindeki en önemli analizdir ve motor yağının asitliğe karşı koruyucusudur.

İyi hazırlanmış bir periyodik bakım çok önemli tasarruflar sağlayabilir. Bunun en önemli sebebi bir makine parçasının hasara uğramadan erkenden önüne geçebilmektir. Yağ analizi uygulamasının ana çalışma kaynağı da budur. Doğru seçilmiş yağ ve filtreler ile makine performansını en üst seviyeye getirmek ve periyodik bakımlar ile oluşabilecek hasarların önlemlerini alabilmektir. (Gökalp B. vd., 2007)

#### 3.2.2.1 Aşınma elementleri analizi

Belirli periyotlar ile motordan alınan yağ numunelerinde aşındırıcı parçacıklar tespit edilir. Parçacıkların boyutları ve hangi kısma ait olduklarının tespiti ile oluşabilecek daha büyük arızaların önüne geçilir. (Ateş M. G.,2010)

Bu analiz yöntemi ile yaklaşık 10µm büyüklüğündeki parçacıklar tespit edilir. Tespit edilebilen bazı elementler; bakır (Cu), demir (Fe), krom (Cr), kurşun (Pb), alüminyum (Al), moliden (Mo), silikon (Si) ve sodyumdur (Na). Silikon (toz girişi) ve



sodyum (su girişi) dışındaki tüm elementler (Cu, Fe, Cr, Pb, Al, Mo), motorların yapısında bulunmaktadır. Numune içindeki bazı elementler de, sistem içindeki aşınmadan ziyade, yağ katkı maddelerinden de kaynaklanabilir. (Ateş M. G.,2010)

### **Çözünmeyen Madde (Kurum)**

Yanma reaksiyonun sonucu oluşan atık maddelerdir. Oluşan kurum nedeniyle meydana gelebilecek birçok problem vardır ve bu problemler kurum seviyesi arttıca daha büyük zararlar verebilecek boyuta gelebilir. Çizelge 3.5'te kurum oluşumunun sebepleri, etkileri ve kurum oluşumunu azaltmak için öneriler verilmiştir.

**Çizelge 3.5.** öznmeyen madde sebep, etki ve nerileri

<b>SEBEPLERİ</b>	<b>ETKİLERİ</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Yanlış yakıt/hava oranı</li><li>• Yanlış yakıt enjektör ayarları</li><li>• Kötü yakıt kalitesi</li><li>• Tam olmayan yanma</li><li>• Yetersiz hava girişi</li><li>• Düşük sıkıştırma oranları</li><li>• Aşınmış motor parçaları</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Düşük motor performansı</li><li>• Düşük yakıt verimi</li><li>• Zararlı birikinti/atıklar</li><li>• Hızlanan aşınma</li><li>• Kısalan yağ ömrü; yetersiz yağlama</li><li>• Tıkanan filtreler ve yağ kanalları</li><li>• Cila oluşumu</li></ul>
<b>ÖNERİLER</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Enjektör ayarının kontrolü</li><li>• Yakıt pompası ayarlarının kontrolü</li><li>• Sürücü ve çalışma tekniklerinin incelenmesi</li></ul>	

### **Element Analizi**

Makine ekipmanları alıştıca, çalışan yağda aşınma metalleri depolanacaktır. Normal Şartlarda aşınma az miktarda olmalı ve zamanla düzgün olarak artmalıdır. Numunelerin düzenli ve zamanında alınması her zaman için analiz sonuçlarının doğru bir Şekilde yorumlanmasını sağlar. Aksi taktirde normal olmayan aşınma miktarlarının belirlenmesinde zorlanılır ve hasarlar önceden tespit edilemez duruma gelir.

Element analizinde aşındırıcı metaller ile birlikte, katkı elementi ve kirleticilerin miktarı da belirlenir. Ca, Mg, P, Zn, Mo, B katkı elementlerini oluştururken Fe, Cu, Cr, Al, Pb, Ni, Ag, Sn aşındırıcı elementleri oluşturur. Si, Na ise kirletici elementlerdir.

Aşınma elementlerinin bulunduğu kısımlar EKLER bölümünde Çizelge 8.1' de verilmiştir. Bu bilgilerle yağ içerisindeki aşınma elementlerinin seviyesi izlenerek hangi parçada problem olabileceği belirlenebilir.

### **3.2.2.2 Yağ durum analizi**

Yağ durum analizi, yağdaki bozulmayı inceler. Yağın kirlenmesi, aşırı ısınması, oksitlenmesi yağın bozulmasındaki birtakım sebeplerdendir.

Motor yağında; yakıt içerisinde bulunan sülfür ve nitrojenin yanmasıyla açığa çıkan kükürt dioksit ve azot dioksit gazlarının, yoğunlaşmadan kaynaklanan su ile tepkimeye girmesiyle sülfürik asit ve nitrik asit oluşur.

Yağ durum analizi ile; su karışımı, kurum oluşumu, oksidasyon, nitrasyon ve toplam baz numarası tespit edilmektedir.

Yağ durum analizi ile, yağın ne kadar bozulduğu ve bunun sebepleri belirlenebilir. (Ateş M.G.,2010)

EKLER bölümünde Çizelge 8.2'de yağ durum analiziyle saptanan motor yağındaki kimyasal bozulmaların sebepleri, bu bozulmanın araç üzerinde yaratacağı etkiler ve kimyasal bozulmanın oluşmaması için öneriler verilmiştir.

### **TBN analizi**

Bir yağın TBN değeri motor çalıştıkça zamanla düşecektir. Çünkü motor çalıştıkça, motor yağı içerisine oksidasyon ürünleri ve sülfür karışarak asitlik derecesi yükselmekte böylece TBN yani toplam baz numarası düşmektedir. TBN için rutin bakım ve yerinde test ile korozyon sorunları erken uyarı hakkında yararlı bilgiler sağlayabilir.

TBN' nin belirlenmesi için mevcut yöntemler iki ana kategoride sınıflandırılabilir.

- The American Society for Testing and Materials (ASTM) standart birincil kimyasal yöntemler (ASTM Standards, 1995)

- Basit, hızlı voltmetrik ölçümler veya basınç algılama teknolojilerine dayalı ikincil TBN sayaçları (Kauffman R.E., 1998)

ASTM standart metotları titrasyona tabii tutulur. Standart bir aside sahip (HCl veya HClO<sub>4</sub>) yağ içinde bulunan temel bileşenlerin tamamı baz numarası ile ifade edilir. Titrimetrik yöntemlere dayalı solvent bazlı bu yöntemler genellikle teoride kullanışlı fakat pratikte sorunludur.

İkinci yöntem ise ASTM yöntemindeki sorunları aşmak ve TBN ölçümlerini kolaylaştırmak için Approacch ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş bir cihazla yapılır (Wohltjen H. vd.,1994)

CaCO<sub>3</sub> deterjan içeren yağlar asitlendiğinde serbest haldeki CO<sub>2</sub> tarafından oluşturulan basınç ölçülür. Bu analitik yaklaşım, genellikle deniz makinalarının motorlarındaki yağların CaCO<sub>3</sub> formülü ile sınırlıdır. Diğer temel bileşenler için yanıt vermez. Kauffman tarafından çıkarılan voltmetrik yaklaşımın hem TBN hem de TAN analizi uygun olduğu görülmektedir. (Kauffman R.E., 1998)

### **Kinematik Viskozite**

Viskozite sıvıların akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Viskozite ne kadar büyükse sıvılar o kadar zor akacaktır. Bir yağın en önemli fiziksel özelliği viskozitesidir. Yağlar viskozitelerine göre sınıflandırılır. Endüstriyel kısımda viskozite 40°C de ölçülüp, cSt cinsinde sahip oldukları değerlere göre, ISO VG 46, 68, ... olarak sınıflandırılır. Buradaki VG İngilizce viscosity grades yani viskozite derecesinin kısaltılmasıdır ve VG harflerinin sağında yazan sayı hidrolik yağın derecesini gösterir. Otomotiv motor yağlarının viskoziteleri ise 100°C de ölçülüp SAE standartlarına göre, SAE 15w-40 gibi sınıflandırılır. Buradaki W İngilizce winter yani kış ayının kısaltılmasıdır ve W harfinin solunda yazan sayı motor yağının soğuk havalardaki viskozite derecesini, diğer sayı ise sıcak havalardaki viskozite derecesini gösterir. Yağ analizi sırasında yapılan viskozite testlerinde yağın cinsine göre ölçümü yapılacak olan sıcaklık değeri belirlenir(Castrol Labcheck).

### **Yakıt Seyrelmesi**

Yakıtın kartere inip yağ ile karışmasıyla, yağın incelmesidir. Yağın viskozite değeri düşer ve yağ görevini yapamaz duruma gelir. Bu durum motorda ciddi hasarlara yol açar.

### **Su/Antifriz Karışması**

Yanma reaksiyonu sonucu oluşan suyun yoğunlaşarak kartere inmesi veya soğutma sistemindeki arıza sebebiyle antifrizin yağa karışmasıdır. Bu durum ciddi hasara sebebiyet vereceği için motor yağı hemen değiştirilmelidir.

### **Toplam Baz Numarası (TBN)**

Bir motor yağının asitliliğini nötralize edebileceği baz katığı miktarı TBN değeri olarak adlandırılır. Birimi mg KOH/g' dır (Bir gram yağdaki mg cinsinden potasyum hidroksit miktarı). Kullanılan bu kimyasal alkalik baz katığının kimyasal adı Potasyum hidroksittir ve kimyasal formülü KOH' dur. Yağ motorda oluşan sülfürik asidi nötralize eder ve zamanla mevcut olan baz katığı tükenme noktasına gelir. TBN tayini ASTM (American Society for Testing and Materials – Amerikan Test ve Malzeme Derneği) yöntemlerinden ASTM D2896 ile yapılmaktadır.

### **Toplam Asit Numarası (TAN)**

Toplam asit numarası madeni yağdaki asitliğin tamamını veya bir kısmını nötralize etmek için gerekli olan KOH mg miktarının ölçüsünü belirler. Birimi mg KOH/g' dır (Bir gram yağı nötralize etmek için gerekli olan potasyum hidroksitin mg cinsinden ifadesi). TAN tayini ASTM (American Society for Testing and Materials – Amerikan Test ve Malzeme Derneği) yöntemlerinden ASTM D664 ile yapılmaktadır. Motor yağlarında TBN mevcutken şanzıman gibi kapalı sistem yağlarında ise TAN mevcuttur. Yağ ömrünün belirlenmesinde TBN ve TAN değerleri önemli birer unsurdur.

### **Oksidasyon**

Motor yağının oksijen ile yüksek sıcaklıkta tepkimeye girerek başka madde oluşturmaya oksidasyon denilir. Bu tepkime sonucunda oksidasyon ürünleri oluşur. Yağ rengi ne kadar koyulaşırsa oksidasyon ile yağın doyumu o oranda artar.

## **Nitrasyon**

Yanma reaksiyonu sonucunda oluşur. Yağda tortu oluşumu meydana gelerek yağ bozulur.

### **3.2.2.3 Parçacık sayım analizi**

Motor hariç diğer üniteler için uygulanan bu analiz aşınma elementleri analizi ile birlikte değerlendirildiği zaman arızaların önceden tespitinde fayda sağlamaktadır.

Yağların kirlilik seviyelerinin tespitinde 5 $\mu$  dan büyük olanlar ve 15  $\mu$  dan büyük olanlar diye ISO (The International Standards Organization) tarafından uygun bir kodlama sistemi geliştirmiştir. (Ateş M.G., 2010)

Parçacık sayımı analiz cihazı lazer ışını tekniği kullanarak 2-100  $\mu$  arası tüm parçacıkların sayımını yapar. Yağ, özel bir ışık kaynağından arasından geçirilir. Yağdaki parçacık bu ışından geçerken ışıkta bir takım değişimler meydana gelir ve bu değişimler sensörler tarafından algılanır. Sonuç olarak algılanan bu görüntüler ile parçacıkların sayısı ve boyutu belirlenmiş olur. (Ateş M.G., 2010)

### **Partikül Kirliliği**

Özellikle hidrolik ve dişli grup yağlarının kalitesinde önem arz etmekle birlikte diğer yağlama ünitelerinde de partikül kirliliği önemli bir unsurdur.(Castrol Labcheck)

Temiz yağın içerdiği 100 ml' deki partikül sayısıdır. Partiküllerin sayısı kadar boyutu da kirlilik açısından önemli birer unsurdur. Partikül boyutları 1-100  $\mu$ m arasında olabilir. Kirlilik partikülleri ISO 4406 ve NAS 1638 standartları ile ifade edilir. NAS 1638 standardı kirlilik seviyesini 1-12 arasında rakamlarla ifade ederken ISO 4406 standardı 1-30 arasında rakamlarla ifade eder. (Castrol Labcheck)

### **3.2.3 Motor yağlarının ömür tayini**

İş makinelerinde motor yağları aşağıdaki şartlarda değiştirmektedir:

- Bakım zamanı geldiğinde
- Yağ analiz sonuçlarının neticesinde çıkabilecek olumsuzluklarda
- Tecrübenin getirdiği gözlemlerle yapılan incelemeler neticesinde bir sorunla karşılaşıldığında

Yukardaki maddelere bakıldığında, en çok yağ değişiminin periyodik bakımlardan kaynaklı yapıldığı bilinmektedir. Yağ değişim zamanı belirlemede belirli bir kriter olmaksızın tamamen iş makineleri üreticileri inisiyatifine bırakılmış ve yağdaki bozulma durumu gözetilmeksizin bu periyodik zamana uyulmaktadır.

Diğer maddelere göre yapılan yağ değişiklikleri, iş makinesi yağında meydana gelen bozulmalar neticesinde yapılmaktadır. Yağ analiz sonuçlarına göre yağ değişiminin yapılabilmesi için aşağıdaki durumlarla karşılaşılması gerekmektedir. (Megep, 2011)

- Viskozitedeki değişim, motor yağına su veya mazot karışması
- Motor yağındaki kirlenme, motor yağına toz veya talaş birikmesi
- TBN düşüşü, motor yağının oksitleşmesi

İlk üç madde operatör veya tamir bakımıcısının tecrübesine bağlı olarak elle, gözle veya koklayarak kısmen tespit edebileceği arızalardır. Ancak güvenilirliği düşük olup çok bariz bir belirlenlik yoksa tavsiye edilen bir durum değildir.

Son madde hariç diğer tüm maddeler motorda meydana gelen arızalar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Motor üzerinde herhangi bir arıza meydana geldiğinde arıza sonucu yağ kirlenerek özelliğini kaybettiğinde yağ değişimi yapılır. Buna bağlı yağ değişimi yapıldığında sorunun yağın ömrünün bitmesine bağlı özelliğini kaybetmesinden kaynaklı değil de arızadan kaynaklı olduğunun ayırt edilmesinin büyük önemi vardır. Çünkü çözüm olarak sadece yağı değiştirmek sorunu çözmeyecektir. Yeni konulan motor yağına da yakıt karışacağından, yakıt kaçağını giderdikten sonra yeni motor yağını koymak gerekmektedir.

Yukarıda açıklamaya çalışılan husus, arıza sonucunda motor yağı değiştirildiğinde motor yağının ömrünün bitmiş anlamına gelmemektedir. Buradaki amaç, hiç arıza meydana gelmeden ve motor yağına dışarıdan bir sıvı karışımı olmadan motor yağının gerçek ömrü ne olur sorusunun cevabını bulmaktır.

Motor yağı değişim periyodunun yüksek saatlere çıkarmak için öncelikle motor yağının ömrünü kısaltan etkiler doğru belirlenmelidir. Diğer yağlar uzun süreler çalışabilmekte iken motor yağının neden kısa süreler çalıştığını ve buna etki eden değişkenlerin ne olduğunu doğru belirlenmesi, sonuca yaklaşılmasını kolaylaştıracaktır.

### 3.2.3.1 Motor Yağlarının Eskime Sebepleri

Mineral yağlar ham petrolün rafine işleminden sonra elde edilir ve yapısal olarak hidrokarbondan oluşmaktadır. Yağdaki hidrokarbonların % 75-85 Parafinler, % 13-20 Naftenler, % 6-10 Aromatikler' dir.

- Parafinler; düz zincirlerden oluşur.
- Naftenler; halka şeklindeki zincirlerden oluşur.
- Aromatikler; tek benzen halkası, çift naftelen halkası ve üç antrasen halkasından ibarettir.

Madeni yağların bozulmasında asıl önemli olan faktörlerin başında; oksidasyona maruz kalan motor yağında, fiziksel ve kimyasal değişimlerin meydana gelişi ve motor yağının yakıtın yanmasıyla birlikte kirlenmesidir.

Oksidasyon, bir yağın ömrünü azaltan en önemli faktördür. Bütün yağlar oksijene maruz kalmaları neticesinde oksitlenirler. Oksidasyon sonucu yağın rengi de kararır (Megep, 2011).

Yanma odasında ve piston etrafında karbon partikülleri birikir. Bu partiküllerin bir kısmı kartere geri döner. Yağ asitleşir ve yatakların korozyonuna sebep olur.

Lak, sıcak yüzeylerde bulunan motor yağını oksitlendirir. Oksidasyon lakı, parçaları birbirine yapıştırır. Lak'ın diğer adı verniktir (Megep, 2011).

Sıcaklık, oksidasyon hızına etki eden en büyük etkenlerden biridir. Her 8-10°C'lık yükselme reaksiyon hızını iki kat artırır. Yağların oksidasyonu 100°C'nin altında yavaş, 200°C'nin üzerinde ise hızlıdır (Megep, 2011).

Yanma reaksiyonundan dolayı oluşan ana maddeler; yakıt, su ve ıstır. Zengin karışım kullanılması nedenine bağlı olarak, henüz yanmamış yakıt, yanma odasından kartere sızarak yağın incelmeye sebep olur. Buda yağın viskozitesinin düşmesine sebep olur. Yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan su, motor sıcaklığı yüksek iken buhar halinde egzozdan dışarı atılır. Ancak motor soğuk iken su sıvı halde kartere iner ve yağ su ile karışarak hem incelir hem de oksitlenir. Böylece oksitlenen motor yağı bütün sisteme yayılarak korozyona sebebiyet verir.

Sonuç olarak motor yağının özelliğini kaybetmesinde iki etken önemlidir:

- Oksidasyona bağlı asidik etkinin artması
- Yağdaki kirlenme

Yukarıda belirttiğimiz iki etki motor yağının görevlerini yapabilmesini engellemekte ve buna bağlı olarak da motor verimini düşürmektedir. Bu sebeple motor yağının bu bozulmalarını ortadan kaldırmak ya da etkilerini azaltmak için önlemler alınmıştır. Oksidasyonu önlemek için ise asitlenmeyi önleyici katkı maddeleri kullanılmaktadır. Motor yağının içinde bu asitlenmeyi önleyici ne kadar katkı maddesi varsa yağ o kadar uzun ömürlü olacaktır.

Oksidasyon sonucunda oluşan asitlenme etkisi motor içerisinde korozyona sebep olmaktadır. Korozyon neticesinde motor parçaları aşınmakta ve motor ömrü azalmaktadır. Oksidasyona bağlı asitlenme etkisini arttıran birçok etmen vardır. Bu etmenlerin en önemlisi yakıttır. Bir araçta ne kadar fazla yakıt kullanılırsa o yağ eskimesi o kadar fazla olacaktır. Çünkü yağın korozyon etkisini en çok yakıt arttırmaktadır.

Her hangi bir arızası olmayan (yakıt kaçağı, su kaçağı, aşınma vb.) bir aracın periyodik bakımda motor yağının değişip değişmeyeceğine toplam baz sayısına (TBN) bakarak karar verilebilir. Çünkü TBN yağda oksidasyon sonucu oluşan asidik etkiyi nötrlemeye yarayan katkı maddelerinin miktarını ifade eder. Eğer bir motor yağı yeterli miktarda toplam baz sayısına sahipse oksidasyon sonucu oluşan asidik etkiye bağlı korozyon oluşmaz. Buda motor yağının ömrünün bitmediği anlamına gelir. Yani yeterli miktarda TBN varsa yağ hala kullanılabilir.

### **3.2.3.2 Motor Yağlarının TBN Değerine Göre Değişimi**

TBN motor yağ ömrünü tayin eden bir değerdir. Ancak buradaki ana soru hangi değere düştüğünde yağ değişimine karar verilmelidir. 13 TBN değerine sahip hiç kullanılmamış bir yağ alıp iş makinenize koyduğunuzda 6,5 TBN değerine kadar kullanabilirsiniz. 10 TBN değerine sahip bir yağ almışsanız, 5 TBN değerine düştüğünde değişime karar vermelisiniz. Burada kıstas genel bir kabul olarak ilk değerın yarısına kadardır. Eğer düzenli olarak yağ analizi sisteminiz ve laboratuvarınız varsa bu yağ değişim periyodunu kendinizin belirlemesi çok kolaydır. Eğer kendi analiz



sisteminiz ve laboratuvarınız yoksa yeni bir sahada uzun süre çalışacaksanız ve saha şartlarınız çok değişmeyecekse, ilk çalışma ayınızda bu analizleri yaptırarak o saha şartlarında motor yağı değişim periyodlarını kendiniz belirleyebilirsiniz (Gökalp B. vd., 2007: 661; Karataş H.R., 2015: 26).

Ancak burada şuna dikkat etmekte fayda vardır; aracınız motor yağı eksiltiyorsa ve devamlı olarak yağ takviyesi yapıyorsanız ve bu aracın TBN değerini takip ediyorsanız, TBN değerinin düşmediğini göreceksiniz. TBN testi trendi takip edilirken ek motor yağı eklenip eklenmediği bilinmelidir. Eğer bu bilinmiyorsa sonuçlar sizi yanıltacaktır.

Makine üreticileri motor yağı değişim periyodlarını en zor koşullara göre belirlediklerinden ve garanti kapsamı sürecinde motorun zarar görme riskini daha aza indirmek amacıyla periyodları kısa tutma yolunu seçmişlerdir.

İşletmelerin motor yağı değişimlerini TBN ölçümüyle belirlemeleri verimlilik açısından büyük önem kazanmaktadır. Bu yöntem gemi motorlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Hatta gemi motorlarında TBN düşüşü meydana geldiğinde yağı değiştirmek yerine, bir miktar eski yağ motordan alınarak onun yerine yeni yağ konulur. Böylece TBN değeri yükseltilir ve yağ kullanılmaya devam edilir.

#### 4. UYGULAMA VE TARTIŞMA

##### Bir dekapaj kamyonunun motor yağı analiz sonucu

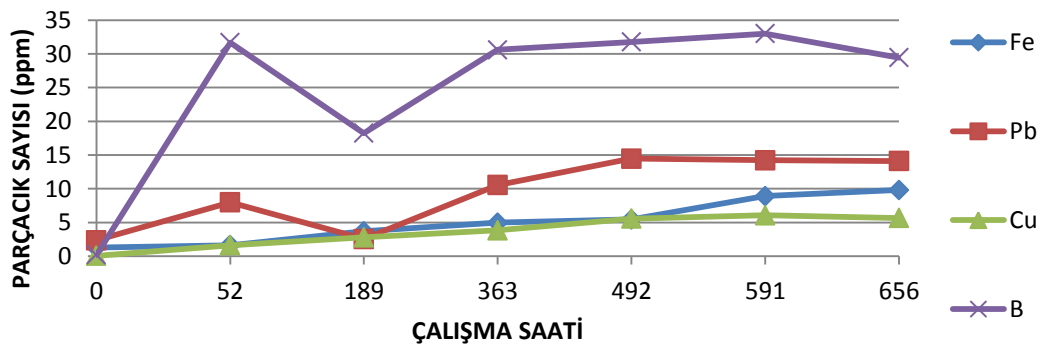
Çizelge 4.1’ de bilgileri verilen ve petrol ofisi (maximum turbo diesel) markalı 15W/40 mineral motor yağı kullanan bir dekapaj kamyonunun Şekil 4.1, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’ te element, moleküler ve viskozite analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.1. Analizi Yapılan Dekapaj Kamyonunun Bilgileri

Araç Kapı No	Makine Cinsi	Makine Modeli	Motor Seri No	Çalıştığı Bölge
415	Komatsu Kamyon	785-1	CY-34	Soma Açık Maden Ocağı

##### Element Analizi (15W/40)

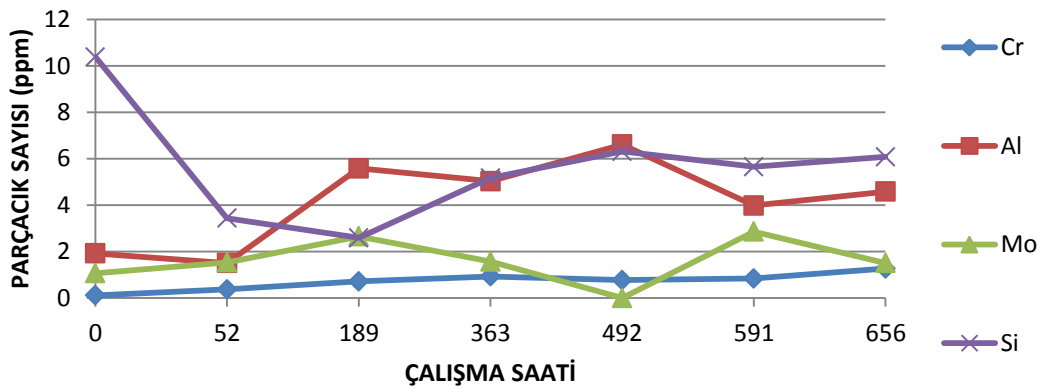
Şekil 4.1’ de görüldüğü üzere element analizi yapılan motor yağının kullanıma bağlı olarak içerdiği elementlerin tamamında artış gözlemlenmiştir. Bu artış miktarı belirgin bir ivmeyle artmamış, aksine inişli çıkışlı bir grafik oluşturmuştur. Ölçülen değerlerin, bu şekilde inişli çıkışlı bir grafik oluşturmasının başlıca sebepleri; numune alan kişinin numune alma kurallarına tam anlamıyla uyup uymaması, numune alım sırasındaki ve sonrasındaki çevresel faktörler, kullanılan filtrenin durumu, bazı motor parçalarının hasarlanması ve bu parçanın değişimiyle yağ analizindeki element miktarlarının değişimi olduğu tahmin edilmiştir.



Şekil 4.1. Element Analiz Sonucunun Yağ Çalışma Saatine Göre Değişimi

Örneğin; B(bor) miktarının birden artması soğutma sıvısında sızıntısı olabileceği gibi yağ katkısının etkisi de olabilir. Soğutma sıvısından kaynaklı sızıntı genellikle buharlaşmadan dolayıdır ve bir sonraki numune değeri asıl kıstası belirler. Şekil 4.1’ de görüldüğü üzere bor miktarındaki artış bir süre sonra durmuş ve dengelenmiştir. Motor yağındaki bor elementinin yükselme ve dengelenme zaman diliminde viskozite değerlerinde herhangi bir değişimin olmaması yağın hala kullanılabilir olduğunu gösterir. Ya da Pb(gümüş) miktarındaki artış yataklardaki bir arızanın varlığını delalet edebilir. Bu elementlerin, motordaki hangi arızaların tespitinde bize yol göstereceği Çizelge 8.1’ de gösterilmiştir. Bu tür artışlar element analizinde normal karşılanmakla birlikte artışın ani yükselişlerinde ve her numune alındığında bir önceki numune sonucuna kıyasla artışın ivmelenecek devam etmesi durumunda motor yağ değişimi yapılması gerekmektedir. Bu ani yükselişler, genellikle kullanılmamış motor yağ değerlerinin yüzlerce kat artması anlamına gelmektedir. Örneğin Fe için 0-120 ppm, Al için 0-7 ppm, Cr için 0-22 ppm, Cu için 0-47 ppm, Si için 0-40 ppm, Pb için 0-27 ppm aralıkları normal değer olarak kabul görmektedir. (Gökalp B. vd., 2007).

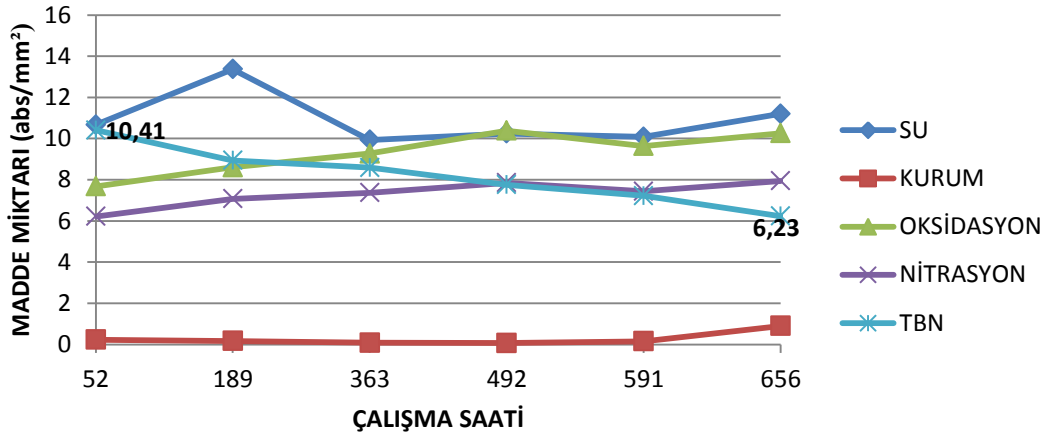
Şekil 4.2’de çalışma saatine göre miktarı Şekil 4.1’dekilerden daha az olan elementlerin analiz sonuçları verilmiştir. Grafikten de anlaşıldığı gibi ölçümü yapılan elementlerin değerlerinde göze çarpan ani değişimler meydana gelmemiştir. Silisyum miktarındaki düşüşün sebebi aracın hava filtresinin değişimi olduğu düşünülmektedir çünkü silisyumun varlığı motor yağında toz var uyarısı anlamına gelmektedir.



Şekil 4.2. Element Analiz Sonucunun Yağ Çalışma Saatine Göre Değişimi

### FT-IR Moleküler Analiz (15W/40)

Şekil 4.3’de analizi yapılan motor yağının yağ çalışma saatlerine göre su, kurum, oksidasyon, nitrasyon ve TBN ölçüm değerlerinin değişimleri gösterilmektedir. Grafikte dikkat edilecek unsurların başında TBN miktarındaki değişim gelmektedir. Zamanla düşmekte olan TBN miktarı, yağdaki artan oksidasyon miktarıyla ilişkilidir. Şekil 4.3’te gösterilen su, kurum ve nitrasyon miktarlarındaki değişim dikkate alınmayacak miktarlarda olduğu için bu makineye yağ değişim talebi sadece TBN miktarındaki düşüşten dolayı yapılmalıdır. Periyodik bakımda 200 saatte değiştirilen motor yağı TBN değeri baz alındığı zaman yaklaşık 600-700 saatlere kadar sorunsuz olarak kullanılabilir Şekil 4.3’de görülmektedir.

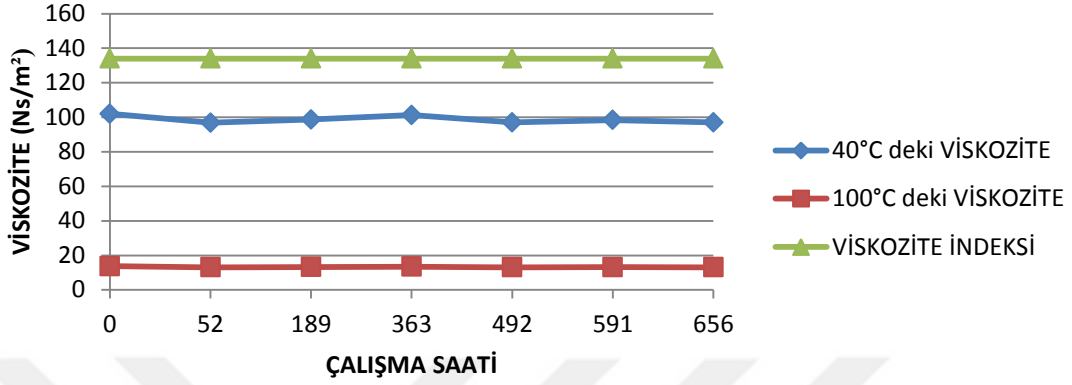


Şekil 4.3. Moleküler Analiz Sonucunun Yağ Çalışma Saatine Göre Değişimi

### Viskozite Analizi (15W/40)

Bir yağın viskozite değeri 40°C ve 100°C’ de ki değerlerine göre analizi yapılmaktadır. Kullanılan yağ; motor yağıysa 100°C, diğer mekanik kısım yağıysa 40°C’ de ki değeri baz alınır. Şekil 4.4’te verilen grafikte belirtilen yağ çalışma saatlerinde numuneye giden bir motor yağının 40 °C’deki ve 100°C’deki viskozite indeks değişimleri verilmiştir. Bir sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç dinamik viskozite (Ns/m<sup>2</sup>) olarak tanımlanırken, sıvının dinamik viskozitesinin aynı sıcaklıktaki yoğunluğuna oranı da kinematik viskozite (m<sup>2</sup>/s) olarak tanımlanır. Viskozite değeri, sıcaklığa bağlı olarak ve yağın temizliğine göre artar ya da azalır. Bu nedenden dolayı Şekil 4.4’te verilen kinematik viskozite ve viskozite indeks değerleri sabit

ilerlemektedir. Eğer bu viskozite değerlerinde yukarı ya da aşağıya doğru sũrekli bir artış ya da azalış olsaydı, yağa başka bir akışkanın karıştığı sonucuna varılırdı. Bu yabancı akışkan genellikle su veya mazottur. Molekũler analiz sayesinde yağa su veya mazot karışması kolayca anlaşılabilmektedir.



şekil 4.4. Viskozite Analizi Sonucunun Yağ Çalışma Saatine Gũre Değişimi

#### 4.1 TBN' ye Gũre Motor Yağ Değişimi Uygulaması

İş makinelerinde ve Dekapaj Kamyonlarında motor yağları genellikle periyodik bakımlarda değiştirilmektedir.

Periyodik bakımlardan kaynaklı yağ değişimleri tamamen üretici önerisi yönündedir ve herhangi bir arızadan kaynaklı değildir.

Yağ analizinde veya operatũrũn gözlemlemesi neticesinde gerçekteştirilecek motor yağ değişimleri, iş makinesinin motor yağında oluşmuş bozulmalar neticesinde gerçekteşir. Motor yağ analiz sonuçlarına gũre yağ değişimi aşağıda belirtilen maddeler neticesinde yapılmaktadır.

- Motor yağının viskozitesinin değişimi (sıfır yağdaki viskozite değerinin %35 inden fazla azalma varsa yağ değişim ikazı verir)
- Motor yağında su var (12 ppm ve üstũ değerlerde yağ değişim ikazı verir)
- Motor yağında yakıt var (Yakıt direkt olarak gözũkmez, yağda diğer arızalar olmadan viskozite dũřüřũ varsa motor yağında yakıt var ikazı anlamı taşır)

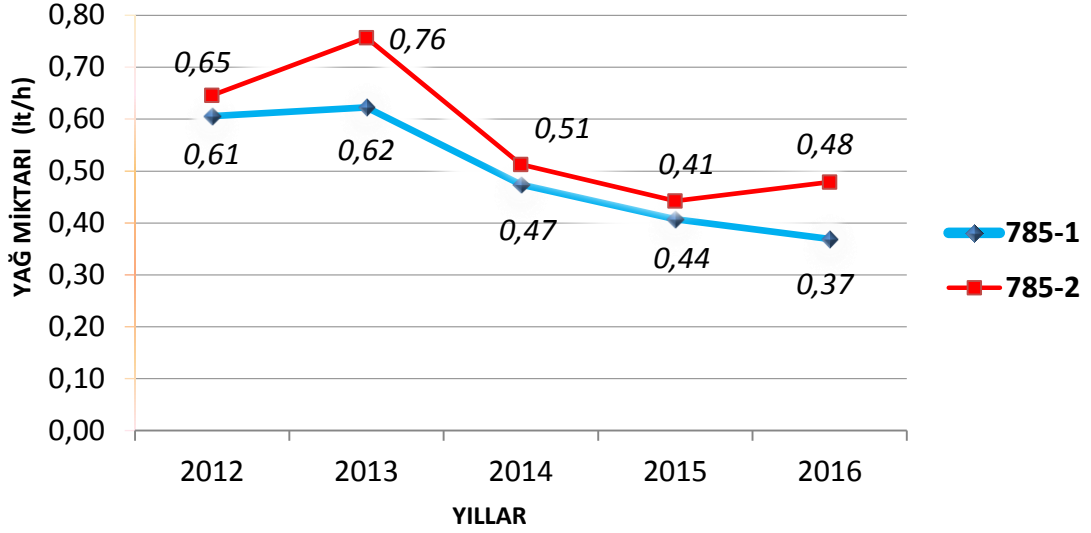
- Motor yağında toz var (silisyum değerine bakılır max. Silisyum değeri 20 olmalıdır.)
- Motor yağında talaş birikimi var (net bir aralık olmamakla birlikte ani yükselişlerde takip ikazı verilir, viskozitedeki ani düşüşü etkiler ve yağ değişim ikazı verilir)
- Oksidasyona bağlı TBN düşüşü (sıfır yağdaki değer yarısına geldiğinde TBN tükenmiş olur)

İlk üç madde operatör veya tamir bakımıcının tecrübesine bağlı olarak elle, gözle veya koklayarak kısmen tespit edebileceği arızalardır. Ancak güvenilirliği düşük olup çok bariz bir belirginlik yoksa tavsiye edilen bir durum değildir.

Son madde hariç diğer tüm maddeler motorda meydana gelen arızalar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Motor üzerinde herhangi bir arıza meydana geldiğinde arıza sonucu yağ kirlenerek özelliğini kaybettiğinde yağ değişimi yapılır. Buna bağlı yağ değişimi yapıldığında sorunun yağın ömrünün bitmesine bağlı özelliğini kaybetmesinden kaynaklı değil de arızadan kaynaklı olduğunun ayırt edilmesinin büyük önemi vardır. Yani, arıza sonucunda motor yağının değiştirilmesi motor yağın ömrünün bittiği anlamına gelmemektedir.

#### **4.1.1 ELİ dekapaj kamyonlarının yıllık motor yağı sarfiyat değişimi**

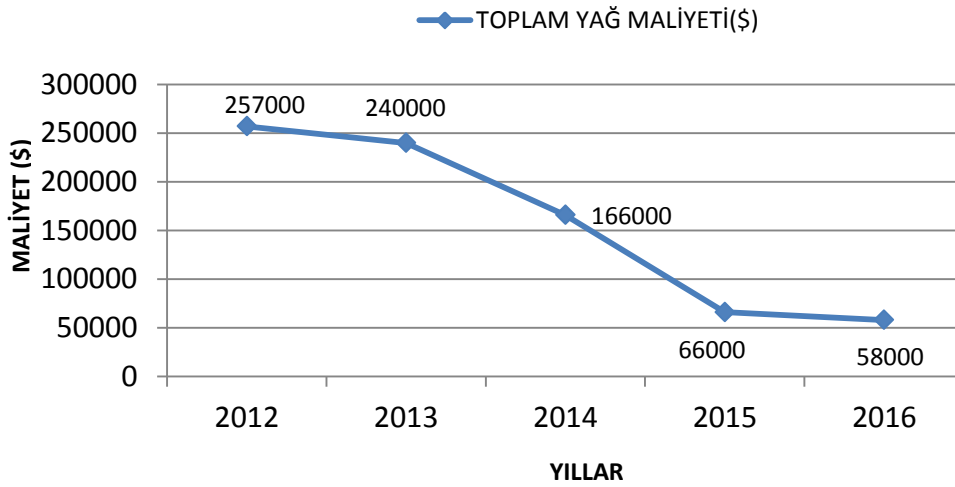
785-1 ve 785-2 Model Dekapaj Kamyonlarının 2012-2016 yılları arasındaki saatte tükettikleri motor yağ ortalamaları yukarıdaki veri tabloları kullanılarak Şekil 4.5' de ki grafik üzerinden incelediği zaman 2012-2013 yılları arasında 0,60lt/h-0,76lt/h aralığında bir saatlik yağ sarfiyat ortalaması görülür. 2014 yıllı ortalarında kontrollü bakım (TBN' ye göre motor yağ değişimi) uygulamasına geçilerek bu ortalama sarfiyatın 0,47lt/h' ye kadar düştüğü hatta ilerleyen yıllarda 0,37lt/h' ye kadar gerilediği görülmektedir.



Şekil 4.5. 785-1 ve 785-2 Model Dekapaj Kamyonlarının 5 Yıllık Saatte Tükettikleri Motor Yağ Ortalamaları

#### 4.1.2 ELİ dekapaj kamyonlarının yıllık motor yağı maliyet değişimi

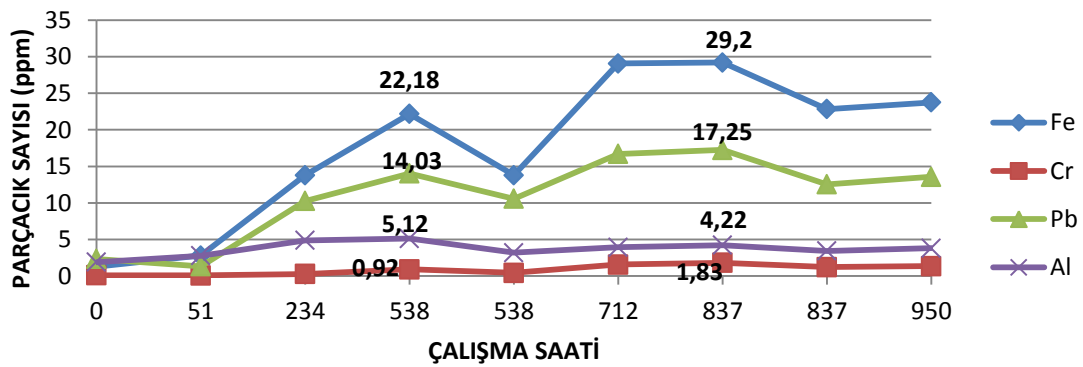
785-1 ve 785-2 Model Dekapaj Kamyonlarının 2012-2016 yılları arasındaki Tükettikleri Motor Yağı maliyetleri Şekil 4.6' de ki grafik üzerinden incelendiğinde 2012-2013 yılları arasında 250000 \$ ortalamasında miktar olduğu görülmektedir. 2014 yıllı ortalarında kontrollü bakım (TBN' ye göre motor yağ değişimi) uygulamasına geçilerek bu maliyetin 166000 \$' a hatta daha sonraki yıllarda 58000 \$' a kadar düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.6. Dekapaj Kamyonlarının 5 Yıllık Motor Yağ Tüketim Maliyetleri

## 4.2 Aşılama Metodunun Uygulanması

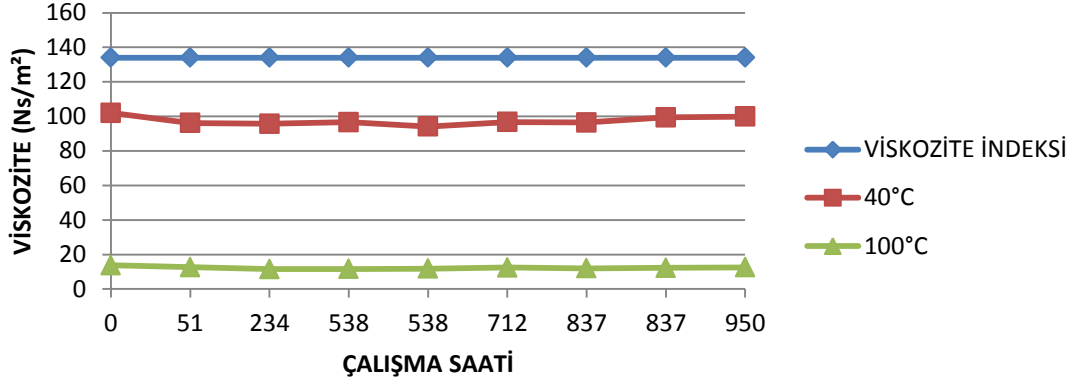
Şekil 4.7’ da motor yağ element analiz grafiğinde; motor yağında bulunan demir, krom, gümüş ve alüminyum elementlerinin yağ çalışma saatine göre değişimi gösterilmiştir. Farklı hızlarda artış eğilimi gösteren bu dört elementin miktarı, aşılamanın yapıldığı 538. ve 837. yağ çalışma saatlerinde düşmüştür. Dekapaj kamyonu çalışmaya devam ettikçe ve yağ çalışma saati arttıkça bu dört elementin motor yağı içindeki miktarı artmaya devam etmiştir.



Şekil 4.7. Element Analiz Sonucunun Yağ Çalışma Saatine Göre Değişimi (15W/40)

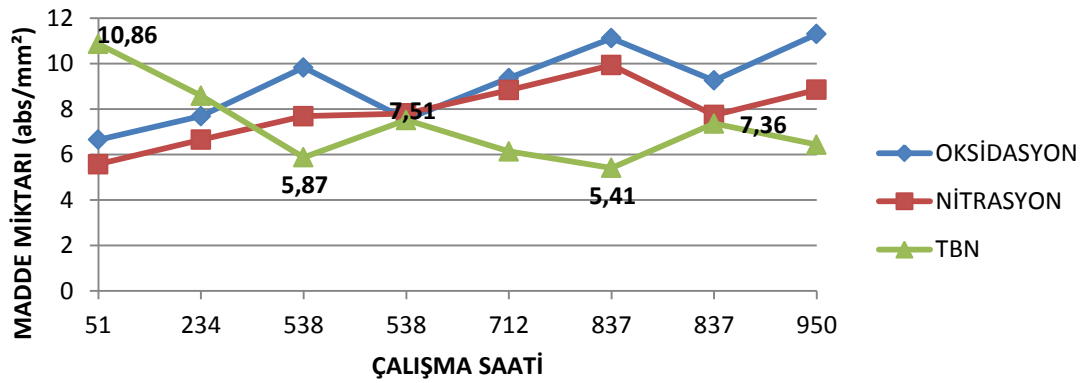
Şekil 4.8’ de gösterilen motor yağı viskozite analiz grafiğinde; motor yağının 40°C ve 100°C’ deki viskozite indeks değerinin motor yağ çalışma saatine göre değişimi gösterilmektedir. Grafikte de görüldüğü üzere motor yağı çalışma saati ilerledikçe ve hatta aşılamanın yapıldığı 538 ile 837. çalışma saatlerinde bile viskozite değerlerinde belirgin bir sapma olmadığı görülmüştür.





Şekil 4.8. Viskozite Analiz Sonucunun Yağ Çalışma Saatine Göre Değişimi (15W/40)

Şekil 4.9'de moleküler analiz sonucunun motor yağı çalışma saatine göre değişimi gösterilmiştir. Motor yağındaki oksidasyon ile TBN miktarları birbirine ters oranlı olarak değişmektedir. Yani yağdaki oksidasyon miktarı arttıkça motor yağında bulunan baz katkısı tükenir ve dolayısıyla TBN miktarı düşer. 538. motor yağı çalışma saatine kadar TBN miktarında düzenli azalma meydana gelmiş ve ilk aşılama yöntemi uygulanarak ölçüm tekrarlanmıştır. Yükselen TBN değeri ile aynı yağ 837. motor yağı çalışma saatine kadar sorunsuz bir şekilde kullanılmış ve aynı noktada tekrardan aşılama yöntemi uygulanarak 500-600 saat olan motor yağ ömrü 950 saat üstüne çıkarılmıştır. Bu işlemler uygulandıktan sonraki tüm analizlerde; gerek Şekil 4.7 element analizi gerekse Şekil 4.8 viskozite analizi sonuçlarında yağ değişimi gerektirecek bir sonuç meydana gelmemiştir. Aşılama işlemi, motorda herhangi bir arıza ve buna bağlı olarak element analizinde ani artışlar olmadığı sürece sürekli uygulanabilir.



Şekil 4.9. Moleküler Analiz Sonucunun Yağ Çalışma Saatine Göre Değişimi (15W/40)

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Literatürde, yağ ömrünün belirlenmesine yönelik olarak yağ analizlerinin yapıldığı ve yağ ömrünün artırılması için farklı metotların araştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu tez çalışmasında motor yağının periyodik sürelerde değiştirilmesi yerine;

1. Kontrollü bakım yani motor yağındaki TBN değerinin izlenerek belirli değerlerde değişim yapılması,

2. TBN değeri kritik seviyeye düşen yağın tamamının değiştirilmesi yerine belirli bir miktarının değiştirilmesi yani aşılama yapılması, durumlarında motor yağının kullanım ömrü ve maliyet tasarrufu araştırılmıştır.

### 5.1 Sonuçlar

Kontrollü bakım uygulamasında motor yağı, fiziksel-kimyasal değişikliğe ve kirlenmeye bağlı başka herhangi bir etken yoksa ilk alındığı zamanki TBN değeri, yarı değerine düşene kadar kullanılmaya devam edilmiştir. Komatsu 785-1 ve 785-2 model dekapaj kamyonlarda yapılan araştırma sonucunda motor yağının 10,5 olan ilk TBN değeri, 200 saatlik periyodik değişim zamanı sonucunda 8.74'e düşmüştür. Bu sonuç motor yağının periyodik değişim zamanının çok daha ötesine kadar kullanılabilceğini göstermiştir. Nitekim 492 saat çalışma sonunda TBN değeri kritik değer olan 5.25'in oldukça üzerinde olan 7.76 değerine kadar ancak düşmüştür. Böylece kontrollü bakım uygulaması ile motor yağından 2.5 kattan daha fazla oranda yararlanılabileceği gösterilmiştir.

Aşılama uygulamasının motor yağından yararlanma süresini ne şekilde etkileyeceği belirlemek için yapılan çalışmada ise yağın 538 saat çalışma sonucunda TBN değeri 10,92'den 5,87'ye kadar düşmüş, bu aşamada 135 litre olan toplam yağ hacminden 30 litresi alınarak yerine yeni yağ ilave edilmiştir. Sonuçta TBN değeri 5,87'den 7,51'e yükselmiş ve iş makinesi kullanılmaya devam edilmiştir. Bu aşılama sonucunda TBN değeri kritik seviyelere 837. çalışma saatinde düşmüştür. Dolayısıyla 30 litrelik aşılama 300 saat kadar ilave çalışma süresini mümkün kılmıştır. Aşılama miktarı kadar yağ ile motor ilk kullanımda 120 saat çalışırken aşılama yapıldığında bu

ömür 300 saate çıkmıştır. Buradan aşılama yönteminin motor yağından yararlanma süresini 2.5 kat artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu da önemli bir ekonomik kazanç demektir. Bu tez kapsamına ELİ' deki Komatsu 785-1 ve 785-2 model dekapaj kamyonlar için önerilen kontrollü bakım uygulaması ile periyodik değişimde 260.000 \$ olan yağ maliyeti 58.000 \$' a kadar azaltılmıştır. Bir kez aşılama uygulayarak ise bu rakam 38.000 \$'a kadar düşmüştür. Aşılama yönteminin TBN değeri kritik seviyeye her düşüşte tekrarlanmasıyla ekonomik kazancın daha da artırılması mümkündür.

## **5.2 Öneriler**

Ege Linyitleri İşletmesi' nde hâlihazırda kullanılmakta olan Komatsu markalı dekapaj kamyonlarının yağ filtre kapasitelerinin 30 litre olması göz önüne alınmış ve aşılama yöntemi 30 litrelik miktarlarla yapılmıştır. Bu miktarda yapılan aşılama yöntemi uygulanmış ve katkıları araştırılmıştır. Aşılama miktarının artırılarak (40, 45 ,50... litre) TBN' deki değişimin gözlemlenmesi ve bu değişkenliğin çalışma saati üzerindeki etkileri incelenmelidir. Aynı zamanda aşılama yönteminin ekonomiye katkısı bilindiğinden denenen aşılama miktarlarının maksimum çalışma saati - minimum yağ değişim miktarı araştırılmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

- Ateş M.G., (2010). Yağ Analizi (SOS). İmmb İş Makinaları Mühendisleri Birliği, Makaleler, Ağustos, 2010
- Çağlayan H., (2003). İş Makinalarında Yağ Analizi ve Önemi. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, İş Makinaları Sempozyumu ve Sergisi, 6-7 Eylül, 2003
- Gökalp B., (2005). Kullanılmış Motor Yağlarının İyileştirilmesi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 180 s.
- Gökalp B., Saraç H. İ., Çelik C., (2007). Yağ Analiz Programı ile Aşınmaya Bağlı Hasar Analizi. 8. Uluslararası Kırılma Konferansı Kitabı, 7-8 Kasım, 2007
- İpek R., Erdoğan M., (2006). Motor Yağı Takviyelerinin, Aşınma Mekanizmalarına Etkisinin Deneysel Araştırılması. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 12 s.
- Kauffman, R.E., "Rapid, Portable Voltammetric Techniques for Performing Antioxidant, Total Acid Number (TAN) and Total Base Number (TAN) Measurements," *Lubr. Eng.* 54, 1, pp. 39-46 (1998).
- Karataş H.R., (2015). Motor Yağlarının Ömür Tayini. İmmb İş Makinaları Mühendisleri Birliği, Makaleler, Kasım, 2015
- Megep Motorlu Taşıtlar Teknolojisi Periyodik Bakımı, Ankara, (2011)
- Orhan A., (2009). Yağ Analiz Yöntemiyle Yapılan Kestirimci Bakımda Motor Arızalarının Tespiti. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa, 152 s.
- "Standard Test Method for Acid and Base Number of Petroleum Products by Color-Indicator Titration," ASTM Designation D-974, Annual Book of ASTM Standards, Vol.5.01 (1995)
- "Standard Test Method for Base Number of Petroleum Products by Potentiometric Perchloric Acid Titration," ASTM Designation D-2896, Annual Book of ASTM Standards, Vol.5.01 (1995)
- Wohltjen, H., Jarvis, N.L., Klusty, M., Gorin, N., Fleck, C., Shay, G. and Smith, A., "Solid State Microsensors for Lubricant Condition Monitoring: II Total Base Number," *Lubr. Eng.* 50, 11, pp. 861-866 (1994)
- Yıldırım A., (1988). Spektrometrik Yağ Analizi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 78 s.

## 7. ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : İsmail Varol TARAKÇI  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Malatya 02/ 01 / 1988  
**Telefon** : 0 554 524 8338  
**Faks** : -  
**e-mail** : [tarakcii@eli.gov.tr](mailto:tarakcii@eli.gov.tr)

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Seyhan Çukurova Lisesi, Seyhan, Adana	2005
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği, Selçuklu, Konya	2012
Yüksek Lisans:		-
Doktora	:	-

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012-2013	Enerjik Yapı Denetim	Kontrol Mühendisi
2014-2015	Birko Koyunlu Halı	Bakım Mühendisi
2015-	TKİ Kurumu Ege Linyit İşletmesi	Saha Mühendisi

## 8. EKLER

EK-1

**Çizelge 8.1.** Aşınma elementlerinin bulunduğu mekanik kısımlar

<b>Demir (Fe)</b>	
<b>Motor</b>	Silindir, silindir gömleği, motor bloğu, krank mili, kam mili ve yataklar
<b>Şanzıman</b>	Dişliler, dişli kutusu, yataklar, pompalar, diskler ve fren bandı
<b>Diferansiyel-Cer</b>	Dişliler, dişli kutusu, yataklar ve PTO mili
<b>Hidrolik Sistem</b>	Pompa/motor, kanatçık, dişliler, pistonlar, kollar ve gövde

<b>Bakır (Cu)</b>	
<b>Motor</b>	Burçlar, yataklar, yağ soğutucusu, itme pulu, yağ pompası
<b>Şanzıman</b>	Kavrama, diskler, burçlar, itme pulu, yağ soğutucusu
<b>Diferansiyel-Cer</b>	Burçlar, itme pulu, yağ pompası
<b>Hidrolik Sistem</b>	Pompa pistonu, silindir kılavuzu, burçlar, yağ soğutucusu, itme plakası, hidrolik direksiyon sistemleri

<b>Alüminyum (Al)</b>	
<b>Motor</b>	Pistonlar, yataklar, motor bloğu, burçlar, muhafaza, yağ pompası, kam mili yatakları/burçları
<b>Şanzıman</b>	Pompalar, kavramalar, itme pulu, burçlar
<b>Diferansiyel-Cer</b>	Pompa burçları, itme pulları, yağ pompaları
<b>Hidrolik Sistem</b>	Pompa/motor gövdesi, silindir sistemi

<b>Krom (Cr)</b>	
<b>Motor</b>	Segmanlar, konik/rulman yatağı, silindir gömleği, egzoz valfi
<b>Şanzıman</b>	Konik/rulman yatağı
<b>Diferansiyel-Cer</b>	Konik rulman yatağı
<b>Hidrolik Sistem</b>	Kollar, subap makarası, konik/rulman yatağı

<b>Kurşun (Pb)</b>	
<b>Motor</b>	Yataklar, kurşunlu benzin kullanımı
<b>Şanzıman</b>	Yağ katkıları
<b>Diferansiyel-Cer</b>	Yağ katkıları

<b>Silisyum (Si)</b>	
<b>Motor</b>	Havadan gelen toz
<b>Şanzıman</b>	Disk kaplaması
<b>Diferansiyel-Cer</b>	Havadan gelen toz

<b>Sodyum (Na)</b>	
<b>Motor</b>	Antifriz, yol tuzu, havadan gelen toz, yağ katkıları
<b>Şanzıman</b>	Antifriz, yol tuzu, havadan gelen toz, yağ katkıları
<b>Diferansiyel-Cer</b>	Havadan gelen toz
<b>Hidrolik Sistem</b>	Antifriz, yol tuzu, havadan gelen toz, yağ katkıları

<b>Nikel (Ni)</b>	
<b>Motor</b>	Yataklar, valfler, valf kılavuzları, miller
<b>Şanzıman</b>	Yataklar, valfler, valf kılavuzları, miller
<b>Diferansiyel-Cer</b>	Yataklar, valfler, valf kılavuzları, miller

<b>Molibden (Mo)</b>	
<b>Motor</b>	Yatak ve segmanlarda kaplama veya yüzey sertleştirici, yağ katkıları
<b>Şanzıman</b>	Yağ katkıları
<b>Diferansiyel-Cer</b>	Yağ katkıları

<b>Kalay (Sn)</b>	
<b>Motor</b>	Piston ve yataklar, burçlar
<b>Şanzıman</b>	Koruyucu plaka/yüzey
<b>Diferansiyel-Cer</b>	Koruyucu plaka/yüzey
<b>Hidrolik Sistem</b>	Koruyucu plaka/yüzey



<b>Bor (B)</b>	
<b>Motor</b>	Soğutma sıvısı sızıntısı, yağ katkıları
<b>Şanzıman</b>	Soğutma sıvısı sızıntısı, yağ katkıları
<b>Diferansiyel-Cer</b>	Yağ katkıları
<b>Hidrolik Sistem</b>	Yağ katkıları

EK-2

**Çizelge 8.2.** Motor yağındaki kimyasal bozulmaların sebep - etki ve önerileri

<b>KİNEMATİK VİSKOZİTENİN DEĞİŞMESİ</b>	
<b>SEBEPLERİ</b>	<b>ETKİLERİ</b>
<b>YÜKSEK VİSKOZİTE</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurum/Katı maddeler</li> <li>• Tamamlanmamış yanma</li> <li>• Hava/Yakıt karışımı</li> <li>• Oksidasyon</li> <li>• Contalarda sızıntı</li> <li>• Yağ değişim aralığının uzaması</li> <li>• Yüksek çalışma sıcaklığı</li> <li>• Yanlış viskozitede yağ kullanımı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aşırı ısınma</li> <li>• Çalışma maliyetinde artış</li> <li>• Kısıtlı yağ akış hızı</li> <li>• Aşınma elementlerinde artış</li> <li>• Yağ filtresinin tıkanması</li> <li>• Zararlı tortu ve çamur oluşumu</li> </ul>
<b>DÜŞÜK VİSKOZİTE</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yağa su / antifiriz karışması</li> <li>• Yakıt seyrelmesi</li> <li>• Yanlış viskozitede yağ kullanımı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aşırı ısınma</li> <li>• Yetersiz yağlama</li> <li>• Metal metale temas</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Çalışma maliyetinde artış</li> <li>• Aşınmalarda artış</li> </ul>
<b>ÖNERİLER</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enjektör ayarlarının kontrolü</li> <li>• Yakıt pompası ayarlarının kontrolü</li> <li>• Sürücü ve çalışma tekniklerinin incelenmesi</li> <li>• Turbosarj performansının incelenmesi</li> <li>• Yakıt kalitesinin incelenmesi</li> </ul>	

<b>YAKIT SEYRELMEŞİ</b>	
<b>SEBEPLERİ</b>	<b>ETKİLERİ</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yanlış yakıt/hava oranı</li> <li>• Dur-kalk trafik</li> <li>• Hasarlı enjektörler</li> <li>• Kaçıran yakıt pompası ve hatları</li> <li>• Tam olmayan yanma</li> <li>• Yanlış yanma zamanlaması</li> <li>• Düşük yakıt kalitesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metal-metal teması</li> <li>• Yetersiz yağlama</li> <li>• Hızlanan aşınma</li> <li>• Düşük katık performansı</li> <li>• Alev alma riski</li> <li>• Düşük motor performansı</li> <li>• Kısalan ekipman</li> </ul>
<b>ÖNERİLER</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yakıt pompası ve hatları kontrol edilmeli</li> <li>• Sürücü ve çalışma teknikleri kontrol edilmeli</li> <li>• Yanma zamanlaması kontrol edilmeli</li> <li>• Yağ ve filtreler değişmeli</li> <li>• Ekipmanın uygulamaya uygunluğu kontrol edilmeli</li> </ul>	

<b>SU/ANTİFRİ KARIŞMASI</b>	
<b>SEBEPLERİ</b>	<b>ETKİLERİ</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük çalışma sıcaklığı</li> <li>• Hatalı contalar</li> <li>• Soğutma sıvısı karışması</li> <li>• Hatalı depolama</li> <li>• Kavitasyon (gömlükte delikler)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor arızası</li> <li>• Yüksek viskozite</li> <li>• Yetersiz yağlama</li> <li>• Korozyon</li> <li>• Yüksek motor sıcaklığı</li> <li>• Asit oluşumu</li> <li>• Zararlı birikinti oluşumu</li> <li>• Güç kaybı</li> <li>• Düşük katık</li> </ul>
<b>ÖNERİLER</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Doğru çalışma sıcaklığının, termostat ayarlarının kontrolü</li> <li>• Yağ ve filtre değişimi</li> <li>• Yeni yağın ve depolama şartlarının kontrolü</li> <li>• Sızdırmazlık elemanlarının kontrolü</li> <li>• Aracın ara ara kullanılmaması</li> </ul>	

<b>TBN' de DÜŞÜŞ</b>	
<b>SEBEPLERİ</b>	<b>ETKİLERİ</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uzun yağ değişim aralığı</li> <li>• Yüksek kükürt içeren yakıt</li> <li>• Aşırı ısınma</li> <li>• Uygun olmayan yağ kullanımı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korozyon</li> <li>• Katık tükenmesi</li> <li>• Kısa yağ ömrü</li> <li>• Yüksek asit seviyesi</li> </ul>

<b>ÖNERİLER</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Düşük kükürt içeren yakıt kullanılması</li><li>• Tavsiye edilen yağ değişim aralığını uygulamak</li><li>• Üstün kaliteli (tavsiye edilen) yağı kullanmak</li><li>• Ağır şartlar altında çalışıyorsa kısa yağ değişim aralığı uygulamak</li><li>• Yağ ve filtreler değiştirilmeli</li></ul>

<b>TAN' da ARTIŞ</b>	
<b>SEBEPLERİ</b>	<b>ETKİLERİ</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Uzun yağ değişim aralığı</li><li>• Aşırı ısınma</li><li>• Uygun olmayan yağ kullanımı</li><li>• Aşırı havalandırma</li><li>• Yakıtta yüksek kükürt (sülfür) oranı</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Korozyon</li><li>• Katık tükenmesi</li><li>• Kısa yağ ömrü</li><li>• Oksidasyon artışı</li><li>• Yağın bozulması</li><li>• Katkı maddesinin tükenmesi</li></ul>
<b>ÖNERİLER</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Tavsiye edilen yağ değişim aralığını uygulamak</li><li>• Üstün kaliteli yağ kullanmak</li><li>• Aşırı şartlar altında çalışıyorsa kısa yağ değişim aralığı uygulamak</li><li>• Yağ ve filtreler zamanında değiştirilmeli</li><li>• Çalışma sıcaklığının kontrol edilmesi</li><li>• Aşırı ısınmanın kontrol edilmesi</li><li>• Yağın değiştirilmesi</li><li>• Yakıt kalitesinin kontrol edilmesi</li></ul>	

<b>OKSİDASYON OLUŞUMU</b>	
<b>SEBEPLERİ</b>	<b>ETKİLERİ</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Uzun yağ değişim aralığı</li><li>• Aşırı ısınma</li><li>• Hatalı yağ ürünü/inhibitör mahiyetindeki katkılar</li><li>• Yanma yan ürünleri/havalandırma</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aşınmayı artırır</li><li>• Motor performansını düşürür</li><li>• Ekipmanın ömrünü kısaltır</li><li>• Yağın asitliğini artırır</li><li>• Yağın viskozitesini artırır</li><li>• Metal parçalarda korozyona sebep olur</li><li>• Yağın akışını engeller</li><li>• Cila tortuları oluşur</li><li>• Yağ filtreleri tıkanır</li><li>• Çalışma maliyeti artar</li></ul>
<b>ÖNERİLER</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Üstün kaliteli yağı kullanmak</li><li>• Kısa yağ değişim aralığı uygulamak</li><li>• Yağ ve filtre değiştirilmeli</li><li>• Çalışma sıcaklığı kontrol edilmeli</li><li>• Yakıt kalitesi kontrol edilmeli</li><li>• Yağın oksidasyon engelleyici bir katkı maddesi ile beraber kullanılması</li><li>• Parçaların tasarımının ve kullanım şartlarının değerlendirilmesi</li></ul>	

<b>NİTRASYON OLUŞUMU</b>	
<b>SEBEPLERİ</b>	<b>ETKİLERİ</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Düşük sıcaklıkta çalışma</li><li>• Ateşleme zamanının hatalı olması</li><li>• Motorun verimsiz çalışması</li><li>• Kusurlu karter havalandırması</li><li>• Motorun ağır şartlarda çalışması</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yetersiz yağlamaya sebep olur</li><li>• Yağın kalınlaşmasında hızlanma</li><li>• Asidik ürünler oluşur</li><li>• Silindir ve valflerde aşınmayı artırır</li><li>• Yağın asitliğini artırır</li><li>• Filtre ömrünü kısaltır</li><li>• Sübap ve pistonlarda tortu oluşur</li></ul>
<b>ÖNERİLER</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Eğer sıcaklık 80°C' nin altında ise karterdeki yağın çalışma sıcaklığını arttırmak</li><li>• Karterdeki havalandırma ve valflerin kontrol edilmesi</li><li>• Uygun hava ve yakıt oranı sağlamak</li><li>• Çalışma sıcaklığının kontrol edilmesi</li><li>• Silindirlerde kaçak kontrolünün yapılması</li><li>• Sıkıştırma testi uygulanması</li></ul>	