

**GERİ KAZANILMIŞ MOTOR YAĞLARININ TRİBOLOJİK
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

Murat Bedri TUĞAÇ

**Danışman
Doç. Dr. Ertuğrul DURAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ISPARTA - 2006

**GERİ KAZANILMIŞ MOTOR YAĞLARININ TRIBOLOJİK
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

Murat Bedri TUĞAÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2006**

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GERİ KAZANILMIŞ MOTOR YAĞLARININ TRİBOLOJİK
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

Murat Bedri TUĞAÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2006**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL	7
3.1. Taşıt Yağlarının Tarihi Geçmişi	7
3.2. Taşıt Yağlarında Eskimeye Bağlı Değişimler	8
3.3. Kullanılmış Yağların Tanımı	11
3.3.1. Kullanılmış Yağlar	13
3.3.2. Kullanılmış Yağların Karakterizasyonu	14
3.3.3. Kullanılmış Yağ Nerede Kullanılabilir	16
3.3.3.1. Yüzey Isıtıcıları	17
3.3.3.2. Kullanılmış Yağların Enerji Üretim Santrallerinde Kullanımı	18
3.3.3.3. Kullanılmış Yağların Çimento, Kireç ve Çelik Üretim Tesislerinde Kullanımı	20
3.4. Kullanılmış Yağların Geri Kazanım Prosesleri	20
3.4.1. Atık Yağın Geri Kazanılma İşlemlerinin Dünyadaki Uygulamaları	22
3.4.2. Asit Kil Prosesi	24
3.4.3. Cairo'da Kullanılan Rafinerizasyon Metodu	25
3.4.4. Solvent Ekstraksiyonu	27
3.5. Fiziksel ve/vaya Kimyasal İşlem	31
3.5.1. Mohawk CEP Prosesi	31
3.5.2. Prop Prosesi	34

3.6. Kullanılmış Taşıt Yağının Hidrokarbon Çözücüler Kullanılarak Geri Dönüşümü	36
3.6.1. LPG Sıvısı Kullanılması Ve Sonuçları	38
3.7. Sistemlerin Ekonomik Değerlendirmesi	40
3.7.1 Asit Kil Prosesi	40
3.7.2. Mohawk Prosesi	41
3.7.3. Solvent Ekstraksiyonu	41
3.7.4. Prop Prosesi	41
3.8. Kullanılmış Motor Yağının Çevre Üzerine Etkisi	42
3.8.1. Sulara Etkisi	42
3.8.2. Toprağa Etkisi	45
3.9. Taşıtlarda Yağlama ve Yağ Seçimi	47
3.9.1. Taşıtlarda Yağlama ve Çevre İlişkisi	49
4. METOT	52
4.1. Sabit Yüklü Radyal Kaymalı Yatakta Sürtünme Katsayısı Ölçümleri	52
4.2. Sabit Yüklü Radyal Kaymalı Yatakta Sürtünme Deneylerinin Yapılışı	55
4.3. Pim Disk Deney Setinde Yapılan Deneysel Çalışma	57
5. BULGULAR	63
5.1. Sabit Yüklü Radyal Kaymalı Yatakta Elde Edilen Deneysel Bulgular	63
5.2. Pim Disk Test Cihazında Elde Edilen Deneysel Bulgular	67
6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	77
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	85

ÖZET
GERİ KAZANILMIŞ MOTOR YAĞLARININ
TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Bir taşıtta sürtünme ve aşınmanın azaltılması büyük oranda geliştirilmiş yağlamanın bir fonksiyonudur. Bu nedenle, yağlayıcılar günümüzde taşıtların tribolojik bileşenlerindeki aşınma ve sürtünmeyi azaltmak için sürekli araştırılıp incelenmektedir. Triboloji sürtünmenin azaltılması ve aşınmanın kontrol edilmesi ile enerji ve kaynakların korunması şeklinde çevre korumasına büyük oranda katkıda bulunmaktadır.

Bu çalışmada kullanılmış taşıt yağlarından tekrar rafine edilerek kazanılmış baz taşıt yağlarının sürtünme, aşınma gibi tribolojik özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Geçmişte olduğu gibi günümüzde de iyi bir yağlama sağlıklı bir motorun garantisidir. Üstelik modern motorlar yağlardan çok daha fazla şey beklemektedir. Motorlarda kullanılan yağın birçok talebi yerine getirmesi gerekmekte olup en önemli görevi hareketli makine elemanlarının yağlanmasıdır. makine elemanlarının birbirine sürtünmesi güç kaybına ve aşınmaya neden olduğundan aralarında meydana getirilen yağ tabakası birbirlerine temas etmelerini engellemektedir.

Yağların geri kazanımı farklı firmaların geliştirdiği atık yağların yeniden rafinasyonu ile ilgili çeşitli prosesler bulunmaktadır. Fiziksel ve Kimyasal işlem şeklinde ayırmak mümkündür. Çeşitli fazlarda elde edilen baz yağlar ve bunların bir kısmına katkı maddeleri eklemek suretiyle kullanım alanına göre tekrar dünya piyasasına pazarlanmaktadır.

Deneysel çalışma ile geri kazanılmış baz yağların farklı hız ve yükte 25 °C ve 100°C sıcaklıklarda kaymalı yatakta oluşan sürtünme katsayıları ölçülmüştür. Ayrıca Pim disk cihazında söz konusu geri dönüşümlü baz yağın sınır ve karışık yağlama rejiminde sürtünme katsayısı ve aşınma kayıpları ile pim numunelerinin yüzeyleri mikroskopta incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geri Dönüşümlü Yağlar, Yağlama, Taşıt, Çevre ve Triboloji

ABSTRACT
THE EXPERIMENTAL STUDY OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES
RECYCLING ENGINE OIL

Reducing of friction and wear in the vehicle is a largely function advanced lubrication. Therefore, nowadays advanced lubricant has continuous been studied and investigated in order to reduce friction and wear in the tribological components of vehicles. Tribology contributes to environmental protection in the form of energy and resource conservation by reducing friction and controlling wear.

In this study, reusable and refined vehicle lubricants are experimentally researched. etc. friction, wear and tribological characteristics. Nowadays, a good lubrication still guaranties a healthy engine like in formerly. In addition modern engines attend more from lubricants. Lubricants that use from vehicles should settle some claims and the most important function is to lubricate the machine elements. Friction of machine elements causes losing power and wear. Lubrication makes a film on the items and frustrates the contacts.

There are some processes about re-refining of waste oils which produced by different companies. There are two type of process; physical and chemical. Base oils that come out from various phases can market to all over the world again with using some additions which depends on where they will be used.

In this experimental thesis, recycled and reusable vehicle base oil lubricant's friction, coefficients in the journal bearing under steady loads were measured in different speeds and loads for 25°C and 100°C temperatures. This base oil's friction and wear properties were studied boundary and mixed lubrication regimes with Pin – on disc set. Also, surfaces of the test pin specimen were examined by microscopy.

Key Words: *Recycling Lubricating Oils, Lubrication, Vehicle, Environment, Tribology*

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında beni yönlendiren değerli hocam Sn. Doç. Dr. Ertuğrul DURAK' a, laboratuvar çalışmaları sırasında yardımlarını esirgemeyen Sn. Arş. Gör. Recai Fatih TUNAY ve Sn. Arş. Gör. Kenan TÜFEKÇİ' ye, deney aşamasında kullanılan baz yağının yurt dışından temini sırasında yardımcı olan MineralÄ 1-Raffinerie Dollbergen GmbH firmasından Sn. Dr. Detlev Bruhnke'ye, deney düzeneğinin hazırlanmasında yardımcı olan Elektrik Teknikeri Sn. Hasan ÖZCİĞER' e, pim numunelerinin hazırlanmasında ve yüzey pürüzlüklerinin ölçümünde yardımlarını esirgemeyen Sn. Arş.Gör. Özlem SALMAN'a ve tez aşaması süresince yardımlarını esirgemeyen aileme ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Haziran 2006
Murat Bedri TUĞAÇ

Şekiller Dizini	Sayfa	
Şekil 3.1	Kullanılmış Yağ Kullanan Bir Isıtıcı	19
Şekil 3.2.	Asit-Kil Prosesi Akış Diyagramı	24
Şekil 3.3.	Cairo’da Kullanılan Rafinasyon Metodu	26
Şekil 3.4.	Solvent Ekstraksiyonu ile geri kazanım prosesi akış Diyagramı	28
Şekil 3.5.	Bekletme Tankı	30
Şekil 3.6.	Mohawk CEP Prosesi ile Kullanılmış Yağın Fiziksel Geri Kazanım Akış Diyagramı	32
Şekil 3.7.	Ince Film Evaporatörü	33
Şekil 3.8.	PROP Prosesi Akış Şeması	34
Şekil 3.9.	PROP Tesisi İçin Akış Diyagramı	36
Şekil 3.10.	Basitleştirilmiş Solvent Extraction Process Akış Diyagramı.	39
Şekil 3.11.	Bazı yağ türlerinin Suda Dağılma Hızı	43
Şekil 3.12.	Kullanılmış yağların gelişi güzel sulara bırakılması	45
Şekil 3.13.	Kullanılmış Yağların Toprakta Oluşturduğu Kirlilik	46
Şekil 3.14.	Kullanılmış yağın geri kazanım aşamaları	47
Şekil 4.1.	Deney Düzeneginin Şematik Resmi	53
Şekil 4.2.	Deney düzeneginin fotoğrafı	54
Şekil 4.3.	Deney seti ölçüm ve verilerin depolandığı bilgisayar	54
Şekil 4.4.	Yağ deposu ve Isıtıcı ünitesi	55
Şekil 4.5.	Pim Disk Aşınma deney düzeneginin şematik görünümü	59
Şekil 4.6.	Pim Disk Aşınma deney düzeneginin fotoğrafı	60
Şekil 4.7.	Pim Disk Aşınma deney düzeneginin detay fotoğrafı	60

Şekil 4.8.	Deneyslerde kullanılan pim örneği fotoğrafı ve ölçüleri	61
Şekil 5.1.	Oda sıcaklığında 200 N yükte ve 150–450–900–1200 d/d Hızda yatakta oluşan sürtünme katsayısının zamanla değişimi	63
Şekil 5.2.	Oda sıcaklığında 300 N yükte ve 150–450–900–1200 d/d Hızda yatakta oluşan sürtünme katsayısının zamanla değişimi	64
Şekil 5.3.	Oda sıcaklığında 400 N yükte ve 150–450–900–1200 d/d Hızda yatakta oluşan sürtünme katsayısının zamanla değişimi	64
Şekil 5.4.	Oda sıcaklığında 200 -300–400 N yükte ve 150–450–900–1200 d/d hızda yatakta oluşan sürtünme katsayısının Zamanla değişimi	65
Şekil 5.5.	100 ° C Sıcaklığında 200 N yükte ve 150–450–900–1200 d/d Hızda yatakta oluşan sürtünme Katsayısının zamanla değişimi	65
Şekil 5.6.	100 ° C Sıcaklığında 300 N yükte ve 150–450–900–1200 d/d Hızda yatakta oluşan sürtünme Katsayısının zamanla değişimi	66
Şekil 5.7.	100 ° C Sıcaklığında 400 N yükte ve 150–450–900–1200 d/d Hızda yatakta oluşan sürtünme Katsayısının zamanla değişimi	66
Şekil 5.8.	100 ° C Sıcaklığında 200–300–400 N yükte ve 150–450–900–1200 d/d hızda yatakta oluşan sürtünme Katsayısının zamanla değişimi	67
Şekil 5.9.	Sınır yağlama rejiminde 600 d/d hızda sürtünme katsayıları değişimi	68
Şekil 5.10.	Sınır yağlama rejiminde 900 d/d hızda sürtünme katsayıları değişimi	68
Şekil 5.11.	Sınır yağlama rejiminde 1200 d/d hızda sürtünme katsayıları değişimi	69
Şekil 5.12.	Karışık yağlama rejiminde 600 d/d hızda sürtünme katsayıları değişimi	69
Şekil 5.13.	Karışık yağlama rejiminde 900 d/d hızda sürtünme katsayıları değişimi	70
Şekil 5.14.	Karışık yağlama rejiminde 1200 d/d hızda sürtünme katsayıları değişimi	70
Şekil 5.15.	Kullanılmamış pimin yüzey fotoğrafı	72
Şekil 5.16.	F=50 N ve 600 d/d sınır yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı	72

Şekil 5.17.	F=50 N ve 1200 d/d sınır yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı	73
Şekil 5.18.	F=100 N ve 600 d/d sınır yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı	73
Şekil 5.19.	F=100 N ve 1200 d/d sınır yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı	74
Şekil 5.20.	F=50 N ve 600 d/d karışık yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı	74
Şekil 5.21	. F=50 N ve 1200 d/d karışık yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı	75
Şekil 5.22.	F=100 N ve 600 d/d karışık yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı	75
Şekil 5.23.	F=100 N ve 1200 d/d karışık yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı	76

Çizelgeler Dizini	Sayfa
Çizelge 3.1. Benzinli motorlarda kullanılan motor yağı	14
Çizelge 3.2. Madeni atık yağda bulunan kirletici limitleri	15
Çizelge 3.3. Çözücü sistemleri ve solvent:yağ oranlarının karşılaştırılması	29
Çizelge 3.4. Karıştırma ve bekletme zamanlarının geri kazanılan yağdaki kül konsantrasyonu üzerindeki etkileri	31
Çizelge 3.5. Proseslerin maliyetlerinin karşılaştırılması	42
Çizelge 4.1 Geri dönüşümlü test baz yağının özellikleri	52
Çizelge 4.2. Deney numunelerinin bazı özellikleri	62
Çizelge 5.1. Pim disk cihazında elde edilen ortalama sürtünme katsayıları	71
Çizelge 5.2. Pim disk cihazında elde edilen aşınma miktarları	71

1.GİRİŞ

Kullanılmış motor yağlarını; taşıtın cinsine göre üretici firmalarca tavsiye edilen yağ değiştirme periyodu sonunda motordan alınan ve başlangıçtaki birtakım özelliklerini kaybetmiş, içersinde yabancı partikülleri ve artıkları içeren yağlar şeklinde tarif etmek mümkündür.

Sanayileşme ve konfor yapısının artması ile birlikte taşıt sayısı da hızlı şekilde artmaktadır. Taşıt sayısının artması ile taşıt yağı tüketimi de artmaktadır. Piyasadaki mineral yağlarının yaklaşık olarak %70'i motorlu taşıtlarda kullanılmaktadır(Öztürk, M., 2005).

Dünyada günde 10 milyon ton petrol ve petrol ürünleri kullanılmaktadır. Yağ endüstrimizin ve günlük hayatımızın bir parçasıdır. Dolayısıyla yağlar kullanılırken çevreye zarar vermeden yönetilmesi gerekmektedir. Dökülen yağları temizleme maliyeti oldukça pahalıdır. Dökülen yerin durumuna ve yağların özelliklerine bağlı olarak bir litre dökülen yağı temizleme maliyeti 20-200 dolar arasında değişmektedir. Özellikle sahilleri temizleme maliyeti çok daha pahalı olmaktadır(Öztürk, M., 2005).

Kullanılmış motor yağlarından tekrar rafine edilerek yeniden taşıtlarda kullanılabilen geri dönüşümlü baz yağlarının sürtünme, aşınma gibi tribolojik özellikleri deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır. Geçmişte olduğu gibi günümüzde de iyi bir yağlama sağlıklı bir motorun garantisidir. Üstelik modern motorlar yağlardan çok daha fazla şey beklemektedir. Motorlarda kullanılan yağın bir çok talebi yerine getirmesi gerekmekte olup en önemli görevi hareketli makine elemanlarının yağlanmasıdır. Makine elemanlarının birbirine sürtünmesi güç kaybına ve aşınmaya neden olduğundan, birbiri ile eş çalışan hareketli makine elemanları arasında meydana getirilen yağ film tabakası ile birbiriyle temasları engellenmektedir.

Yağların geri kazanımı için farklı firmaların geliştirdiği atık yağların yeniden rafinasyonu ile ilgili çeşitli prosesler bulunmaktadır. Bunları genel olarak; Asit-Kil, Solvent Ekstraksiyonu, Fiziksel ve/veya Kimyasal İşlem şeklinde ayırmak mümkündür. Çeşitli evsafda elde edilen baz yağlar ve bunların bir kısmına katkı

maddeleri eklemek suretiyle kullanım alanına göre tekrar dünya piyasasında pazarlanmaktadır.

Bu çalışmada geri kazanılmış baz yağlarının sürtünme katsayısı ve aşınma kayıpları deneysel olarak incelenmiştir. Bunun için iki farklı deney düzeneğinde farklı çalışma şartları için deneyler yapılmıştır. Bu deney cihazları sabit yüklü radyal kaymalı yatak deney düzeneğinde sürtünme katsayısı ölçümü ve sürtünme ve aşınma kaybı ölçümü için pim disk aşınma cihazıdır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Rene Avrillon ve Daniel Defives tarafından 1977 yılında alınan ABD patentinde (US 4.045.330) kullanılmış yağlar, katı adsorbsiyon reçinesi üzerinden geçirilmiştir. Bu şekilde yağ içinden reçine yüzeyine adsorblanmış olan kirlilikler daha sonra organik bir çözücü ile desorbe edilerek uzaklaştırılır. Bu reçine gramında 0,1 cm³ gözenek hacmine sahiptir ve içerdiği gözeneklerin çapı 6–300 Armstrong arasında değişmektedir(Gökalp, B.,2006).

Erich-Klaus Martin ve Adekunle Onabajo, 1992’de aldıkları ABD patentinde (US 5.141.628) atık yağların geri kazanılması için farklı bir yöntem önermişlerdir. Bu patentte atık yağ kaba bir filtreleme işleminden sonra sulu cam suyu çözeltisi (%0,5-%2,5) ve polialken glikol (%0,25-%2,5) çözeltisi ile karıştırılmaktadır. Yüksek (70°C–90°C) sıcaklıklarda daha sonra bu karışım çöktürme işlemine bırakılmakta ve ayrılan yağ fazı damıtma (100–140°C, 3kPa – 130 kPa) ile fraksiyonlandırılmaktadır (Gökalp, B.,2006).

Moore’un aldığı ABD patentinde (US 6.068.759) organo metalik bileşenler içeren kirlenmiş yağların geri kazanılması için bir proses geliştirmiştir. Bu proseste kullanılmış yağ içerisinde sıcak buhar geçirilerek organo-metalik bileşenlerin parçalanması sağlanmaktadır. Bu bozulmanın ürünleri reaktörün alt kısmından uzaklaştırılmakta ve damıtılabilir nitelikteki hidrokarbonlar ve gazlar üst kısımdan yoğunlaştırılarak alınmaktadır(Gökalp, B.,2006).

Peaslee ve Roberts (1997), kullanılmış otomobil yağ filtreleri ve yağ filtrelerinin içerisinde kalan atık yağların geri kazanılması ile ilgili yaptıkları araştırmada geri kazanmada en önemli faktörün filtrenin tasarımı olduğu, kullanılmış bir filtrenin ağırlıkça %30-50 arasında atık yağ, %45-60 arasında çelik malzeme, %6–28 selüloz maddesi içerdiğini belirttiktedirler.

1997’de Kyota’da düzenlenen Dünya Çevre Konferansı’nda çevreye atılan petrol atıklarının azaltılması gerçeği vurgulanmıştır. Gerçekte dünyada 1995 yılında atık

yağların % 45'den daha az bir kısmının toplanabildiği açıklanmıştır. Geri kalan %55 kısmı ya yanlış yerde kullanım ya da son kullanıcı tarafından çevreye atılmaktadır. Gerçekte 1 litre atık-yağın tekrar işlenmesi için yaklaşık 8000 kJ'lük bir yakıt enerjisine; bu da 100 watt'lık bir ampülün bir gün yakılmasına veya 1000 watt'lık bir elektrikli ısıtıcının 2 saat çalıştırılması için gerekli olan enerji miktarıdır. Ayrıca 1 litre motor yağı elde etmek için 67 litre ham petrole ihtiyaç varken, aynı işlem için 1,6 litre atık yağın yeterli olduğu belirtilmektedir(El-Fadel, M., Khoury, R., 2001).

Durak (1999) farklı yükleme şartlarında yağ ve yağ katkı maddelerinin radyal kaymalı yatakların performansına etkileri deneysel olarak incelemiştir. Yağ katkı maddelerinin yatak performansına etkisinin yağ katkı maddesi cinsi ve konsantrasyon oranı etkili olduğunu belirtmiştir.

Tunay (2001), yaptığı yüksek lisans çalışmasında T/M esaslı sinter bronz yatakların tribolojik özelliklerini tam değişken gerilme altında deneysel olarak incelemiştir. Hem sürtünme hem de aşınma deneylerinde T/M esaslı kendinden yağlamalı sinter bronz yataklarda, dışarıdan yağ beslemesi yapılmadığı durumlarda düşük sürtünme katsayıları tespit etmiştir.

Tüfekçi (2002), yaptığı yüksek lisans tezinde T/M esaslı yatakların farklı malzemelerden imal edilen kendinden yağlamalı radyal yatakların farklı sıcaklıklardaki sürtünme ve aşınma özelliklerini deneysel olarak incelemiş ve etki eden parametreler belirlenmeye çalışılmıştır.

Kurbanoğlu vd. (2001), değişken yüklü T/M esaslı radyal kaymalı yatakta oluşan sürtünme kuvvetini ölçebilen ve elde edilen verileri bilgisayara aktarabilen bir deney düzeneği gerçekleştirmişlerdir. Söz konusu deney seti ile T/M esaslı yatakların aşınma ve sürtünme gibi tribolojik özelliklerine yağın ve yağ katıklarının, yağ debisinin, yağ sıcaklığının, yağ besleme basıncının, yükün ve mil hızı gibi faktörlerin etkisini incelemek mümkün olmaktadır. Yaptıkları ilk deneylerde, 200N'luk yatak kuvvetinde sinter bronz yatakların sıvı sürtünme bölgesinde çalıştığını bulmuşlardır.

Al-Zahrani vd. (2002) yaptıkları çalışmada kullanılmış yağlama yağlarının geri kazanımlarında solvent ekstraksiyon tekniklerini üç solvent için deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan motor yağındaki baz yağın çözünebilirliğine en optimum solvent oranı ve optimum sıcaklık araştırılmıştır.

Durak ve Karaosmanğlu (2002) yapmış oldukları çalışmada, ülkemizde bilinçli taşıt kullanımı ve yağ seçimi, kullanılan yağların çevreye daha az zarar vermesi ve bu atık yağların geri dönüşümü veya başka amaçlarla tekrar kullanılabilirliği incelenerek konunun temel hatlarını sunmuşlardır. Çalışmanın ikinci kısmında ise farklı eğitim ve meslek gruplarından oluşan bir örnek grup üzerinde uygulanan anket çalışmasının sonuçlarını irdeleyerek sunmuşlardır. Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de kullanılmış yağların tekrar kullanılması hem çevre açısından hem de ülkemiz ekonomisi açısından oldukça öneme sahip olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca kullanılmış yağların depolanması, taşınması ve tekrar işlenmesi gibi yeni iş imkânları da kazanılacağı belirtilmektedir.

Ergün vd. (2003) motor yağlarının eskimesi ile birlikte bu yağların geri kazanım proseslerini genel olarak incelemişlerdir. Yapılan ekonomik değerlendirmede Solvent Ekstraksiyon Prosesi yatırım maliyeti, Baz Yağ üretim maliyeti ve Geri Ödeme Süresi açısından en ekonomik sistem olarak ortaya çıkmıştır.

Bhaskar vd. (2004) yaptıkları çalışmada otomobil endüstrisinden elde edilen atık yağların yakılmasını en iyi değerlendirme olarak belirtmekte ve çeşitli katalizörlerle, yanma sırasında sülfür ve diğer zararlı elementlerin tutulabileceklerini belirtmektedirler.

Hamad vd. (2005) kullanılmış yağları geri kazanmak için yeni hidrokarbon solventler kullanarak asfalt miktarını % 0,106 (ağırlıkça), kül miktarını % 0.108 ve karbon atık miktarını % 0,315 ve diğer kirletici atık metal miktarlarını da çok düşük seviyeye düşürebilmişlerdir. İşlemden geçirilen bu yağın geri kazanımlı baz yağ olarak kullanılabilmesi belirtilmektedir.

Öztürk (2005) kullanılmış motor yağlarını detaylı olarak incelemiş ve bu yağların çevreye nasıl zararlar verdiğini, bunların iyileştirme metotlarını incelemiştir. Bu konunun ülkemiz açısından önemini vurgulamaktadır.

Durak vd., (2005) atık motor yağlarının tekrar kullanılmasının hem çevremiz açısından hem de ekonomik açıdan oldukça önemli olduğunu belirtmektedirler. Yaptıkları deneysel çalışma ile söz konusu kullanılmış ve yeni taşıt yağlama yağlarının sürtünme özelliklerinin arasında çok büyük fark olmadığını görmüşlerdir. Çalışmada yerli imalatlı bir taşıtta, normal tavsiye edilen bir yağ değişim periyodu sonunda boşaltılan kullanılmış yağ ile aynı marka kullanılmamış (madeni SAE 20W50) yağın oda sıcaklığında farklı hız ve yüklerdeki sürtünme katsayılarını ölçmüşlerdir.

Gökalp, vd., (2006) yapmış oldukları çalışmada, kullanılmış motor yağlarının iyileştirilmesi, asit-kil yöntemi ile laboratuvar şartlarında örnek dizel motordan alınan kullanılmış yağ örnekleri üzerinde yapılmıştır. Yağların kinematik viskoziteleri, parlama noktaları, tortu ve su değerleri incelenmiştir. Bu sonuçların fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilgili karşılaştırmalar yapılmıştır. Kullanılan motor yağının, iyileştirme yöntemleri ile işleme tabi tutulduktan sonra endüstrinin diğer dallarında kullanılabileceği gösterilmiştir. İyileştirme çalışması neticesinde; atılmak üzere motordan dışarıya alınan motor yağının, iyileştirme çalışmalarından sonra, atık miktarının azaltılarak çevre kirliliğine olumlu bir katkı sağladığı görülmüştür. Yapılan analizler neticesinde elde edilen numunenin yağlayıcı özelliği olduğu ve ilave katkı maddeleri eklendiğinde endüstrinin diğer kollarında kullanılabileceği belirtilmektedir. Bu işlemler neticesinde; hem milli servetimizin korunması, hem de atık olarak değer bulan bu yağlama yağının ilgili yönetmeliklere göre işlenebilmesi çevrenin korunmasına da olumlu katkılar sağlayacağı gibi, AB uyum çalışmalarının devam ettiği şu günlerde, ülkemizin birliğe entegrasyonunu da kolaylaştırmış olacaktır.

3. MATERYAL

3.1. Taşıt Yağlarının Tarihi Geçmişi

Taşıt yağları, petrolden arıtım yolu ile elde edilen baz yağlar ve/veya sentetik olarak elde edilen polimerik yapıdaki baz yağların, katkı maddeleri (katıklarla) belli standartları, şartnameleri karşılayacak oranlarda harmanlanması ile üretilmektedirler (Hani, İ., 2002).

Taşıt yağlarının seçimini kolaylaştırmak için, API (Amerikan Petrol Enstitüsü)'ın 1947'de ortaya koyduğu yeni sistem, yağların özelliklerine ve kısmen de amaç edinildikleri çalışma şartlarına göre üç sınıfa ayrılmasını sağlamıştır. Buna göre motor yağları;

- 1- Normal Tip (Regular Type)
- 2- Süper Tip (Premium Type)
- 3- Ağır Hizmet Tipi (Heavy Duty Type)

olarak sınıflandırılmıştır. Genel olarak “ Normal Tipler ” saf madeni yağlar olup; “Süper Tipler ” anti-oksidant, “ Ağır Hizmet Tipleri ” ise hem anti-oksidant hem de dağıtıcı (dispersant) katkı maddeleri ihtiva etmektedir(Schilling A., 1962, Ergün, B., vd.2003).

Taşıt yağlama yağları; motoru yağlamak, kompresyonu tutmak, motoru soğutmak ve motoru temizleme görevlerini yapmaktadır. Piyasada bulunan motor tip ve yağlama yağı çeşitliliği nedeni ile, motor yağlama yağlarının seçiminde kolaylık ve doğruluk sağlayacak özel bir servis sınıflaması oluşturulmuştur. Bu konuda Amerikan Petrol Enstitüsü (API) tarafından verilen sınıflama 1972 yılına kadar kullanılmış, sonra API, Amerikan Test ve Malzeme Derneği (ASTM) ve Otomotiv Mühendisleri tarafından (SAE) birlikte yeni bir motor yağı sınıflandırması oluşturmuştur. Buna göre Otto ve Diesel motor yağları olarak iki gruba ayrılmıştır. Otto motor yağları sınıflamasında “S” serisi, Diesel motor yağlarında ise “C” serisi kullanılmaktadır.

Motor yağları; yağın kendi kendine bozunması ve dış etkilerin yağı kirletmesi ile bozulmaktadır. Sıcak ortamda, fazla miktarda hava ile karşılaşılana yağda istenmeyen yapısal değışiklikler oluşur ve motorun çalışmasında problemler olur. Metalik parçalarda “çukurcuk korozyonu” ve supap odalarında, kanallarda, karterde, filtrelerde, soğutucularda birikintiler oluşur. Dış etkilerin yağı kirletmesi ise; havadaki pisliklerin, yakıt yanma ürünlerinin, yanmamış yakıtın ve madeni tozların yağa karışmasıyla gerçekleşir(Karaosmanoğlu, F., vd. 1995, Durak, E., vd. 2001).

3.2. Taşıt Yağlarında Eskimeye Bağlı Değişimler

Ham petrolün rafinasyonundan elde edilen mineral yağlar, hidrokarbon bileşiminden oluşmaktadır. Bu hidrokarbonlar üç tipe ayrılmaktadır:

- 1- Parafinler; düz ve dallanmış şekilde karbon atom zincirinden meydana gelir. Dallanmış zincirler yağlama yağlarında önemli miktarda mevcuttur.
- 2- Naftenler veya siklo-parafinler; tek veya halka şeklindeki zincirden oluşur.
- 3- Aromatikler; tek benzen halkası, çift naftelen halkası ve üç antrasen halkasından ibarettir. Yapıları parafinik ve naftenik hidrokarbonlara göre daha kolay saldırıya uğrayabildiklerinden, reçine ve korozyif ürünlerin oluşmasına önderlik ederler.

Baz yağdaki hidrokarbon yüzdeleri;

- Parafinler % 75-85
- Naftenler % 13-20
- Aromatikler % 6-10'dur.

Yağlayıcılar zor şartlar altında çalışma performansı ve kabul edilebilir motor ömrünün sağlanması açısından geniş sayıda katkı maddeleri içermektedir. Bu maddeler aşınma önleyici, deterjan-dispersan, sürtünme önleyici (viskozite indeks arttırıcılar), köpük önleyici, pas önleyici, korozyon önleyici, aşırı basınç katkıları olarak sıralanabilir. Ancak yağlama yağlarının eskimesi kaçınılmazdır.

İçten Yanmalı Motorlarda madeni yağların bozulmasına sebep olan 2 önemli faktör bulunmaktadır:

- 1- Oksidasyon nedeni ile fiziksel ve kimyasal değişikliklerin ortaya çıkması,
- 2- Yanma odasından karışan maddeler ile kirlenme.

Motorun çalışma şartları oksidasyona çok uygun şartlardır. Karterde, yağ buharları hava ile yüksek sıcaklıklarda temas halindedir. Sıcaklık yanma bölümünde çok daha yüksektir. Aynı zamanda silindir cidarında, piston ve segmanlarda yağ filmi yüksek sıcaklığa maruz kalır. Söz konusu bu bölümlerde sıcaklığa bağlı olarak çeşitli oksidasyon ürünleri oluşur. Karterde asitli maddeler ve kompleks karbonlu bileşikler meydana gelir. Yanma odasında ve piston-segman etrafında karbon partikülleri toplanır. Bu partiküllerin bir kısmı kartere geri döner, geri kalan kısmı ise yanma bölümünde kalır. Bütün bu kirlenmeler neticesinde asit konsantrasyonu fazla olan yağ, yatakların korozyonuna ve motorlarda aşınmaların artmasına sebep olur.

Oksidasyon; Bir yağın hizmet ömrünü azaltan en mühim faktördür. Bütün yağlar oksijene maruz kalmaları neticesinde fazla miktarda okside olurlar. Ana reaksiyon ürünleri peroksitler olmak üzere ilerleyen reaksiyonlarda bunlar alkol, keton, aldehid ve karboksilik asitlerin oluşmasına sebep olurlar. Bu malzemeler, baz yağa benzer molekül ağırlıklarına sahip olup, karışım içerisinde kalmaktadırlar. Oksidasyon prosesi ilerledikçe bu ürünler, takip eden reaksiyonlar sonucu daha da büyük ağırlıktaki moleküllere dönüşüp yağda erimez hale gelirler. Bu moleküller yüksek sıcaklıkta yağı kalınlaştırıp çamur ve lak teşekkülünü sağlarlar. Yüksek viskozite indeksli, çok iyi rafine edilmiş parafinik yağlar, asit ve korozyon oluşumuna elverişlidirler. Düşük viskoziteli indeksli aromatik yağlar ise çamur ve lak teşekkülüne uygundur.

Çamur, okside olan moleküllerin polimerizasyonu neticesinde meydana gelen yağdaki çözünmez maddedir. Bilhassa aromatik komponentler polimerizasyona yatkındır. Aromatik halka, parafinik yan zincirini parçalayıp ayırması ile kendine benzer gruplarla birleşir. Bu tip polimerizasyon genellikle düşük moleküler

ağırlıktaki maddelerin meydana gelmesi neticesinde gelişir ve yağın viskozitesinin de yükselmesine yol açar.

Oksidasyon sonucu yağın rengi de kararır. Polimerizasyonun yeteri kadar gelişmesi, yüksek moleküler ağırlıktaki oksidasyon ürünlerini yağdan ayırır. Bunların yağda dağılmış olarak kalmaya devam etmeleri, çözünmeyen maddeler şeklinde oksidasyon çamuru meydana getirir. Bunlar da yağ kanallarını tıkayıp, ısı transfer yüzeylerini düşürebilirler.

Lak, polimerize olmuş maddelerden meydana gelmiş olup, ince film halinde sıcak yüzeylerde bulunan yağın oksitlenme şartlarında teşekkül eder. Oksidasyon lakı, parçaları birbirine yapıştırır ve onların birbirine göre hareketini önler. Laklar, motorların piston eteklerine yerleşen, az çok renkli, %10 ila 20 arasında oksijen ihtiva eden, plastik ürünlere benzeyen oksiasitlerdir. Lak'ın diğer bir adı ise verniktir.

Oksidasyon hızına tesir eden bir çok faktör vardır. Bunlar sıcaklık, oksijen durumu, katalizörler, yağın bileşimi-katkı maddeleri ve yeni yağla değişim aralığıdır. Sıcaklığın etkisi önemlidir; zira sıcaklıktaki her 8-10°C' lik yükselme reaksiyon hızını iki misli artırır. Yağlama yağının motorlardaki çalışma sıcaklığı 50-300°C aralığında değişmektedir.

Yağların oksidasyonu 100 °C'nin altında yavaş seyretmekte, 200°C' nin üzerinde ise oldukça hızlanmaktadır.

Yanma olayından dolayı oluşan ana maddeleri yakıt, su ve is teşkil etmektedir. Yakıt buharlaşmasının yeterli olmayışı ya da daha fazla zengin bir karışım kullanılması nedenlerine bağlı olarak ortaya çıkan, henüz yanmamış yakıt, yağı seyreltmek suretiyle yanma odasından kartere sızar. Yağlayıcının fazla miktarda seyreltilmesi, yağ viskozitesinin istenilen seviyenin altına düşmesine sebep olmaktadır. Yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan su, motor sıcaklığı yüksek iken buhar halinde egzozdan dışarı atılır. Ancak motor soğuk iken sıvı halindeki su, karterde toplanır. Su ile kirlenme aynı zamanda soğutma sisteminin su sızdırması ile de ortaya çıkabilir ve bu

durum antifriz solüsyonları kullanıldığında tehlikeli olabilir. Bilindiği gibi Diesel motorlarında is oluşumu; yanma odası içerisinde, sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde yeterli oksijenin bulunmaması sonucu gaz fazındaki yakıt moleküllerinin katı partiküllere dönüşmesi ile meydana gelir. İsin büyük çoğunluğu egzozdan dışarı atılır, ancak bir kısmı ise piston ve silindirdeki yağa karışıp kirlettikten sonra kartere sızar. Benzinli motorlarda yakıt katıklarından kurşunlu bileşikler, yağlama yağına karışabilmektedir. Söz konusu bu katı kirleticiler, su ve yağ ile birlikte çamur haline gelirler. Bu çamurun karterde birikmesi veya yağ ile sirküle edilmesi, yağ hatlarında tıkanıklığa yol açar. Yağ dağıtım sistemine konulan yağ filtreleri vasıtası ile bunlar toplanır.

Ancak partikül miktarının artması, filtrelerin tıkanmasına yol açabilmektedir. Yağlar hakkında, özellikle motor yağları hakkında bir tek şey söylenebilir, hiç bir zaman uzun ömürlü değildirler. Motor ömrünü ve düzgün işletim şartını önemli derecede etkilemesinden dolayı kullanım esnasında yağlama yağı özelliklerinde değişimler meydana gelir. Bu değişimler sonucunda yağlama yağının değişmesi gerekmektedir. (Schilling A., 1962, Ergün, B., vd.2003)

3.3.Kullanılmış Yağların Tanımı

Atık yağ; yağlama yağı olarak bilinen, çeşitli kullanım aşamalarından geçen ve yok edilmesi, iyileştirilmesi ya da yeniden kullanılması gereken yağları ifade etmektedir. Ayrıca atık yağ; kullanılmış taşıt yağları (benzinli motor, dizel motor, şanzıman ve diferansiyel, transmisyon, iki zamanlı motor, hidrolik fren, antifriz, gres ve diğer özel taşıt yağları); endüstriyel yağları (hidrolik sistem, türbin ve kompresör, kızak, açık-kapalı dişli, sirkülasyon, metal kesme ve işleme, metal çekme, tekstil, ısı işlem, ısı transfer, izolasyon ve koruyucu, pas ve korozyon, izolasyon, trafo, kalıp, buhar silindir, pnömatik sistem koruyucu, gıda ve ilaç endüstrisi, genel amaçlı, kâğıt makinesi, yatak ve diğer özel endüstriyel yağları ve endüstriyel gresleri) özel malzemeleri (kalınlaştırıcı, koruyucu, temizleyici ve benzeri) ve kirlenmiş yağ ürünlerini kapsamaktadır(Gökalp, B., 2006).

Sanayileşme ve konfor yapısının artması ile birlikte taşıt sayısı da hızlı şekilde artmaktadır. Taşıt sayısının artması ile taşıt yağı tüketimi de artmaktadır. Piyasadaki mineral yağlarının yaklaşık olarak %70'i motorlu taşıtlarda kullanılmaktadır(Öztürk, M., 2005).

Geçmişte olduğu gibi günümüzde de iyi bir yağlama, sağlıklı bir motorun garantisidir. Üstelik modern motorlar, yağlardan çok daha fazla şey beklemektedir. Motorlarda kullanılan yağın pek çok talebi yerine getirmesi gerekmekte olup en önemli görevi hareketli parçaların yağlanmasıdır. Parçaların birbirine sürtünmesi güç kaybına ve aşınmaya neden olduğundan aralarında meydana getirilen yağ tabakası birbirine temas etmelerini engellemektedir.

Yağın, temel yağlama görevi dışında daha birçok sorumlulukları vardır. Soğutmayı, temizliği, yanmadan sonra ortaya çıkan atıkların taşınmasını sağladığı ve paslanmayı önlediği gibi köpüklenmemesi, oksidize olmaması gerekmekte ve bu fonksiyonları -40/+150 °C arasında yerine getirebilme özelliğine sahip olmalıdır. Ayrıca yağ, kuvvetleri iletmede (hidrolik iticilerde değişken subap zamanlama sisteminde olduğu gibi) veya titreşimleri söndürmektedir. Rafine ve sentetik yağlarda katkıları bu ilave aktivitelerin yerine getirilmesinde önemli rol oynar(Ergün, B., vd., 2003).

Dünyada günde 10 milyon ton petrol ve petrol ürünleri kullanılmaktadır. Yağ endüstrimizin ve günlük hayatımızın bir parçasıdır. Dolayısıyla yağlar kullanılırken çevreye zarar vermeden yönetilmesi esastır. Dökülen yağları temizleme maliyeti oldukça pahalıdır. Dökülen yerin durumuna ve yağların özelliklerine bağlı olarak bir litre dökülen yağı temizleme maliyeti 20–200 dolar arasında değişmektedir. Özellikle sahilleri temizleme maliyeti çok daha pahalıdır(Öztürk, M., 2005).

1997'de Kyoto'da düzenlenen Dünya Çevre Konferansı'nda çevreye atılan petrol atıklarının azaltılması gerçeği vurgulanmıştır. Gerçekte dünyada 1995 yılında atık yağların % 45 den daha az bir kısmının toplanabildiği açıklanmıştır. Geri kalan % 55 kısmı ya yanlış yerde kullanım ya da son kullanıcı tarafından çevreye atılmaktadır.

Gerçekte 1 litre atık-yağın tekrar işlenmesi için yaklaşık 8000 kj bir yakıt enerjisine, bu da 100 Watt'lık bir ampulün bir gün yakılmak veya 1000 Watt'lık bir elektrikli ısıtıcının 2 saat çalıştırılması için gerekli olan enerji miktarıdır. Ayrıca 1 litre motor yağı elde etmek için 67 litre ham petrole ihtiyaç varken, aynı işlem için 1,6 litre atık yağ yeterlidir(El-Fadel, M., Khoury, R., 2001).

Kullanılmış yağ, ham yağdan rafine edilen herhangi bir yağın veya herhangi sentetik yağın sanayide veya sanayi dışı alanlarda özellikle yağlama amacı ile belli bir süre kullanım sonucu, kimyasal ve fiziksel olarak kirletilmesi sonucu oluşan veya orijinal özelliğini kaybeden bir yağdır. Yağ, normal kullanım esnasında kir, metal sürtünmeleri, su veya kimyasallarla karışarak kirlenir. Yağ zamanla uzun kullanımdan dolayı iyi performans göstermez. Dolayısıyla motorun daha iyi iş yapabilmesi için kullanılmış yağ, yeni yağla değiştirilmektedir(Öztürk, M., 2005).

3.3.1. Kullanılmış Yağlar

Kullanılmış yağları,

1. Sentetik Yağ: Kömürden elde edilen yağlar,
 2. Taşıt yağı: Benzinli ve motorinli taşıtların yağlarıdır (otomobiller, kamyonlar, botlar, uçaklar, trenler ve ağır ekipmanlar),
 3. Transmisyon yağları,
 4. Buzdolabı yağı,
 5. Kompresör, hidrolik, türbin ve madeni makine yağları,
 6. Metal işleme yağları,
 7. Haddeden geçirme yağları,
 8. Endüstriyel hidrolik yağları,
 9. Bakır ve alüminyum teli çekme yağları,
 10. Elektriksel yalıtım yağı,
 11. Endüstriyel işletme yağları,
 12. Yüzme olarak kullanılan yağları,
- olarak sınıflandırabiliriz.

Benzinli araçlarda kullanılan motor yağının tipik bileşeni Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Benzinli Motorlarda Kullanılan Motor Yağı (Öztürk, M., 2005).

Bileşenler	%
Temel Yağ	86
Deterjan İnhibitör (ZPDD-Çinko Dialkil Ditiyofosfat)	1
Deterjan (Baryum ve Kalsiyum Sulfanatlar)	4
Çok fonksiyonel katkı (Poli Metil Methakrilatlar)	4
Vizkozite iyileştirici (Poli İsobutilen)	5

3.3.2. Kullanılmış Yağların Karakterizasyonu

Kullanılmış yağlar;

1-Pas, kir ve kurum,

2-Motorların sürtünmesi sonucu kurşun,

3-Buharların yoğunlaşması sonucu su,

4-Tam yanmama sonucu benzin,

5-Ekipmanların aşınması sonucu metal partiküller,

6-Ek yerlerinin kırılarak sızması sonucu korozyif asitler,

7-Uygun olmayan ayırma sonucu solventler ve poliklorür bi fenil (PCB)

gibi kirleticiler içerebilir.

Son yıllarda atık yağlarda bazı klorlanmış solventlerin de bulunabileceği ve yağlardaki bu klorlu solvent konsantrasyonunun, üretildiği yerden işleme tesislerine doğru arttığı görülmüştür. Kansorejen (dioksin ve furan) ve mutojen, bu bileşiklerin varlığı atık yağlarla ilgili endişenin temelini oluşturmaktadır. Atık yağlar, yaşadığımız çevredeki kullanım sularına karışabilme riski açısından tehlikelidir. Kontrolsüz olarak fırınlarda yakılması yasaktır. Çünkü atık yağın içindeki ağır metal ve klor bileşimleri atık hava ile birlikte atmosfere salınarak havayı kirletir ve insan sağlığına zarar verir. Bu özelliklerinden ve içerdiği zararlı maddelerden dolayı, atık yağlar Çevre Kanunu'na göre tehlikeli atık olarak tanımlanmakta ve lisanslı firmalar tarafından, sınıflandırılan işleme göre prosese tabi olmaktadır.(Gökalp B., vd., 2006)

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre atık yağların toplanması, taşınması ve yok edilmesine yönelik esaslar Çevre Bakanlığı'nca belirlenmektedir. Bu atıklar özel işleme tabi atıklardır(<http://www.bcm.org.tr>). Çizelge 3.2.'de madeni atık yağların kirletici limitleri verilmektedir.

Çizelge 3.2. Madeni Atık Yağda Bulunan Kirletici Limitleri. (Vermont Used Oil Analysis and Waste Oil Furnace Emission Study, 1996)

Sıra No	Kirletici	Limit Değeri
1	Arsenik (ppm)	-
2	Baryum (ppm)	3,39
3	Berilyum (ppm)	<0,02
4	Kadmiyum (ppm)	2,34
5	Crominyum (ppm)	3,91
6	Kurşun (ppm)	57,00
7	Nikel (ppm)	1,85
8	Çinko (ppm)	11,14
9	Tortu (% kütle)	0,46
10	PCB (ppm)	<5
11	Toplam Halojen (ppm)	<234
12	Toplam Org Halojen (ppm)	<217
13	Parlama Noktası (°F)	>200
14	Sülfür (% kütle)	0,25
15	Nitrojen (% kütle)	0,02

Yağın kullanılma aşamasında kirlenmesinin temel sebepleri; katkı maddelerinin kimyasal olarak kırılması, korozif ve istenmeyen maddelerin oluşmasına sebep olan yağın son halinin içerdiği maddeler arasındaki etkileşimdir. Metaller arasında kurşun yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Bunun sebebi, motorlarda pistonun kurşunlu benzin kullanılarak hareket ettirilmesidir. Klorlu solventler de; katkı paketlerinin parçalanması ve kurşunlu benzin içinde, kurşun tutucusu olarak çalışan klor ve bromun eklenmesi sebebiyle önemli miktarda mevcuttur. Polisiklik aromatik

hidrokarbonlar (PAH) da kanserojen etkileri nedeniyle dikkate alınmaktadır. Tabi ki, kirleticilerin miktarı birçok etkene bağlıdır. Bunlar; orijinal deterjanların türü, saf yağa katılan incelticiler, depolama yeri ve yönetim çalışmalarıdır. Mesela, kurşunsuz benzin kullanılması halinde, atık yağ içindeki kurşun konsantrasyonu düşük olup sonuç olarak, gerekli brom ve klor oranı da daha düşük olacak ve daha sonra halojenli hidrokarbonlar da azalacaktır.

Katkı maddeleri, temel yağdaki kükürt, klorür ve azot konsantrasyonunu artırır. Kullanılmış yağ, klorlu ve aromatik hidrokarbonlar da (benzen, toluen, ksilen gibi) içerebilmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerde kullanılmış yağların büyük bir kısmı motorlu taşıtlar, sabit yakma motorları ve dişli sistemli makinelerden elde edilmektedir. Bir kısım kullanılmış yağlar da hidrolik sistemler, transformatörler ve diğer endüstriyel uygulamalarda oluşmaktadır. Kullanılmış motor yağlarının çoğu, motorlu araçların tamir ve bakım servis ve atölyelerinde, otoparklarda, küçük çalışma merkezlerinde oluşmaktadır. Ayrıca demiryolları, toplu taşıma araçları ve kamyon tamir bakım atölyeleri ile büyük endüstriyel tesislerde önemli miktarda kullanılmış yağ oluşmaktadır. (Öztürk, M., 2005).

3.3.3. Kullanılmış Yağ Nerede Kullanılabilir

Kullanılmış yağlar yüksek yanma sıcaklığında çalışan çimento, kireç taşı, alçı taşı, briket fabrikası, evsel, tıbbi ve tehlikeli yakma tesisleri ve metalürji tesislerinde ilave yakıt olarak kullanılmaktadır. Yanma esnasında hidrokarbonlar bozunurken çimento, alçı taşı ve kil gibi maddelerin absorpsiyon özelliğinden dolayı ağır metaller, kükürt ve klorür absorbe edilebilmektedir. Modern tesislerde ilaveten baca gazı arıtma tesisleri de bulunmaktadır.

Gelişmekte olan ülkelerde kullanılmış yağlar farklı küçük boy aletlerde ilave yakıt olarak da sık sık kullanılmaktadır. Çimento, alçı taşı ve briket tesislerinden ayrı

olarak asfalt üretim tesisleri fırınlarında ilave yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu durumda atık yağ, kullanılan yakıtla karıştırılmaktadır.

Kullanılmış yağ önemli miktarda parafin içermektedir. Atık yağ, kullanılan yağla karıştırıldığı zaman parafin kullanılan yağın ayrılmasını sağlamaktadır. Yakıt tankı tabanında uzun zincirli hidrokarbonlu çamur oluşturmaktadır. Bu sebeplerden dolayı kullanılmış yağlar kontrollü şartlarda yakılmalıdır.

3.3.3.1 Yüzey Isıtıcıları

Sınır değerlerini sağlayan kullanılmış yağ, yüzey ısıtma amacı ile kullanılmadan önce su ve askıda katı madde gibi olması muhtemel kirleticiler ve safsızlıklar önceden giderilmelidir. Ön işleme tabi tutulmamış kullanılmış yağlar ısınma amacı ile kullanılmamalıdır.

Bir tesis sadece kendi ürettiği suyu, sıvı atıklar ve katı veya yapışkan (kirli çamurlar) maddeleri giderilmiş kullanılmış yağı kullanabilmelidir. Kullanılmış yağ yakan yüzey ısıtıcılar, duman oluşumunu minimize etmek için ön ısıtma (takriben 5 dakikalık) donanımına sahip olmalıdır. Sıkışmış-hava püskürtme, mekanik püskürtme ve döner-CUP püskürtmenin bu tip sistemlerde yakıt ateşleme yöntemi olarak uygun olduğu düşünülmektedir. Sıkışmış-hava ve mekanik püskürtme, yanma odasına yağın ulaşması için izlenen oldukça önemli bir yoldur. Sıkışmış-hava ile yağın karışması için damlacıkların iyi püskürtülmesi gerekmektedir. Atık yağlarda bulunan askı halindeki maddeler, bu tip sistemler için, püskürtülen yağın ağız bölgesinde sıkışması nedeni ile bazı ciddi problemlere neden olabilmektedirler. Bu nedenle döner-CUP sistemler, verimsiz çalışmaları nedeni ile artık yavaş yavaş kullanımdan kaldırılan geleneksel yakma uygulamaları yerine, çoğunlukla atık yağların yakılmasında kullanılmaktadırlar. Kullanılan döner-CUP sistemlerde yakıt, yanma bölgesine santrifüj gücü ile ulaşmaktadır. Baca gazı emisyonu **Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği**'nde verilen sınır değerlerini sağladığını belgelemelidir. Isıtıcıların tip emisyon belgesi olması gereklidir. Yüzey ısıtıcının ısı kapasitesi 150,00 kWh'den yüksek olmamalıdır. Tip

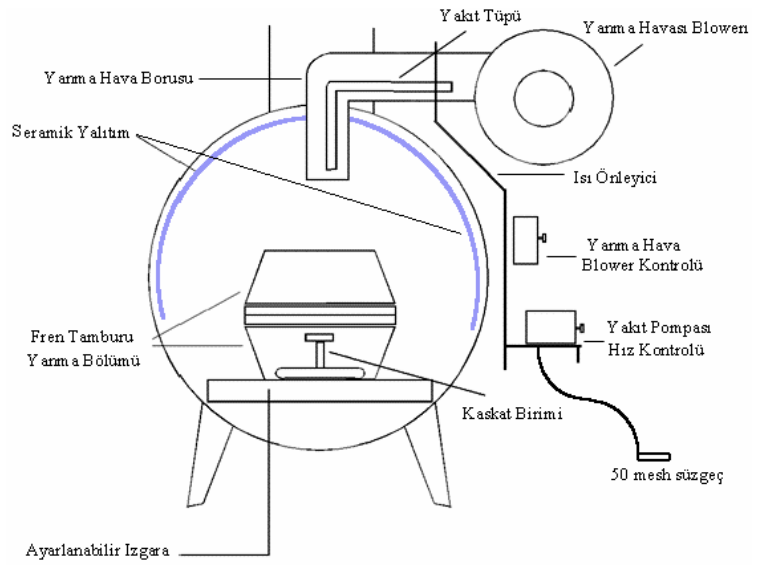
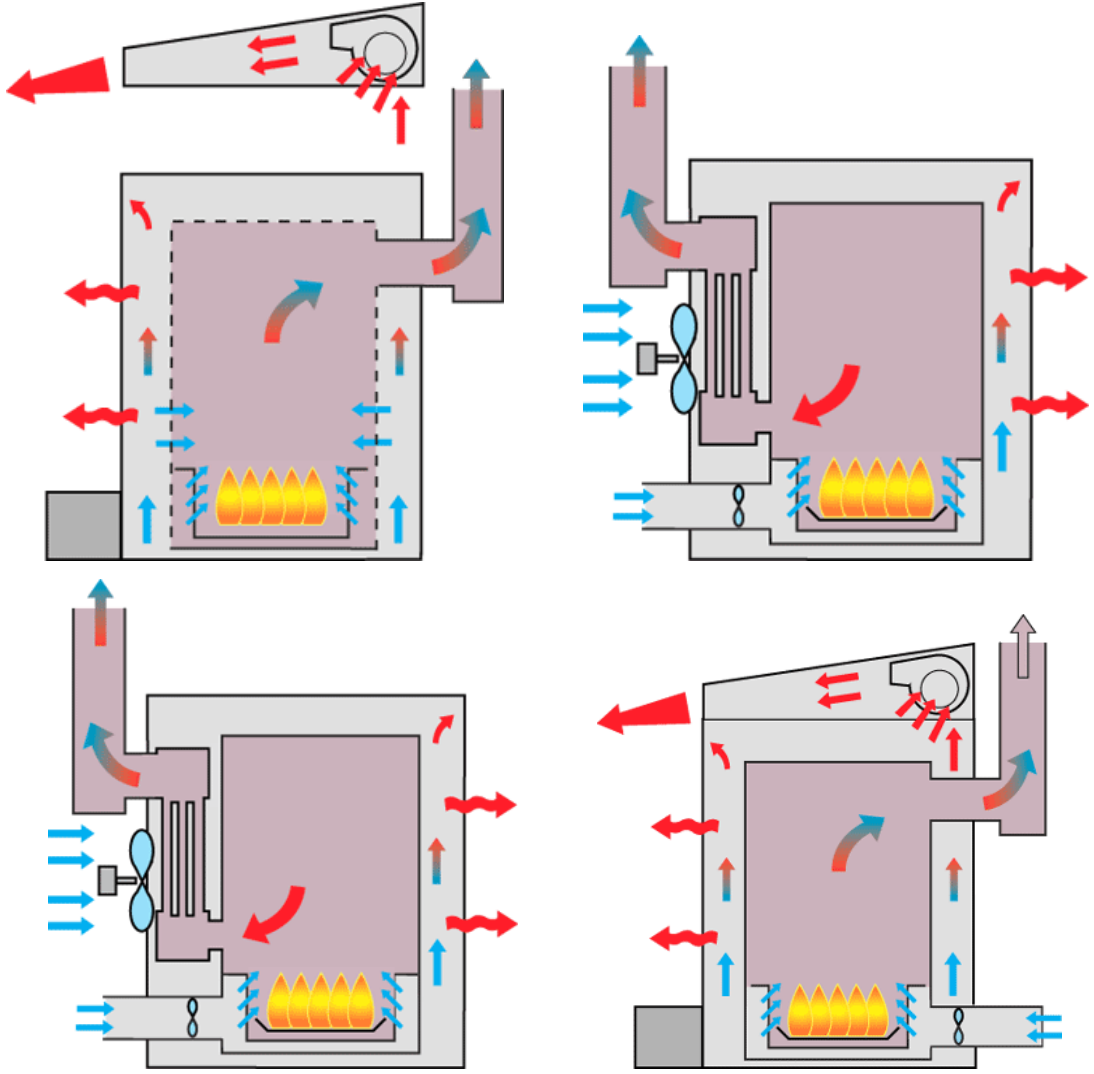
emiyon belgesi olmayan ısıtıcılarda kullanılmış yağların kullanılması çevre ve sağlık açısından fevkalade sakıncalıdır. Şekil 3.1.'de verilen ısıtıcılarda, ön arıtmaya tabii tutulmuş kullanılmış yağlar, enerji amacı ile kullanılabilir. Bu tür kullanılmış yağ yakan yakma sistemleri sık aralıklarla temizlenmezse çok verimsiz yanma şartları oluşturmaktadırlar.

Kullanılmış yağlar için dizayn edilmiş ısıtıcı üreticileri; ısıtıcılarının kapasitesini, çalışma saatlerini, ısıtıcılarının yağ yakma donanımlı olduğunu belirtir belgeyi, tip emiyon belgesini, kullandığı atık yağın teknik özelliğini ve yağ deposunun teknik özelliklerini belirtir bir dosya ile ilgili kuruma müracaat edip lisans aldıktan sonra atık yağ kullanmalıdır. Bu tür ısıtma sistemlerinde, bacadan atılan kirletici emiyonların sınır değerinin altında tutulduğu garanti edilmelidir.

Bir tesis, tesis dışında üretilen kullanılmış yağı, yüzey ısıtma amacı ile kullanmamalıdır. Kullanılmış yağ ekmek üretim tesisi gibi gıda işletmelerinde yakıt olarak kesinlikle kullanılmamalıdır. Kullanılmış yağ için donatılmamış ısıtıcılarda kesinlikle yağ yakılmamalıdır. Kullanılmış yağ, kömür ve odun yakan ısıtıcılarda yakıldığında insan sağlığı ve çevre için çok zararlı kirleticiler oluşturmaktadır(Öztürk, M., 2005).

3.3.3.2. Kullanılmış Yağların Enerji Üretim Santrallerinde Kullanımı

Kullanılmış yağ, içerisindeki su ve partikül gibi kirleticiler giderildikten sonra sıvı yakıt kullanan enerji üretim santrallerinde yakıtı ilave edilerek kullanılmaktadır. Kullanılmış yağ kullanan tesislerin bacasındaki baca gazı emiyonu **Endüstriden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği**'nde verilen sınır değerlerini aşmamalıdır. Kullanılmış yağdaki toplam halojen miktarı 2000 mg/l't'i ve PCB miktarı ise 50 ppm'i aşmamalıdır(Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,2004). Kullanılmış yağ kullanılmadan önce ağır metal, PCB ve toplam halojen analizi yapılmalıdır.



Şekil 3.1. Kullanılmış Yağ Kullanan Bir Isıtıcı (Öztürk, M., 2005)

3.3.3.3. Kullanılmış Yağların Çimento, Kireç ve Çelik Üretim Tesislerinde Kullanımı

Bu tür tesislerde yüksek sıcaklıkta yanma söz konusudur. Kullanılmış yağ, içindeki askıda katı maddeler ve su bertaraf edildikten sonra çimento, kireç, fosfat ve çelik üretim tesislerinde kullanılan yakıtta belli oranda ilave edilerek yakılabilmektedir. Bu tür tesislerde kullanılan yağların yüksek sıcaklıkta (1200 °C) yanması sonucu yağ içinde bulunan organik maddeler tahrip olmaktadır. Yağ içinde bulunan metal bileşikleri ise reaksiyona girerek yeni bileşikler oluşturmaktadırlar. Bu bileşikler ise baca gazı arıtma tesislerinde tutulurlar. Aynı yanma sonucu oluşan gazların yanma bölümünde uzun süre kalması ve çimento, kireç ve kilin absorblama özelliğinden dolayı kükürt, klorür ve ağır metaller absorbe edilir. Zararlı gazların etkisini minimize etmek için modern tesisler baca gazı temizleme tesisleri ile donatılmıştır. Baca gazı toz arıtma tesisleri genel olarak % 99 verimde çalışmaktadırlar. Böylece gazlar bacadan atmosfere atılmadan arıtılarak zararsız hale dönüştürülmektedirler. Bu tür tesislerde ayrıca ikincil atık oluşmamaktadır. **Baca Gazı Emisyonu Endüstriden Kaynaklanan Hava Kirliliği Yönetmeliği**'nde verilen sınır değerler aşılmamalıdır.

Kullanılmış yağ toplayıcısı bu tür kuruluşlarla anlaşmalı ve yağları buralarda değerlendirdiğini belgelemelidir. Nakliye esnasında da yine buralarda değerlendirdiğini belgelemeli, bu tür belgelenmeyi yapmayanlar hakkında Çevre Kanunu'na göre ceza kesilmelidir. Bu tür araçlar sadece kullanılan yağ taşımalıdır. Geçici depolarda sadece diğer bölümlerde tarif edilen konteynırlar kullanılmalıdır(Öztürk, M., 2005).

3.4. Kullanılmış Yağların Geri Kazanım Prosesleri

Atık yağların geri kazanılmasında farklı prosesler kullanılmasına rağmen genellikle çeşitli işlemlerin birkaçının kullanıldığı bütünleşmiş tesisler kurulmuştur. Bunlar genel olarak:

- 1) Asit-Kil,
- 2) Solvent Ekstraksiyonu,
- 3) Fiziksel ve/veya Kimyasal İşlem,
- 4) Hidrokarbon Çözücüler kullanılarak geri kazanımı (Ergün, B., vd., 2003, Gökalp, B., vd., 2006).

Olarak sınıflandırılabilir.

Yağların içine eklenen katkı maddelerinin çeşitliliği ve miktarı arttıkça daha gelişmiş damıtma teknolojilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Fakat bununla beraber çeşitli problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin en önemlisi damıtmada ayrılan ağır fazdır. Çamur niteliğindeki ağır faz ısı değiştiriciler, pompa, boru ve kolonlarda birikme ve tıkanma problemleri yaratmakta ve bu nedenlerle prosesin durmasına neden olmaktadır. Son zamanlarda damıtma prosesinde yaşanan bu problemler iki şekilde giderilmeye çalışılmaktadır.

İlk çözüm; çok yüksek vakum altında buharlaşmanın hızlı bir şekilde gerçekleştirilebildiği damıtma kolonlarının tasarımıdır. Bu yöntemle kolon ve diğer ekipmanlarda birikinti ve kabuklaşmaların, giderilmese bile azaltılması hedeflenmektedir. Bu düşünce sonrasında yağın bir kolon içerisine bir meme ile püskürtüldüğü ince film damıtma ve ince film buharlaştırıcı sistemleri geliştirilmiştir. İkinci çözüm ise; ilk olarak rafinerilerde kullanılan bir teknik olan sülfürik asit ile ön işlem yönteminin yağ geri kazanma sistemlerine uyarlanmasıyla elde edilmiştir. Bu yöntemde; tam veya kısmi olarak oksitlenmiş moleküller hedef alınmıştır. Yöntem beraberinde daha büyük problemlerin çıkmasına neden olmuştur. En önemlisi ise; proseste asidi nötralize etmek için gerekli bazik kimyasalların ve diğer katkı maddelerinin büyük miktarda kullanılmasıdır. Yağların temizlenmesinde kullanılan bir diğer yöntem de yağ ağartma toprağı ile işleme tabi tutulur. Yağın içine hacimce %0,5-%5 oranında katılan bu toprak 30–60 dakika karıştırıldıktan sonra karışım filtre edilerek ayrılır. Bu işlem sırasında yağın içinde bulunan katkı maddeleri de toprağı adsorblanacağından yeniden eklenmelidir.

Bu işlem yağ moleküllerindeki oksijen, klor, kükürt, fosfor, azot gibi grupların hidrojen atomu ile yer değiştirmesi reaksiyonu olarak açıklanabilir. Bu reaksiyonun gerçekleşmesi için sıcaklık, basınç ve katalizör kullanımı gerekmektedir. Bu işlem uygulanmadan önce yağ içindeki katalizör zehirlenme potansiyeli bulunan kimyasallar uzaklaştırılmalıdır. Uzun katalizör ömrü ekonomik geri kazanma prosesi için son derece kritiktir (Gökalp, B., vd. 2006).

3.4.1. Atık Yağın Geri Kazanılması İşleminin Dünyadaki Uygulamaları

Literatürde atık yağların geri kazanılması konusunda epeyce bir çalışma yapıldığı ve farklı bir takım yöntemlerin geliştirildiği görülmektedir. Literatür araştırmasında, atık yağların geri kazanılmasında kullanılan proseslerden birinin asit-kil prosesi olduğu görülmektedir. Bu proseste su yağdan flaş edilerek, atık yağ sülfürik asit ile reaksiyona sokularak metal ve yüksek moleküllü asfaltik maddelerden uzaklaştırılmaktadır. Suyu alınmış ve asitle reaksiyona sokulmuş yağda, diğer istenmeyen maddeler kil ile temas ettirilerek uzaklaştırılmakta ve rengi düzeltilmektedir. Son olarak, yağ nötralize edilmekte ve baz yağlar distilasyonla geri kazanılmaktadır.

Bir diğer proses, Philips Petrol Şirketi tarafından geliştirilmiş olup, metallerin uzaklaştırılması ve hidrojen gazı ile arıtma basamaklarını kapsamaktadır. Atık yağ boru hattında metallerin uzaklaştırılması için diamonyum fosfatın sulu çözeltisi ile karıştırılmaktadır. Metal Kül yaratan maddeler ve metaller filtrasyon ile uzaklaştırılmış ve su ve hafif hidrokarbonlar metal giderme ile ayrılmıştır. Su ve metalden ayrılmış atık yağ hidrojen gazı ile birleştirilerek az miktarda bulunan inorganik maddelerin giderilmesi için kil ihtiva eden ekipmana alınmıştır. Nikel molibden katalizöründe hidrojenle reaksiyona giren rengi açılırken azot, kükürt, oksijen ve klorlu maddeler uzaklaştırılır. Son basamakta buharla yağdaki hafif yakıt fraksiyonları uzaklaştırılır. Yan ürünler katı maddeler olarak ayrıldıklarından çevre kirlenmesi problemi yaratmazlar. Ürün verimi %75-%85 arasında değişmektedir. Bu prosesin tesis ve operasyon maliyeti oldukça yüksektir.

Bir diğ er proses; Hollanda'nın Kinetik Teknoloji Enternasyonal firmasının A.B.D Golf Serence & Technology firmasıyla iş birliğ i yaparak geliş tirdikleri bir geri kazanma prosesi olup, her türlü atık yağ a uygulanabilmektedir. İlk basamak olan atmosferik distilasyon ile su ve benzin uzaklaş tırılmaktadır. Vakum distilasyonuda özel film buharlaş tırıcısı (wiped film evaporator) kullanarak baz yağ lar, metal ve asfaltik maddeler ihtiva eden bakiyeden atılır. Hidrojenle arıtma prosesi kullanılarak baz yağ ın renk ve kokusu istenilen seviyeye getirilmektedir. Hidrojence zengin gaz yağ ı ile birleş tirilmekte ve reaktöre girmeden önce ısı tılmaktadır. Bundan sonra yağ daki hafif kısımları buharla uzaklaş tırıldıktan sonra vakum altında istenilen spesifikasyonda fraksiyonlara ayrılırlar. K.T.I firmasının geliş tirdiğ i atık yağ arıtım prosesi geniş bir kullanım yağ spektrumu için uygulanabilmektedir(Koş al, N.,1991, Gökalp, B. vd., 2006)

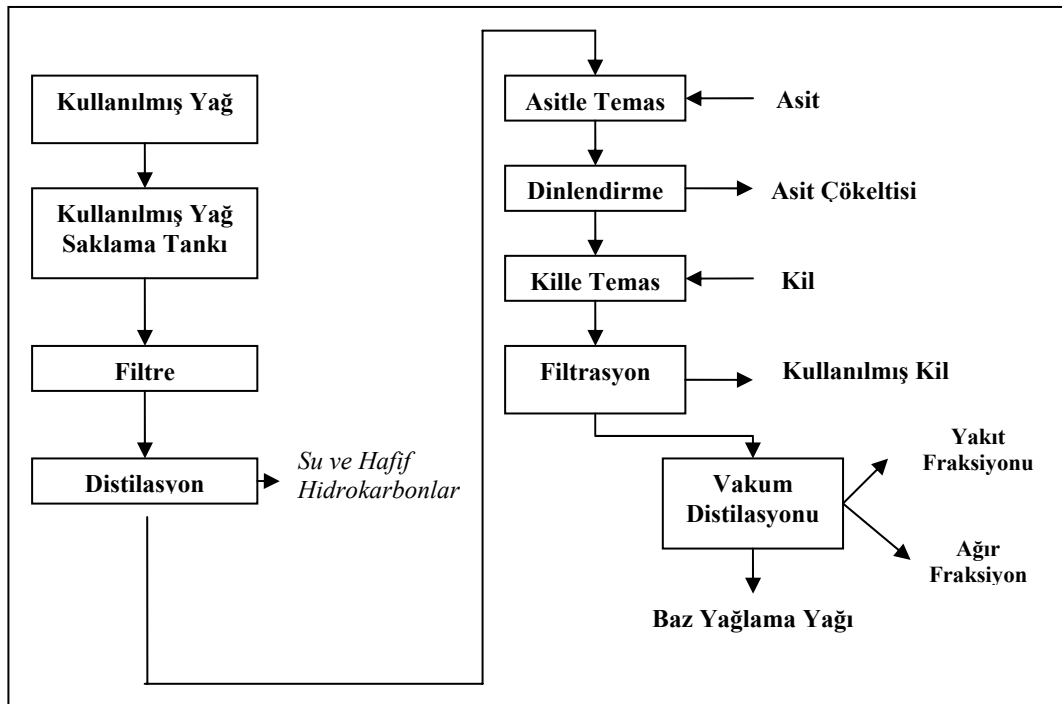
Fransız Petrol Enstitüsü (IFP) tarafından geliş tirilmiş olup, bu proseste; propan çözücü olarak kullanılmaktadır. Prosesin temeli sıvı propan kullanarak baz yağ dan katık ve bozulma ürünlerinin ayrılmasını saç lamaktır. Su ve hafif hidrokarbonlar flaş edilerek ayrılırlar. Yağ , sıvı propan ile birleş tirilerek ters akım prensibi ile çalış an çözücü ekstratörüne gönderilmektedir. Propanda çözünen baz yağ ekstratörün üst kısmından ayrılırken koyu renkli oksitlenmiş hidrokarbonlar ve katıklar kolon dibinden alınmaktadır. Propan yağ dan ayrıldıktan sonra soğ utuculardan geçerek sıvılaş tırılmakta ve tekrar kullanılmaktadır. Temizlenmiş yağ değ iş ik fraksiyonlara ayrılır. Ağ ır fraksiyonlar hidrojenle renklerinin belli bir standarda getirilmesinden önce kil ile temas ettirilmektedir. Hafif fraksiyonlarda kil teması yoktur, direkt olarak hidrojenle son durumlarına getirilirler. Bu proseste yüksek kalitede baz yağ üretilmektedir. Ancak yüksek oranda propan sirkülasyonu gerektirilmektedir. Propanı sıvı tutmak için ise yüksek iş letme basıncına ihtiyaç vardır. (Koş al, N.,1991, Gökalp, B. vd., 2006)

Gabriel SADER, US 4.376.040 numaralı ABD patentinde, (1983) kullanılmış yağ ların geri kazanılması için amonyum tuzlarının kullanıldığ ı bir proses geliş tirmiş tir. Bu proseste atık yağ üzerine bir dördüncül amonyum tuzu veya tuzlarının karış ımını eklenmekte ve karış tırma iş lemi yapılmaktadır. Bu çözeltili daha

sonra çöktürme işlemine tabi tutularak kirlilikler ve yağ fazı birbirinden ayrılmaktadır. Karıştırma işlemi herhangi bir mekanik karıştırıcıda 30°C – 50°C sıcaklıklarda yapılmaktadır. Daha sonraki çöktürme işlemi birkaç dakika ile birkaç gün mertebesinde değişkenlik göstermektedir. Nötral pH değerlerinde çöktürme işleminin daha hızlı gerçekleştiği bulunmuştur. (Koşal, N.,1991, Gökalp, B. vd., 2006)

3.4.2. Asit-Kil Prosesi

Bu proses kimyasal ön işlem safhasına dayanmakta ve çoğu kirleticiyi uzaklaştırmak için beslemeyi sülfirik asitle karıştırmayı kapsamaktadır. Şekil 3.2.'de böyle bir prosesin akım diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Asit-Kil Prosesi Akış Diyagramı

Saklama tanklarında depolanan kullanılmış yağ, içindeki büyük katı atıklardan arındırılmak için filtreden geçirilmektedir. Filtre edilmiş kullanılmış yağ, sülfirik asit ile işleme tabi tutulmadan önce sülfirik asidin seyrelmesini engellemek için sudan ve hafif hidrokarbonlardan arındırılmaktadır. Bu işlem bir distilasyon kolonunda

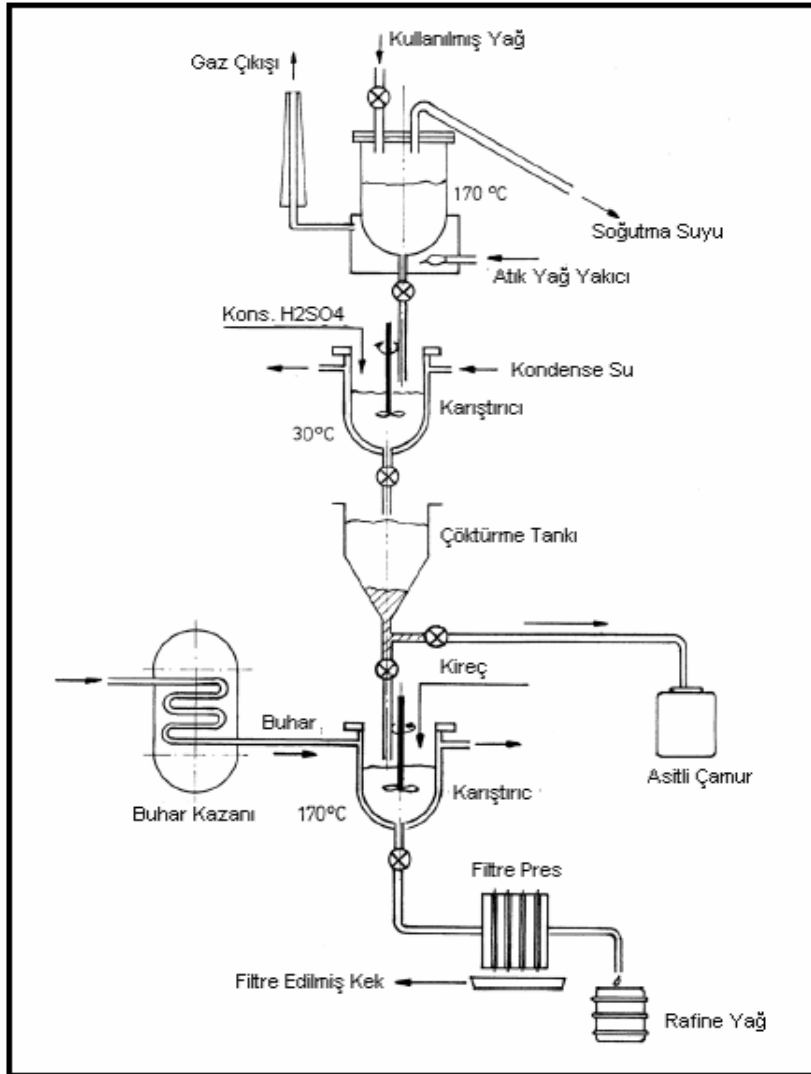
gerçekleştirilmektedir. Su ve hafif hidrokarbonlardan arındırılmış yağ, asit ile karıştırılmakta; asitle karıştırılmış yağ, dinlendirilmek üzere Dinlendirme Tankına gönderilmektedir. Dinlenme sırasında yağın içindeki metaller, kirleticiler ve katkı maddeleri asit ile tepkimeye girerek yağ içinde çözünmeyen sülfatları oluşturmaktadır. Bu sülfatlar tankın dibine çökmekte ve asidik bir çökelti oluşturmaktadır. Yağ'a karıştırılan asit miktarı yağın özelliklerine göre değişmekle birlikte genelde ağırlıkça %5 civarındadır. Dinlendirme tankından alınan yağ; renk, koku, nötralize etmek ve oksidasyon stabilitesini kazandırmak amacı ile kil (aktive edilmiş kil) ile temas ettirilmektedir. Bu işlemden sonra yağ Vakum Distilasyon ile çeşitli kısımlara (Hafif Baz Yağ, Dingil Yağı, Ağır Baz Yağ gibi) ayrıştırılmaktadır. İşlemin vakum altında gerçekleşmesinin sebebi; kaynama sıcaklığını düşürerek, hem enerji tasarrufu, hem de yüksek sıcaklıktan dolayı yağda meydana gelebilecek bozunmayı (koklaşmayı) önlemektir. Bu prosesten gelen katı atık ürünleri, zehirli atık karakteristiği gösteren asit çamuru ve kullanılmış kildir. Bu yüzden bu atıkların yok edilmesinde önemli problemler çıkabilmektedir. Bu proses günümüzde terkedilmekte olan bir türdür. A.B.D ve Avrupa Birliği'nde bu prosesin kullanılması yasaklanmıştır (Ali, M. vd.,1995, Ergün, B., 2003)

3.4.3. Cairo'da Kullanılan Rafinasyon Metodu

Bu sistemde sadece kullanılmış taşıt yağı kullanılmaktadır. Kapasitesi 3000 litre civarındadır. Kullanılmış yağlar, şehir içi bölgelerdeki araç tamir bakım atölyelerinden 200 litrelik konteynırda depolandıktan sonra yağlar arıtma tesisine taşınmaktadırlar.

Tesiste işleme başlamak için konteynırlardaki yağlar pompa ile çelikten yapılmış ısıtma kabına boşaltılmaktadır. Kapalı kap, tabandaki atık yağ kullanan ısıtıcı ile doğrudan ısıtılır. Önce 100°C sıcaklığa kadar ısıtılarak yakıt içindeki suyun uzaklaşması sağlanmaktadır. Sonra ısıtmaya devam edilerek sıcaklık 170°C'ye kadar çıkartılır. Atık yağ içine karışması muhtemel solventler ve petrol türevlerinin 100°C üzerinde buharlaşmaları sağlanır.

Sıcaklık 170°C'ye çıktığında yağ ilk çelik karıştırıcıya pompalanmaktadır. Bu çelik kap çift cidarlıdır ve arasından soğutma suyu pompalanır. Yağ böylece 30-40°C'ye kadar soğutulmaktadır. Soğutma işleminden sonra ortama sülfürik asit ilave edilir. İlave edilmesi gerekli sülfürik asit miktarı, arıtılan yağın yaklaşık %10'u kadardır. Karışım 3-4 saat düzgün bir şekilde karıştırılmaktadır. Böylece asitle kirleticilerin sülfat oluşturmak üzere reaksiyona girmesi sağlanmaktadır. Daha sonra yağ tabanı konik olan silindirik çelik kap içine pompalanmaktadır. Katı maddelerin tabanda çökmeleri için bir gün bekletilir. Daha sonra asitli çamur bertaraf edilmek üzere eski yağ konteynırına yüklenmektedir.



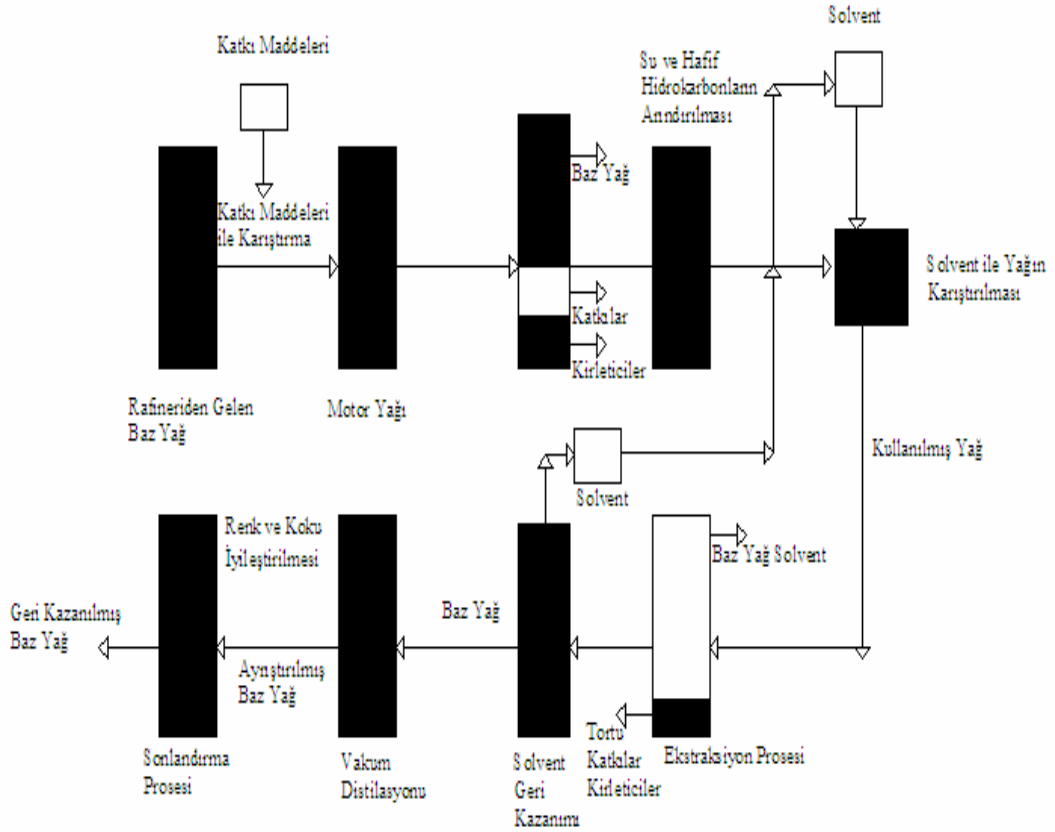
Şekil 3.3. Cairo'da Kullanılan Rafinasyon Metodu (Öztürk M., 2005)

Yüzeydeki duru asit-yağ karışımı ikinci açık çelik karıştırıcıya pompalanır. Bu karıştırıcı ısıtma amacı ile çift cidarlıdır. Isıtma dolaylı buhar kullanılarak sağlanır. Asit-yağ karışımı ile karıştırıcı doldurulduktan sonra (yaklaşık 3000 litre) 100 kg. kireç ilave edilir. Karıştırılarak 170 °C kadar ısıtılır. Tüm reaksiyonun tamamlanması için 2-4 saat bekletilir. Daha sonra asidi nötralize edip pH'ı 7'ye çıkarmak gereklidir. Böylece alçı taşı elde edilir. Kireçle arıtma işleminden sonra karışım içeriğindeki alçı taşını yağdan gidermek için filtre presten geçirilir. Temiz yağ depolama tankına pompalanır ve dağıtımına sunulur. Bu yavaş hareket eden makineler için (metallerin işlenmesi gibi) ikincil kalite yağ veya soğutma amacı ile kullanılır. Bu metodun en büyük dezavantajı çamur oluşurması ve bu çamurun uzaklaştırılması için özel itina gerektirmesidir. Ayrıca baca gazı kirleticileri oluşturmasıdır(Öztürk M., 2005).

3.4.4. Solvent Ekstraksiyonu

Bu geri kazanım prosesinin başlıca bölümleri Şekil 3.4' te gösterilmiştir. Bu teknolojinin yeniliği distilasyon sırasında koklaşma ve bozunma değerini düşüren ön işlem safhasıdır. Amerikan patentleri ile sistem onaylanmıştır.

İlk aşama suyun uzaklaştırılmasıdır. Suyun uzaklaştırılmasının sebebi; çözücü ile atık yağ çökmesi safhasında yağın güvenli bir şekilde korunabilmesi için suyun ve hafif hidrokarbonların kullanılmış yağdan uzaklaştırılmasıdır. Su miktarı yaklaşık olarak %5 civarındadır. Bununla beraber numuneler bundan daha düşük ve yüksek değerler içerebilmektedir. Kullanılmış motor karter yağlama yağlarında genel olarak yakıt karışımı söz konusu olduğu için, %5 oranında hafif hidrokarbon bulunmaktadır. Bu hidrokarbonlar taşıt yağının kaynama noktasının altında buharlaşmaktadır (370°C). Dolayısı ile ilk olarak su ve ardından hafif hidrokarbonlar uzaklaştırılmaktadır. Hidrojenden arındırma aşamasında, hammaddenin koklaşma sıcaklığına ulaşmadan arındırılması çok önemlidir. Bunun anlamı da sıcaklığın 205 °C 'ın altında tutulması gereğidir. Bu sebepten vakum ya da buhar distilasyonu gerekmektedir. Prosedürde 150°C ve 10mmHg basınç kullanılmaktadır(Elbashir, N.O.,vd.,2002,Ergün, B.,vd. 2003).



Şekil 3.4. Solvent Ekstraksiyonu İle Geri Kazanım Prosesi Akış Diyagramı
(Elbashir, N.O.,vd.,2002,Ergün, B.,vd. 2003).

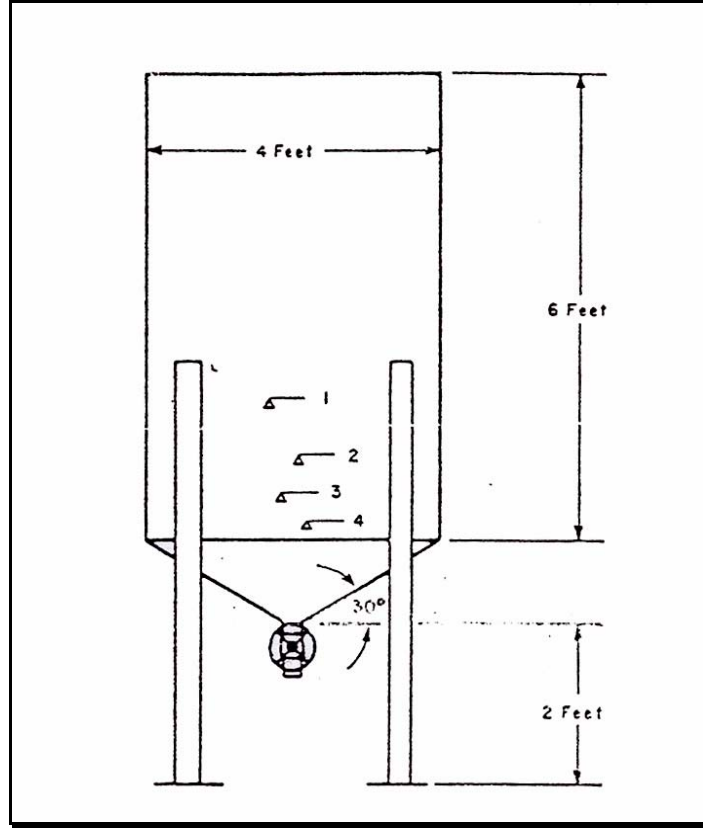
Su ve hafif hidrokarbonlar uzaklaştırıldıktan sonra kullanılmış yağ karıştırma tanklarına gönderilmekte ve burada solvent ile karıştırılmaktadır. Elde edilen karışım, dinlendirme tanklarında bekletilerek, kullanılmış yağ içindeki kirlenmelerin solvent ile tepkimeye girerek bir çökelti oluşturması sağlanmaktadır. Tankların alt kısımlarından alınan çökelti, asfalt ve türevleri olarak kullanılabilir. Solvent sistemi olarak çeşitli karışımlar kullanılmaktadır. En etkili solvent sistemi olarak 1:2:1 (2 propanol/ 1bütanol/ 1MEK) solvent sistemi 3:1 yağ çözücü oranı ile seçildi ve %95 yağ geri-kazanımı ve %75 kül azalması sağlandı. Çizelge 3.3'te solvent sistemleri ve Solvent:Yağ oranlarını karşılaştırmaktadır. (MEK= Metil Etil Keton)

Çizelge 3.3. Çözücü Sistemleri ve Solvent:Yağ Oranlarının Karşılaştırılması(Ergün, B., vd. 2003).

Çözücü Sistemindeki Çözücü Oranı	2 Propanol / 1 Bütanol / MEK 1: 2 : 1		2 Propanol / 1 Bütanol 1: 2	
	Yağ Solvent oranı	3:1	8:1	3:1
Ayrıştırma Kalitesi	iyi	iyi	Kötü	Orta
Çökelti Karakteri	Yarı Katı	Yarı Katı	Sıvı	Sıvı
Geri Kazanılan Yağ (Ağırlıksal %)	96.3	96.3	59.5	86.8
Çökelti, (Ağırlıksal % farkına göre)	3.7	3.7	40.5	13.2
Kül İndirgemesi (%)	75	64.8	85.1	93.4

Bekletme kabı şekli, sıcaklığı, Ph değeri, ayırma metodu ve kirlilik gibi parametreleri kapsayan bir araştırmaya tabi tutulmuştur ve bu araştırma göstermiştir ki bu parametrelerden hiçbiri Solvent teknolojisinin kaliteli yağlar meydana getirmesini etkilememektedirler. Hidrojenden arındırma safhasından sonra %25'e kadar dizel yakıt, antifriz gibi kirliliklerin hiçbiri etki yapmamaktadır. Hidrojenden arındırma safhası olmasa bile 3:1 yağ-solvent oranlı sistemde sadece suyun zararlı etkisi olmaktadır.

Solvent eklendikten sonra çeşitli karıştırma sürelerine göre bekletme periyotları üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma sonuçlarının bir kısmı Çizelge 3.4.'te gösterilmektedir. Örnekleme yapılırken, aynı bekleme süresi için çeşitli konumlardan örnekler toplanmıştır ve Şekil 3.5.'te gösterilmektedir. Optimum bekleme süresi besleme stoklarının kirliliklerine göre değişmektedir. İlave bekleme zamanı yoğun çökelti için gereklidir ve yağın ve solventin geri dönüşümünü artırır.



Şekil 3.5. Bekletme Tankı(Ergün, B., vd., 2003).

Kullanılmış yağlama yağının distilasyonundan elde edilen kısımlar genellikle koyu kırmızı veya turuncu renge ve keskin veya bozuk kokuya sahiptir. Renk ve koku iyileştirmelerine ulaşmak için kil teması veya hidrofinitiş ile etkili bir şekilde kullanılmaktadır.

Kil teması, kullanılmış yağlarda hazır bulunan organo-metalik, oksitlenmiş ve sülfür bileşiklerinden dolayı el değmemiş stoklara nazaran daha sert koşullarla kullanılmaktadır. Tipik bir kil işleminde 26 galon distile edilmiş kullanılmış yağ ve 13 pound 20 filtrol derece kil tanka yüklenmektedir. 2 saat ve 200°C sıcaklıkla 0,2 lb/gal/hr oranında buhar enjekte edilmektedir. 4,7 saat sonra sıcaklık 232°C'dedir. derecededir ve 5.9 saat sonra yağ dinlendirilmektedir. Ardından filtre edilmektedir. İşlenmiş yağ, 11/2 (ASTM D1500) rengine sahiptir ve destilasyona uğramış L5 yağının ilk rengi ile karşılaştırılabilmektedir. Koku, normal bir petrol ürününü kokusu şeklindedir. Kil teması ile yağ oksidasyon stabilitesi testlerinden büyük

başarıyla geçtiği gibi, pas ve korozyon önlemede de başarılı olmuştur(Wishman, M. L.,1978, Ergün, B., vd. 2003).

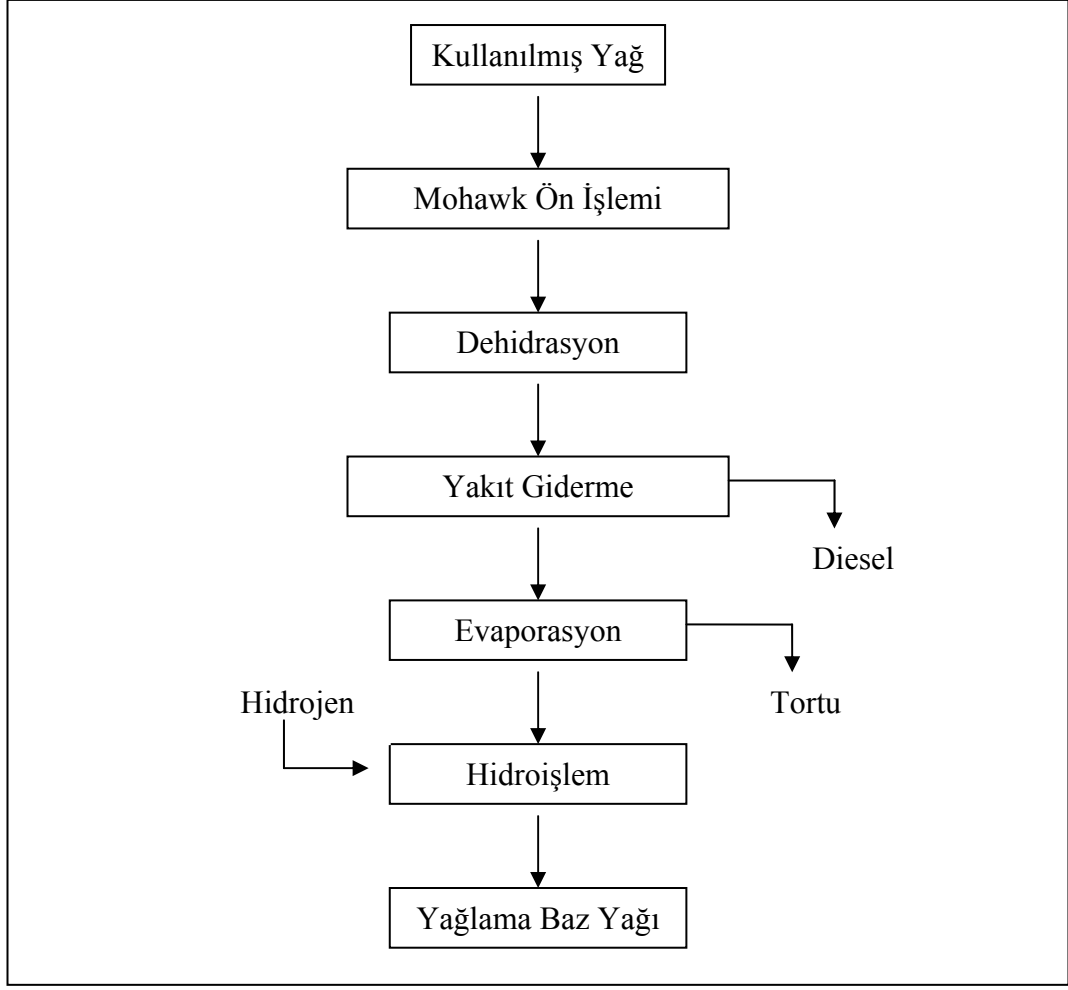
Çizelge 3.4. Karıştırma ve bekletme zamanlarının geri kazanılan yağdaki kül konsantrasyonu üzerindeki etkileri (Ergün, B., vd., 2003).

Karıştırma Süresi,dak	Bekletme Süresi,dak	Örnekleme Valfi Konumu	Çökelti, S, % Ağ (Ç/S : yağ)	Geri Kazanılan Yağın Kül Yüzdesi	Yüzesel Kül İndirgemesi
15	0	Üst	2	0.51	79.4
		Aşağı	14	0.54	78.2
	15	Üst	0.1	0.51	79.4
		Aşağı	0.1	0.53	78.6
	30	Üst	0.1	0.5	79.8
		Aşağı	0.03	0.57	77.0
30	30	Üst	0.02	0.51	79.4
60	30	Üst	0.07	0.52	79.0
	21 saat	Aşağı	0.07	0.55	77.8

3.5. Fiziksel ve/veya Kimyasal İşlem

3.5.1. Mohawk CEP Prosesi

Şekil 3.6'da Mohawk-CEP prosesinin basitleştirilmiş blok diyagramı görülmektedir. Mohawk prosesi A.B.D'nin Californiya'daki özel bir kimyasal mühendislik şirketi olan Chemical Engineering Partners'e aittir. Mohawk prosesi çeşitli kaynaklardan sağlanacak yağ ile uyumludur. Genel olarak kabul edilen kullanılmış yağ tipleri transmisyon sıvıları, şanzıman yağları, gresler, hidrolik yağlar ve motor yağları gibi nötr yağ ürünleridir.

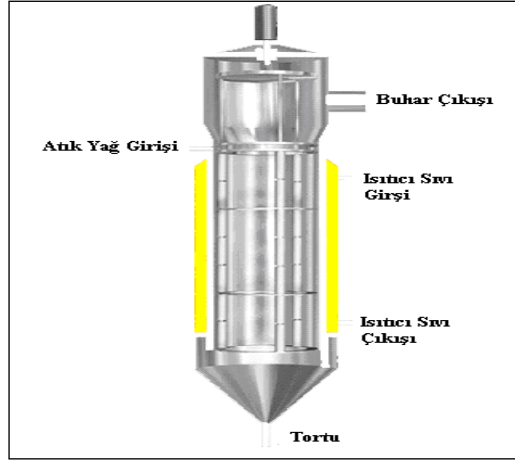


Şekil 3.6. Mohawk CEP Prosesi ile Kullanılmış Yağın Fiziksel Geri Kazanım Akış Diyagramı (Ergün, B., vd. 2003).

Bu prosesin ilk adımında su ve yakıt bileşenleri kullanılmış yağdan uzaklaştırılmaktadır. Kullanılmış yağ stokunun %10'u su ve %3'ü de yakıtlar (hafif hidrokarbonlar)dır. Suyun giderilmesi işlemi dehidrasyon olarak geçer ve bir distilasyon kolonu ile gerçekleştirilmektedir. İkinci adım, yani Yakıt Giderme adımı yine bir distilasyon işlemidir ve işlemde diesel yakıtı yağ'dan ayrıştırılmaktadır. Kullanılmış yağ içindeki diesel oranının %7 civarında olduğu gözlenmiştir. Diesel yakıtı istenirse tesiste kullanılabilmekte veya endüstriye satılabilmektedir.

Üçüncü adım ise Evaporasyon'dur. Bu adımda bir ince film evaporatörü ile tozlar, metaller, katkı maddeleri ve diğer kirleticiler tortu şeklinde yağdan ayrıştırılmaktadır.

İnce film evaporatörlerinde ortada bir rotor ve bu rotora bağlı kanatlar vardır. Bu kanatlar yardımı ile atık yağ, sıcak yüzeye etkin bir şekilde temas ettirilmektedir. Böylece yağın hızlı bir şekilde buharlaşması ve kirleticilerden ayrışması sağlanmaktadır. İşlem vakum altında da gerçekleştirilebilir. Şekil 3.7. bir ince film evaporatörünün şematik şeklini göstermektedir.



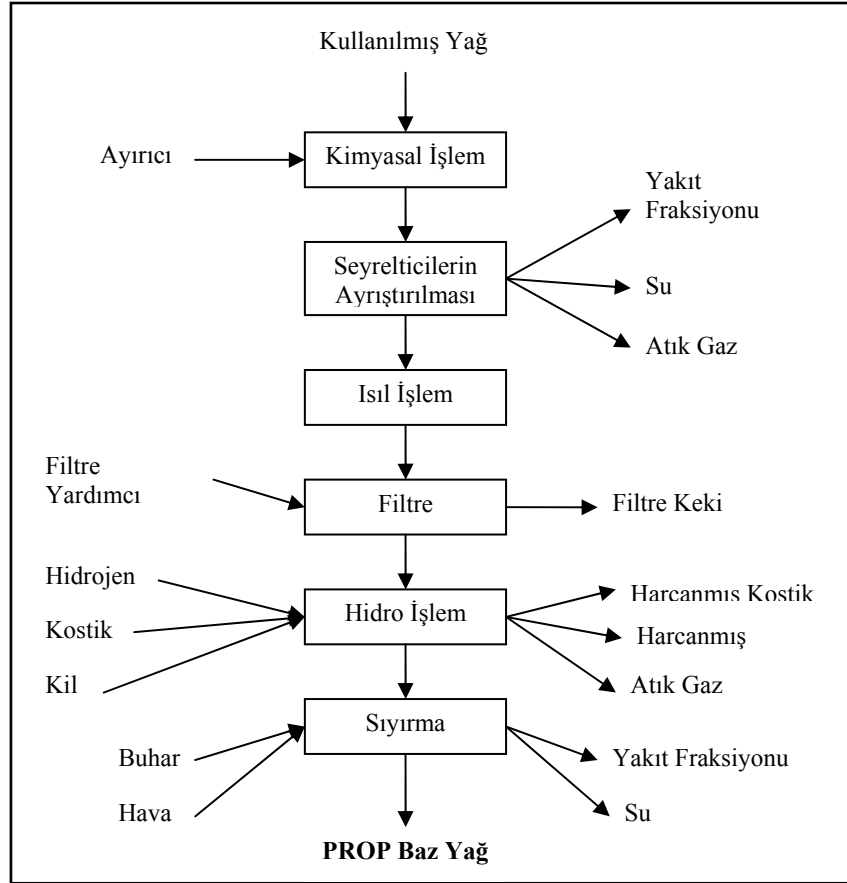
Şekil 3.7. İnce Film Evaporatörü(Ergün, B., vd. 2003)

Prosesin son adımında ise yağ; hidrojen gazı ve katalizör ile bir reaktörde karıştırılmaktadır. Bu işlem, yağın içindeki kükürt ve diğer oksidasyon ürünlerini gidermektedir. Proses sonunda işleme sokulan atık (kullanılmış) yağın %65'i baz yağ olarak çekilmektedir. Bu oran atık yağdaki su, hafif hidrokarbon ve diesel miktarına göre değişmektedir.

Mohawk prosesinin göze çarpan kısımları devamlı operasyon, düşük bakım, uzun katalizör kullanım süresi, düşürülmüş korozyon ve geliştirilmiş teknolojisidir (California Integrated Waste Management Board, Refined motor oil 1996, Ergün, B., 2003).

3.5.2. PROP Prosesi

PROP (Phillips Yağ Geri Kazanım Kafınasyon Prosesi) atık yağlama yağlarını orijinal haline çeviren Phillips Petroleum Firması tarafından geliştirilmiş, yağların geri kazanım teknolojisidir (Şekil 3.8.).

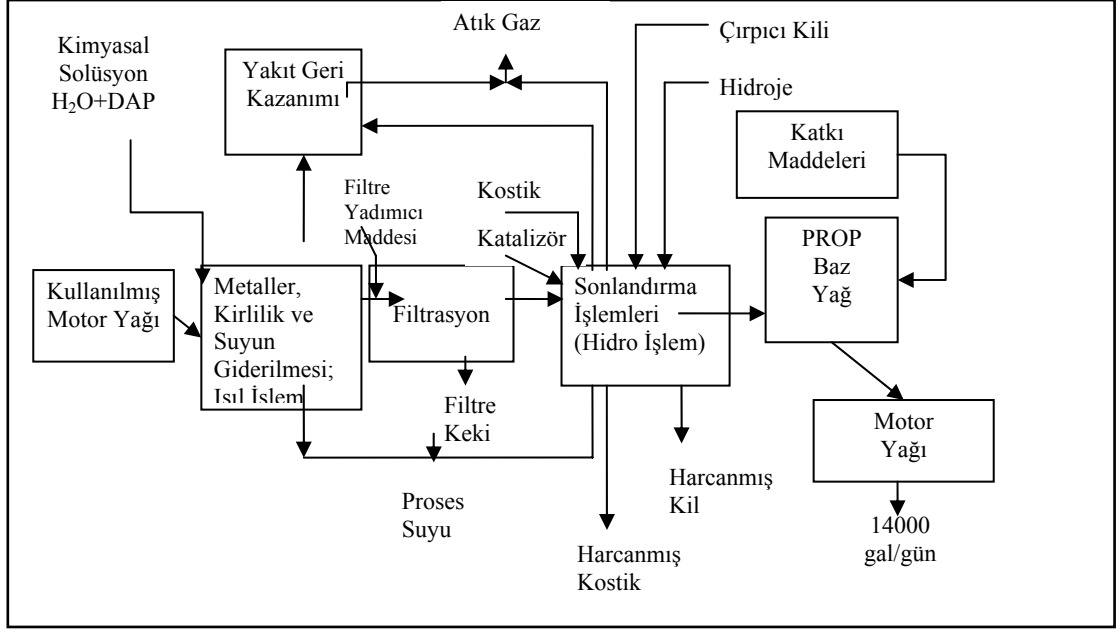


Şekil 3.8. PROP Prosesi Akış Şeması(Ergün, B., vd.2003).

PROP bunu çevre açısından sorgulamakta, asit ve/veya çözücü kullanmadan ve vakumlu damıtma olmadan yapmaktadır. Atık yağın bir ön işlemden geçirilmesi gerekmemektedir.

Atık yağ ilk etapta sulu diamonyum fosfat eriyiği ile temas ettirilmektedir. Bunu izleyen reaksiyonlar sonucunda karakteristik olarak suda veya yağda çözünürlüğü çok düşük olan metalik fosfatlar ortaya çıkmaktadır. Demetalizasyon işlemi

(diamonyum fosfat ile reaksiyona sokma işlemi) reaktörlerde gerçekleştirilmektedir. Reaktörle de sıcaklık 148°C ve 20 psi'i geçmemektedir. Atık yağın içindeki su ve yakıt kısmının önemli bir bölümü işlemin ikinci (seyrelticilerin ayrıştırılması) ve üçüncü (ısıl işlem) safhalarında ayrılmaktadır. Reaktörlerin üst kısımlarından alınan buharlaşmış kısım yoğunlaştırılmakta ve sonrasında su ve yakıt olarak ayrıştırılmaktadır (2. safha). Reaktörlerin alt kısımlarından alınan atık yağ, ısıl işleme tabii tutulmakta ve yağın ısıtılması sülfür ve hidrojenin SO₂, H₂S ve NH₃ halinde kısmen giderilmesi ile sonuçlanmaktadır. Bu ilk üç safha sonunda kullanılmış yağdaki metallerin giderilmesi, orijinal yağın içine oksidasyon önleyici katkı maddesi olarak eklenen çinkoditiofosfat içindeki çinko ve fosfor dışında, esas olarak tamamlanmaktadır. Sıcaklık çevrimi, bu fosforlu bileşimin önemli bir bölümünün istenilen oranda termal olarak bozulmasını sağlamakta ve ince, dağılmış haldeki katı maddelerin büyük bölümünün toplanarak bir sonraki safhada filtre edilmesine hazırlamış olmaktadır. Süzme vasıtasının eklenmesi bu filtrasyonu sağlamaktadır. Ortaya çıkan metalden arındırılmış ve dehidrasyon işlemi uygulanmış yağın içinde bulunan kül oluşturu maddelerin yüzde 99'u veya fazlası şimdi giderilmiş durumdadır ve hidroişlem için hazır haldedir. Bu yağ ısıtılarak, yeniden sirküle eden hidrojenle karıştırılmakta, bir koruyucu kil yataktan geçirilerek konvansiyonel nikel-molideyt katalizator üzerinde hidroişlemden geçirilmektedir (bu işlem bir reaktörde gerçekleştirilmektedir). Koruyucu yatak inorganik madde kalıntılarını ayırmakta, sülfonik asitlerin ayrışmasını kolaylaştırmaktadır. Hidro-işlem istenmeyen kükürt, nitrojen, oksijen ve klor bileşiklerini giderir ve renkte istenilen gelişmenin elde edilmesini sağlamaktadır. Son bir temizleme safhasıyla geri kalan yakıt kalıntıları ayrılarak, yeniden arıtılmış yağın yanma noktasının kontrolü sağlamakta ve kalabilecek nem giderilmektedir. Aynı zamanda geri kazanılan hidrojen H₂S, NH₂ ve HCl'nin ayrılması için su ile yıkamakta ve kostikle ovulmaktadır. Hidroliz işlemi yapılmış ürün, motor yağlarının ve diğer yağlayıcıların harmanlanmasında kullanılmaya uygun, yeniden arıtılmış ham yağdır ve natürel ham yağ şeklinde pazarlanabilmektedir. Şekil 3.8-3.9'da PROP prosesinin ayrıntılı bir akış şemasını göstermektedir(Linnard, R. E., Henton, L. M 1979; Ergün, B., vd.2003).



Şekil 3.9. PROP Tesisi İçin Akış Diyagramı(Ergün, B., vd.2003).

3.6. Kullanılmış Taşıt Yağı'nın Hidrokarbon Çözücüler Kullanılarak Geri Dönüşümü

Yeni hidrokarbon çözücüler kullanarak çözücü ayrıştırma yöntemi, kullanılmış yağlama yağının geri dönüşümünde kullanılmaktadır. Kullanılan çözücüler, LPG'den sıvılaştırılarak elde edilmekte ve geri dönüşüm işleminde, demulsifier daha iyi sonuç alabilmek için kullanılmaktadır. Stabilized condensate kullanarak yapılan ayrıştırma işlemi, kullanılmış yağ geri dönüşüm teknolojisinde rekabetçi bir özellik sağlamaktadır. Bu yöntem, işlenmiş yağlama yağının içeriğindeki asphaltene oranını % 0.106, kül oranını % 0.108 ve karbon tortusunu % 0.315 ve çok düşük kirletici metal seviyesine düşürmektedir. Toplam yağ oranı % 79 dur. İşlenmiş yağın adı yağlama yağı olarak geri dönüşümü sağlanabilmektedir. Yüksek sıcaklık, bu yöntemin dezavantajlarından(Ergün, B., vd.2003).

Kullanılmış yağlayıcı yağları, araçlarda ve makinelerdeki yağ kullanımından kaynaklanan yan ürünlerdir. Bu yağlar, toz, su, tuz, metal, tam yanmanın olmaması nedeniyle ortaya çıkan ürünler veya diğer olaylar nedeniyle belirli zaman aralıkları ile değiştirilmek zorundadır. Yağlama yağlarına eklenen katkı maddeleri de bu kirlenmeyi artırabilmektedir. Uygun bir işlemde geçirilmeyen kullanılmış yağlar

çevreye zararlı olacak şekilde atılmaktadır. Kullanılmış yağlar, illegal olarak su yollarına, karaya dökülerek su kirliliğine yol açılmaktadır. Diğer yandan, kullanılan yağlama yağları uygun bir şekilde geri dönüştürülürse, değerli kaynaklarımızın korunmasına ve çevreye etkilerinin azaltılmasına yardımcı olur. İki galon kullanılan taşıt yağı, ortalama bir ev halkının yaklaşık bir günlük elektrik ihtiyacını sağlamakta ve bir galon kullanılan yağ 140,000 Btu içermektedir.

Kullanılmış yağın geri dönüşümü için birkaç alternatif yöntem kullanılmaktadır: Acid Clay (Asit Kil) Geri Dönüşüm Yönteminde; asphaltenic materyalleri ayrıştırmak için yüksek yoğunluklu sülfürik asit kullanılmaktadır. Çok yüksek miktarda istenmeyen asit çözeltileri ortaya çıktığından bu günlerde bu yöntem kullanılmamaktadır.

Acid-Free Clay Yönteminde; kullanılan yağ, iki doğal polimer kullanılarak karbon artıklarının ayrıştırılması için vakum damıtma ve kil ile ön işlemden geçirilmektedir. Yine de, bu yöntem ile elde edilen yağ, The Color of the Recycled Oil (Atomic Vacuum Co., 2000) Yöntemine kıyasla daha fazla metal içermekte ve işlem için daha fazla oranda kil gerektirmektedir. Yukarıda bahsedilen iki yöntem gelişmiş ülkelerde (örneğin; Amerika ve Avrupa ülkeleri) artık kullanılmamaktadır. Ancak, bu iki yöntem Birleşik Arap Emirlikleri gibi gelişmekte olan ülkelerde kullanılmaktadır.

Propan Ayrıştırma Yönteminde; esas yağı, atık yağdan ayrıştırmak için sıvı propan kullanılmaktadır. Saunders (1996), bir Stripper'a (buharlaştırma ile çözücünün yağdan ayrıldığı yer) pompalanan yağ/çözücü karışımı yoğunlaştırılmakta ve tekrar kullanılmaktadır. Kullanılmış yağ, atmosferik basınç altında, hafif hidrokarbonlar ve suyun ayrıştırılması için çözücü eklenmeden önce hızla hareket ettirilmektedir. Yağın daha da iyileştirilmesi için işlem sıcaklığı ve çözücü-yağ oranları değiştirilebilmektedir. Glass Ring Packing kullanımında, en uygun sıcaklık aralığının 80–110°C olduğu ve akışkanlık oranının (çözücü-yağ'ın) 5:1 olduğu belirtilmektedir. Kalan yağdaki çözücü, vakum sütunlarda damıtılmakta ve Mild Clay işlemine tabi tutulmaktadır. Ancak bu yöntem, propanın sıvı olmasını gerektirdiğinden pahalı olabilmektedir(Ergün, B., vd.2003).

3.6.1. LPG Sıvısı Kullanılması ve Sonuçları

Son zamanlarda, kullanılmış yağın geri dönüştürülmesinde birkaç teknik uygun ve kullanılmaktadır. Yine de, bu tekniklerin her biri belirli dezavantajlara sahiptir ve bu yüzden kullanılmış yağın geri dönüşüm çalışmaları yeni fikirlere ve tekniklere açıktır. Örneğin; The Acid Clay Process'te istenmeyen ve oldukça yüksek kirli asit ortaya çıkmaktadır. The Acid-Free Clay Process metallerin ayrıştırılmasında çok etkili değildir ve geri dönüşümü yapılmış yağın geri dönüşümü oldukça yüksek oranda kil gerektirmektedir. The Propane Extraction Process pahalı olup, vakum damıtımına ve propanın sıvılaştırılmasına ihtiyaç duymaktadır. Hidrokarbon çözücüler ve demulsifier kullanımıyla aşağıdaki avantajlar beklenmektedir:

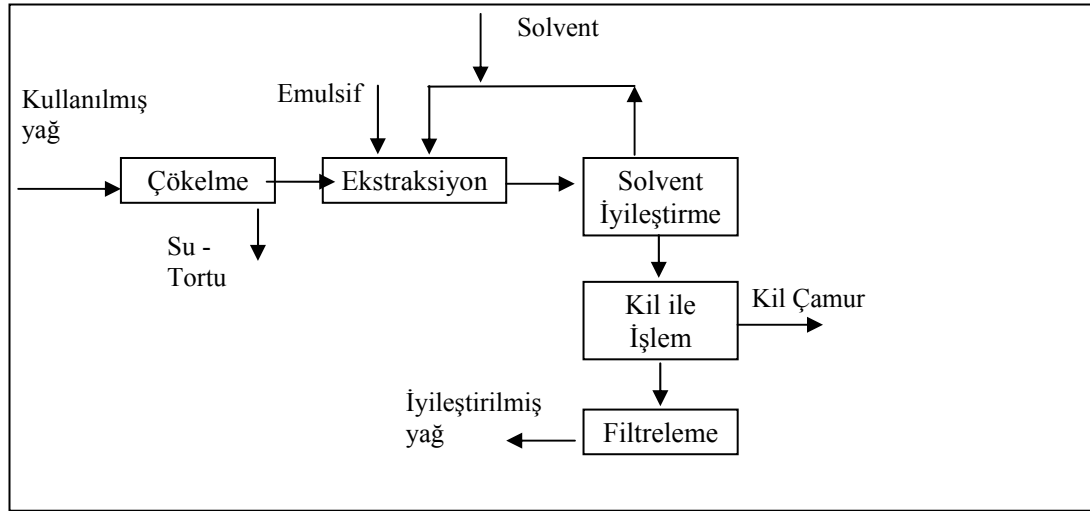
1. Zehirli olmayan sıvı çözücülerin kullanımı
2. Çevre şartlarında iyileştirme işleminin yapılması.
3. Daha az atık üretilmesi.
4. Daha az maliyetli ve hesaplı olması

LPG sıvısı kullanılarak yapılan deney prosedürü aşağıdaki gibidir.

1. Kullanılmış yağ, suyun ve katı maddelerin basit mekanik ayrımı için beklemektedir.
2. Fiziksel özellikler ve metal içerikleri ölçülmektedir.
3. Kullanılmış yağ daha sonra LPG sıvısı veya stabilize sıvı ile 1/4, 1/2, 1/1, 2/1, 3/1, 4/1 veya 5/1 çözücü-yağ oranına göre elektrikli karıştırıcı kullanılarak 500 rpm'de 10 dakika karıştırılmaktadır.
4. adım, kullanılmış yağa uygun şekilde %1 oranında demulsifier eklenerek tekrar edilmektedir.
5. 3. ve 4. adımda elde edilen karışım bekletilmektedir. Bir karışım tabakası oluşturulmakta ve bu tabaka alınarak tartılmaktadır.
6. Çözücü, damıtma yoluyla geri alınmaktadır.
7. İşleme tabi yağ, içeriği temizleme işleminin etkinliği için analiz edilmektedir.

8. İşleme tabi yağa, kil (%18 activated fullers earth material) eklenmektedir. 110°C' de 30 dakika renginin sağlanması için kil üreticisinin tavsiye ettiği gibi kimyasal işleme tabi tutulmaktadır.
9. Önceki adımdaki yağ, daha sonra kil ve diğer metallerin alınması için filtre edilmektedir.
10. Geri dönüşümü yapılan yağ, farklı fiziksel özellikler ve metal içeriği bakımından analiz edilmektedir.
11. Geri alınan çözücü analiz edilmektedir.

Yukarıdaki prosedürün akış diyagramı Şekil 3.10.'da şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Basitleştirilmiş Solvent Extraction Process Akış Diyagramı
(Hamad A., vd., 2005)

Yapılan deney sonucunda asfalt, karbon ve kül içeriği oranlarının demulsifier eklenmesiyle azaldığı görülmektedir. Stabilized sıvısının eklenmesi sonucu, yağ örneğinin dibinde bir asfalt tabakası oluşmaktadır. Zaman geçtikçe bu tabakanın kalınlığı artmaktadır. Yağ örneği 7 gün bekletilmektedir. Aynı eğilim demulsifier kullanıldığında da gözlemlenmektedir. Ancak, demulsifier eklenmesi asfalt tabakasının kalınlığını arttırmaktadır. Alınan asfaltın ağırlığı, orijinal kullanılmış yağ

ağırlık toplamının %4,2' si olmaktadır. Demulsifier kullanımı ile bu oran %15,1'e yükselmiş alınan asfalt, karbon kalıntısı ve kül oranlarının demulsifier eklenmesi sonucu daha iyi olduğu görülmektedir.

Çözücüyu geri kazanmak için stabilize sıvı çözücü ile işleme tabi tutulan yağ karışımı basit bir damıtma işlemine tutulmaktadır. Hiç kullanılmayan ve geri kazanılan çözücüler analiz edilmiştir. Geri kazanılan çözücünün gravite, viskozite ve bowling point değerleri çok az, hiç kullanılmayan çözücü değerlerinden fazla olmaktadır(Hamad, A., vd. 2005).

3.7. Sistemlerin Ekonomik Değerlendirmesi:

Bu kısımda ise sistemlerin yatırım maliyetleri, geri dönüş süreleri ve birim baz yağ üretim maliyeti ile ilgili bilgiler verilmektedir. Rafineride ham petrolden üretilen baz yağ ile kullanılmış yağdan üretilen baz yağın maliyetleri karşılaştırılmaktadır. Tüpraş'tan 01/07/98 tarihinde yapılan açıklamaya göre baz yağın fiyatı 78 milyon TL/ton'dur. Aynı yıl itibari ile 1\$'ın değeri ise 269bin TL'dir. Bu durumda baz yağ fiyatı 289\$/ton'dur (vergiler hariç) (http://www.tupras.com.tr/sub_price.asp)

3.7.1. Asit Kil Prosesi:

Bu proses ile çalışacak ve yılda 50 000 ton atık yağ işleyecek bir tesisin toplam yatırım (kurulum) maliyeti 28.750 milyon\$'dır. Tesisin geri ödeme süresi (bir projenin başlangıç masraflarını çıkartması için gerekli olan süre) 8.2 yıldır. Bir ton baz yağ üretmenin maliyeti ise 349\$'dır. Tesisin yatırım maliyetini çıkarabilmesi için 349\$'lık maliyetin üstünde bir fiyata satış yapması gerekmektedir. Ayrıca bu fiyatın da rafineriden çıkan baz yağ fiyatından düşük olması gerekmektedir.

3.7.2.Mohawk Prosesi:

Bu proses ile çalışacak ve yılda 50.000 ton atık yağ işleyecek bir tesisin toplam yatırım maliyeti 11,713 milyon\$'dır. Tesisin geri ödeme süresi 1.4 yıldır. Bir ton baz yağ üretmenin maliyeti ise 198\$'dır (Ali, M. vd.,1995, Ergün, B., vd.2003) .

3.7.3.Solvent Ekstraksiyonu:

Günde 24.000 galon atık yağ işleyecek bir tesisin yatırım maliyeti 3.4 milyon\$'dır. Burda galon'u ton'a çevirmek için kullanılmış yağın yoğunluğu 0.828g/ml olarak tespit edilmiştir Bu kabule göre 50 000 ton/yıl'lık bir tesisin yatırım maliyeti 6.2 milyon\$ olarak belirlenmiştir. Yapılan açıklamalarda Geri Ödeme süresinin 1 yıl civarında olacağı üretici firma (Interline Resources Şirketi) tarafından belirtilmiştir. Yapılan hesaplamada kullanılmış yağ fiyatı 53.5\$/ton ve işletme maliyeti 71.9\$/ton olarak alınmıştır. Bir ton baz yağ üretmenin maliyeti ise 125.4\$'dır. (Ali, M. vd.,1995, Ergün, B., vd.2003) .

3.7.4.Prop Prosesi:

Bu konuda yapılan çalışma 1979 yılı verilerine göre değerlendirilmiştir. Bununla beraber PROP prosesi artık günümüzde kullanılmamaktadır. 1 ton baz yağ üretim maliyeti hesaplanırken ABD'de 1979 yılından bu yana yılda en fazla ortalama %2 enflasyon oranı olduğu varsayılarak, işletme maliyeti 1998 yılı için 104\$/ton olarak bulunmuş ve diğer hesaplamalarda da olduğu gibi, kullanılmış yağ fiyatı 53.5\$/ton olarak alınmıştır. Bu durumda baz yağ üretim maliyeti 157.5\$/ton'dur(Linnard, R. E., Henton, L. M., 1979, Ergün B., vd., 2003).

Yukarıda özetlenen proseslerin maliyetlerinin karşılaştırılması Çizelge 3.5.'te verilmektedir(Ergün B., vd., 2003).

Çizelge 3.5. Proseslerin Maliyetlerinin Karşılaştırılması(Ergün B., vd., 2003).

Proses Maliyet	Meinken	Mohawk	Solvent Ekstraksiyon	PROP
Yatırım Maliyeti	28.750 milyon \$	11.713 milyon\$	6.2 milyon\$	
1 ton Baz Yağ Üretim Maliyeti	349\$	198\$	125.4\$	157.5\$
Geri Ödeme Süresi	8.2 yıl	1.4 yıl	1 yıl	1.2

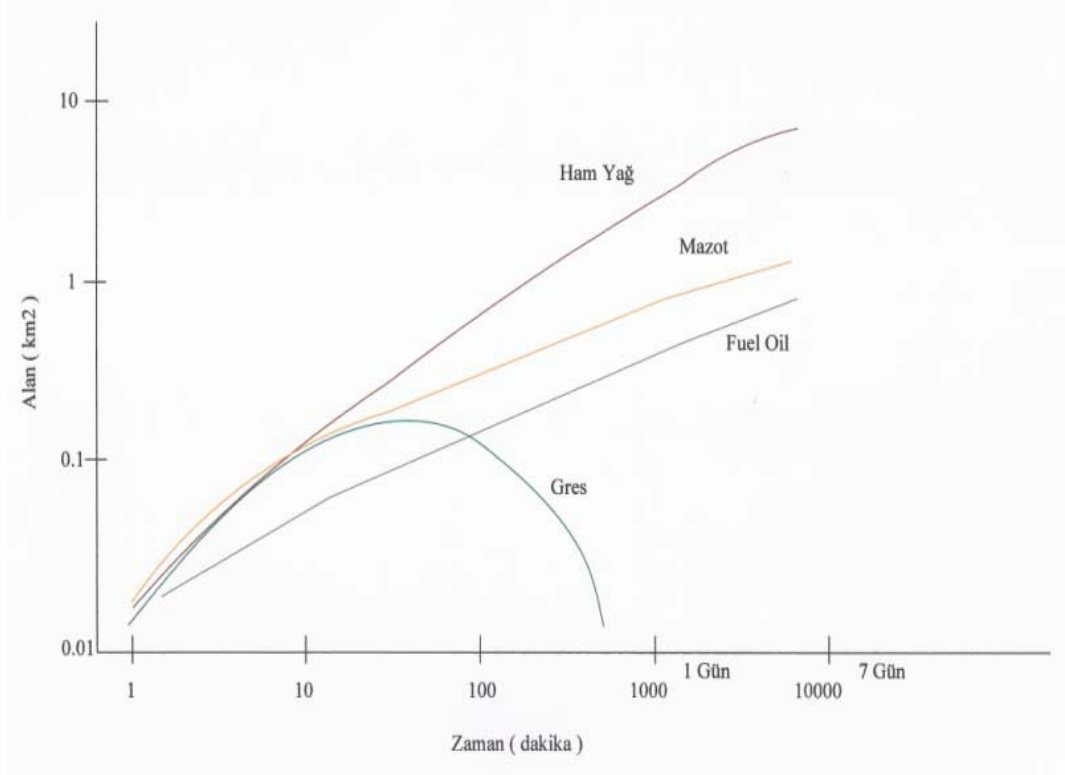
3.8. Kullanılmış Motor Yağlarının Çevre Üzerine Etkisi

Kullanılmış yağ geri dönüştürülüp toprağa, suya dökülmediği sürece tehlikeli madde değildir. Kullanılmış yağlar deterjanlar, fosfatlar yanında kurşun, çinko, baryum, kadmiyum, civa, krom, arsenik ve vanadyum gibi ağır metaller içermektedirler. Kullanılmış yağları evsel atıksu arıtma tesislerinde arıtmak zor ve pahalıdır.

3.8.1. Kullanılmış Motor Yağlarının Sulara Etkisi

Kullanılmış yağların suda çözünmesi çok düşük ve yavaştır. Yağların suda dağılması dökülen yağın özelliğine bağlı olmaktadır. Deniz veya göl gibi yüzeysel sulara ulaşan kullanılmış yağlar suda hızlı şekilde dağılmaktadır (Şekil 3.11). Suda bozulmadan uzun süre kalabilmektedir. Sudaki canlılarla teması halinde ölümlerine neden olmaktadır. 30–50 ppm. yağlı su, balıkları öldürmektedir.

Kullanılmış yağ sudaki mikroorganizmalar yanında, balıkların tüm gıda kaynaklarını da kirletmektedir. Toksin maddeler, planktonlarda ve diğer küçük organizmalarda birikerek besin zincirine katılmaktadırlar. Bir litre kullanılmış yağ, bir milyon litre içme suyunu veya 15 kişinin bir yıllık su ihtiyacını içilemez hale dönüştürmektedir. Sudaki tüm bitkileri öldürmektedir. Kullanılmış yağ çöpe dökülürse, çöp depolama alanında yeraltı suyunu ve yüzeysel suları kirletmektedir. Nehirlerdeki, göllerdeki ve denizlerdeki doğal hayatı tehdit etmektedir.



Şekil 3.11. Bazı Yağ Türlerinin Suda Dağılıma Hızı(Öztürk, M., 2005).

50–100 ppm kullanılmış yağ içeren atıksu, arıtma tesisini olumsuz etkilemekte ve arıtma maliyetini artırmaktadır. Kullanılmış yağ kanalizasyona dökülürse, kanalizasyon borularını ve fosseptik çukurlarını tahrip etmektedir. Yeraltı suları bir defa kullanılmış yağlarla kirlendikten sonra onu tekrar temizlemek çok pahalı ve zordur.

5,7 litre kullanılmış yağ, yüzeysel suya döküldüğünde su yüzeyinde 10.000 m² yağ tabakası oluşturmaktadır. Bir futbol sahasının iki katı büyüklüğündeki bir alanı kaplamaktadır. Su yüzeyinde ince film tabakası halinde biriken kullanılmış yağ, suda oksijenin çözünmesini önlemekte, fotosentez işlemini bozmakta ve güneş ışınlarının su içine nüfus etmesini engellemektedir.

Kullanılmış yağ suda zamanla çözünerek mikro organizmalar için besin maddesi olarak kullanıldığından dolayı suda, mikro organizma tekrar üremekte ve sayısı

artmaktadır. Bu olay suda ötrafikasyona neden olmaktadır. Suda ötrafikasyon arttığı zaman balıklar ve diğer canlılar için gerekli olan oksijen azalmaktadır.

Türkiye’de taşıt sayısı yaklaşık olarak 10 milyon adettir. Bu taşıtların ve sanayinin yılda kullandığı yağ miktarı takriben 505.000 tondur. Kullanılmış yağdan geri kazanılması gerekli yağ miktarı ise 300.000 ton dur. A.B.D.’de yılda 5,1 milyon ton otomobil ve endüstriyel kaynaklı kullanılmış yağ oluşmaktadır.

Kullanılmış yağ, suda bozulurken zehirli maddeler serbest hale geçer. Zehirli maddeler sudaki canlılar üzerinde kanserojen madde etkisi yapmakta ve çözünmüş oksijen miktarını azaltmaktadır. Fazla miktarda oksijen tüketiminden dolayı suda mikro organizma büyümesi ve çoğalması hızlanmaktadır. Şekil 3.12. kullanılmış yağların gelişi güzel sulara bırakılmasının görüntüleri görülmektedir.

Bazı eski elektrik aletleri (transformatör gibi) PCB içerir. PCB kolayca parçalanmakta ve besin zincirinde uzun süre birikebilmektedir. Kullanılmış yağ suda balıkların gıda kaynağı olarak kullandıkları organizmaları öldürmektedir. Kullanılmış yağ, solungaçlara girerek balıkların boğulmalarına ve hatta ölümlerine neden olmaktadır. Yağ, bataklık bitkilerini de öldürmektedir. 1 litre kullanılmış yağ 1000 ton suyun tadını bozmaktadır.

Göçmen kuşları ve martılar sulardaki yağ kirliliğinden çok etkilenmektedir. Göç esnasında göçmen kuşları sakin sular ararlar ve yağ kaplı sulara sakin sular olarak görünmektedir. Bu durum kuşların suya konmasına ve ölümlerine neden olmaktadır. Kuşlar gagaları ile tüyleri üzerindeki yağları giderirken, yüksek oranda zararlı maddeleri de almakta ve birkaç gün içinde de ölmektedirler.

Sulardan kıyıya vuran yağlar buralardaki canlıların ölümlerine neden olmaktadır. Sularda kullanılmış yağlardan dolayı ölen canlılar diğer canlılar tarafından yenildiğinde zehirlenmekte ve böylece su, canlıların besin zincirinde olumsuz değişimlere neden olmaktadır. A.B.D.’de yüzeysel sular %40 oranında kullanılmış yağlardan dolayı kirlenmektedir(Öztürk, M, 2005).



Şekil 3.12. Kullanılmış yağların gelişi güzel sulara bırakılması(Öztürk, M., 2005).

3.8.2. Kullanılmış Motor Yağlarının Toprağa Etkisi

Toprağa dökülen kullanılmış yağ, bitkileri tahrip etmekte, toprak ürünlerinin azalmasına neden olmaktadır. Kullanılmış yağlar yol yapımında toz tutucu olarak asla kullanılmamalıdır. Toprağa dökülen kullanılmış yağ, bitkiler tarafından absorbe edilmektedir. Topraktaki besin zincirinde birikmekte ve hatta insanların zehirlenmesine dahi neden olmaktadır.

Kullanılmış yağ yüksek miktarda kurşun, arsenik, kadmiyum, krom gibi ağır metaller içerebilmekte ve toprakta birikebilmektedir. Bitkiler, yüksek konsantrasyondaki ağır metalleri absorbe etmektedir. Bitkiler, kullanılmış yağla kirlenmiş toprakta asla büyümemektedirler. Kullanılmış yağ herhangi bir kişinin derisine döküldüğünde bu kirlilik dikkatlice ve iyice temizlenmelidir. Şekil 3.13. kullanılmış yağların toprakta oluşturduğu kirliliği göstermektedir(Öztürk, M., 2005).



Şekil 3.13. Kullanılmış Yağların Toprakta Oluşturduğu Kirlilik(Öztürk, M., 2005).

Kullanılmış bir yağın geri kazanım aşamaları Şekil 3.14.'de görülmektedir. Kullanılmış yağların rafine edilmesindeki en büyük problem, kullanılmış yağdaki kirletici maddelerin ve katkı maddelerin uzaklaştırılmasıdır. Bu malzemelerin uzaklaştırılmasında birçok prosesler vardır. Fakat bu metotlar için büyük sermaye ve yüksek çalışma maliyetleri gerektirmektedir. Bu nedenle kazançlı kullanılmış yağların rafine edilmesi çok fazla yaygın değildir.



Şekil 3.14. Kullanılmış yağın geri kazanım aşamaları
(<http://www.interlineresources.com/introduction.html>).

Şekil 3.14'de verilen kullanılmış yağın geri kazanım aşamaları;

1. Kullanılmış yağ
2. İlk faz yağı (astarlı proses vasıtasıyla kirleticilerin uzaklaştırıldıktan sonraki durumu)
3. Artık tortu
4. Hafif Nötr baz yağı (Son işlemi yapılmamış distilasyondan direk elde edilen)
5. Hafif Nötr baz yağı (Killi parlatmadan sonra)
6. Ağır Nötr baz yağı (Son işlemi yapılmamış distilasyondan direk elde edilen)
7. Asfalt (tortu)(<http://www.interlineresources.com/introduction.html>).

3.9. Taşıtlarda Yağlama ve Yağ Seçimi

İçten yanmalı motorlarda yakıttan sonra en çok değişen ikinci motor parçası yağdır. Yağlama sistemlerinin en önemli amacı motordaki kaygan yüzeylerdeki yağlama ve sürtünme kayıplarını en aza indirmektir. İkinci amacı özellikle piston ve motosikletlerdeki gibi silindir kafaları gibi termal olarak yüklenen motor parçalarını soğutmaktır(Mian, A., 1999, Durak, E., Karaosmanoğlu, F., 2002). İçten yanmalı

motorlarda mekanik kayıplar yaklaşık olarak silindirdeki indike işin %25 'ini kapsamakta olup, toplam enerjinin %10 'unu teşkil etmektedir. Dr. Lang'a göre sürtünme kayıpları toplam mekanik kayıpların % 72,5 'ini içermekte olup, geri kalan kısımlar yağ ve su pompaları, soğutma fanı, jeneratör, kompresör ve hidrolik pompalar vs. gibi yardımcı organlar tarafından harcanmaktadır. Sürtünme kayıpları biyel yatakları (%10), ana yataklar (krank) (%12,5), piston (%25), segmanlar (%19), supap mekanizması (%6) olmak üzere toplam %72,5 'dir. Bu değerler ortalama değerler olup, silindir sayıları farklı olan çeşitli hız ve yüklerde çalışan motorlardan elde edilmiştir. Dolayısı ile motor işletim şartlarına ve motor tipine göre değişebilmektedir. Ancak motorlarda meydana gelen sürtünme kayıpları için önemli bir skala oluşturmaktadır. Birbirlerine göre bağlı hareket eden iki yüzey arasında, viskozitenin dışında, aşınma ve sürtünmeyi tanımlayan şartlar yüzey özellikleri olduğu kadar yağlayıcı özelliklerini de içermektedir. Aşınma mekanizmalarının en fazla meydana geldiği sınır yağlama şartları altında sürtünen malzemelerin seçimi, onların fiziksel ve mekaniksel (sertlik, elastiklik, kayma gerilmesi, vs.) özellikleri, metal-sıvı yapışma enerjisi gibi unsurlar önemli rol oynamaktadır(Kaleli, H. 1995, Durak, E., Karaosmanoğlu, F., 2002).

Motor sistemlerinde yapılacak gelişmelere katkıda bulunacak teknolojilerin en önemlilerinden biri olan motor yağ teknolojileri ile elde edilecek iyileşme ve değişiklikleri de şöyle sıralamak mümkündür:

- Yakıt verimliliği,
- Emisyon uygunluğu,
- Ömrü arttırma,
- Yüksek sıcaklıklarda daha iyi kabiliyet,
- Aşınma önleme koruması,
- Düşük sıcaklık / kısa mesafe kabiliyeti,
- Artık kontrolü,
- Tuz kontrolü (Korcek, S., vd., 2000, Durak, E., Karaosmanoğlu, F.,2002).

Genellikle bir taşıt yağı ile verimli yakıt performansını geliştirmenin iki yolu vardır. Birincisi; düşük sıcaklık ve yüksek hız çalışma koşullarında yağın sıvı sürtünmesini azaltmak için düşük viskozite dereceli yağlar kullanmaktır. İkincisi ise yüksek sıcaklık düşük hız çalışma koşullarında metal-metal temas sürtünmeyi azaltmak için sürtünme iyileştirici katkı maddeleri kullanmaktır. Bu, özellikle düşük viskozite dereceli yağlar kullanıldığı zaman daha etkilidir. Sürtünme iyileştirici katkı maddelerin başında, yağda çözülebilen Molibden bileşikler gelmektedir. Ayrıca, Molibden bileşikler ile birlikte kullanılan ve sinerjistik bir etkiye sahip ZnDTP, Sülfür vb. gibi diğer katkıları da sürtünmeyi azaltmakta, aşınmayı kontrol etmektedir(Kubo, K., vd., 1999, Durak, E., Karaosmanoğlu, F.,2002.).

Gelişen teknolojilerle günümüzde yağ tüketimi azalırken yağ değişim aralığı ve alınan litre başına güç miktarı artmaktadır. Daha yüksek motor çıkış gücü, artan hız ve gürültüyü azaltmak için geliştirilen motor izolasyonundan dolayı yağlayıcının çalışma sıcaklığı artmaktadır. Ayrıca, yakıt tüketimini azaltmak için aerodinamik geliştirme ihtiyacı neticesinde taşıtın ön kısmının azaltılması için yağ toplama tanklarının kapasitesi küçültülmektedir. Bütün bu değişiklikler sonucu olarak, daha az yağ, daha yüksek sıcaklıklarda yağın çalışması, daha uzun periyot aralığı modern taşıtlardan beklenmektedir(Durak, E., Karaosmanoğlu, F., 2002.).

3.9.1. Taşıtlarda Yağlama ve Çevre İlişkisi

Çevre koruması ile uyumlu yapılacak motor tasarımında yeni taşıt yağı karakteristikleri gerekmektedir. Bu karakteristikleri şöyle sıralamak mümkündür:

- Çevre koruma düzenlemelerine uyarken motor verimini de arttırmalı,
- Çevre atmosferine zarar vermeyecek motor fonksiyonlarını sağlamalı,
- Çevre için uygun tipte yağlar olmalıdır.

Motor yağları birkaç yolla çevreye girmektedir. Avrupa'da yılda 2,6 ton satılan taşıt yağının %74'ü yağ değişimlerinde kullanılmış yağ olarak boşaltılmaktadır. Bu kullanılmış yağların büyük bir kısmı tekrar rafine edilmekte ya da fırınlarda ısıyı iyileştirmek veya fuel-oile karıştırılarak yakılmaktadır. Yaklaşık %0,5 oranında kullanım sırasında sızdırmazlık elemanlarından geçerek kaçmaktadır. Yağlayıcıların gerekli olan esas performanslarından biri de sızdırmazlık elemanlarını bozmayarak (tahrip etmeyerek) bu tip yağ kaçaklarına neden olmamaktır. Bu gereksinim tasarımcıyı, artıksız dispersantlar gibi katkı maddelerinin kullanımını ve sızdırmazlık elemanının malzemesini yağdan etkilenmeyen malzemelerden seçmeye zorlamaktadır. Yaklaşık motor yağlarının %25'i yanma prosesinde tüketilmektedir. Böylece gaz ve partikül emisyonlarında yağların da payı olmaktadır. Motor yağları oldukça küçük payı olmasına (yakıttan yaklaşık 400 kat daha az) rağmen yağlayıcı kökenli egzoz emisyonlarının çevreye etkilerini minimuma indirmek için büyük çabalar gösterilmektedir. Örneğin motor yağlarında kullanılan katkı maddelerindeki klor (Cl), çinkodialkylditifosfat (ZnDTP) ve çinkodialkarylfosfat (ZnDDPs) seviyelerini minimum yapmak için günümüzde özel kimyasal kompozisyon şartnameleri olup; krom (Cr), nikel (Ni) ve kalay (Sn) gibi ağır metalleri içeren katkı maddelerinin kullanımı hakkındaki kaygılar belirtilmektedir. Düşük uçucu baz yağların kullanımı da ayrıca yağlayıcı kökenli emisyonların azaltılmasında önemli rol oynamaktadır(Durak, E., Karaosmanoğlu, F., 2002).

Emisyon zorunlulukları daha çok yağlayıcılarda aşınma önleyici performansında kullanılan çinko, fosfor içerikli katkı maddeleri limitlerini kontrol etmektedir. HC, CO ve NO_x emisyon seviyelerini karşılamak için, egzoz katalistleri hava-yakıt karışımını daima optimize etmek için oksijen sensörleri ile kombinasyonları kullanılmaktadır. Hem sensörler hem de katalizörler fosfor bileşikleri tarafından olumsuz yönde etkilenmektedir. Maalesef valf, kam, itici, supap mekanizmalarındaki aşınmayı önlemek için kullanılan etkili aşınma önleyici katkı maddesi çinko fosfatlardır. Emisyon düzenlemelerine ilave olarak da, kullanılmış motor yağlarının atılmasında, çevre ile ilgili problemleri en aza indirgeyebilmek için dünyanın her yerinde çalışmalar hızlanmıştır. Bu yerler geri dönüşümlü yağları içeren yağ pazarlarına baskı yapmaktadır. Hem kaliteli ürünleri üretmek için tekrar rafine etmeyi hem de yağ geliştiricileri yeni tip baz yağa zorlamaktadır. Yağlayıcı

performans gereksinimini etkileyen kritik faktörler çevre ile ilgilidir. İlk örnekte yağ ve katkı maddeleri hem ürün hem de partikül halinde minimum toksitlik ve çevreye minimum darbeye sahip olmalıdır(Bates, T.W. 1995, Durak, E., Karaosmanoğlu, F., 2002).

API tarafından yapılan bir araştırmaya göre kullanılmış motor yağları üç yöntemle tekrar kazanılabilmektedir. %11'i ev haricinde mekânlarda ısıtıcı radyatörlerinde kullanılmakta, %75'i ise farklı alanlarda tekrar işlem görerek kullanılmakta ve %14'ü de tekrar rafine edilerek taşıt yağı olarak kullanılabilmektedir. Söz konusu alanlar ise asfaltlama tesislerinde(%43), fabrikalardaki endüstriyel boillerinde (%14), ev, okul vb. gibi mekanlar için elektrik üretim tesislerindeki boillerlerde kullanımı (%12), demir-çelik dökümhanelerinde (%12), çimento-kireç değirmenlerinde, deniz boillerinde(%5), gıda ve kağıt tesislerindeki değirmenlerde(%4), ticari boillerlerde (okul, ofis vb. gibi mekânlar için ısı üretimi) (%1'den fazla) ve diğer uygulama alanları (% 5) şeklindedir. 7.5 litrelik kullanılmış bir motor yağı yaklaşık bir günlük ortalama tüketimini karşılayabilecek kadar elektrik veya

- Bir mikrodalga fırında 48 adet yemek pişirme,
- 216 kez saç kurutma işlemi,
- 15 ay ev temizleme (elektrik süpürgesi ile)(Durak, E., Karaosmanoğlu, F., 2002., http://www.Recycleoil.org/benefits_of_recycling.html).

4. METOT

Bu çalışmada geri dönüşümlü kazanılmış baz yağın, sürtünme katsayısı ve aşınma gibi tribolojik özelliklerinin incelemesi için iki deney setinde deneysel çalışma yapılmıştır. Bu nedenle deneysel çalışmadaki yapılan testler, sabit yüklü radyal kaymalı yatak deney düzeneğinde ve Pim – Disk deney düzeneğinde yapılan çalışmalar olarak iki ana başlıkta toplanmıştır. Geri dönüşümlü baz yağ, Almanya'dan ticari olarak faaliyet gösteren yağ geri dönüşüm endüstri kuruluşundan ücretsiz olarak temin edilmiştir. Geri dönüşümlü bu baz yağın bazı fiziksel özellikleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir (Mineralöl - Raffinerie Dolbergen GmbH, KS 100). Test yağının testlerden sonra dinamik viskozite ölçümü, SDÜ Makine Mühendisliği laboratuvarında mevcut olan bilyalı viskozite ölçerle farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir.

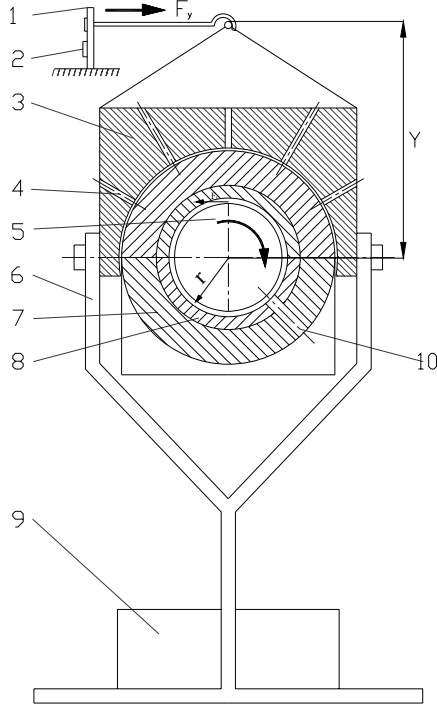
Çizelge 4.1. Geri dönüşümlü test baz yağının özellikleri (Mineralöl - Raffinerie Dolbergen GmbH, KS 100)

Yoğunluğu (15°C, kg/m ³)	852 - 856
Kinematik Viskozitesi 40 °C (mm ² /s) (DIN 51 562-1)	22 - 26
Kinematik Viskozitesi 100 °C (mm ² /s) (DIN 51 562-1)	4.4 – 4.9
Viskozite indeksi (DIN ISO 2909)	110-115
Nötralizasyon (mg KOH/g) (DIN 51 558-1)	≤0.03
Alevlenme noktası (°C) (DIN ISO 2592)	> 230
Akma Noktası (°C) (DIN ISO 3016)	≤ -9
Dinamik viskozitesi mPa s (25 °C)	50
Dinamik viskozitesi mPa s (50 °C)	18
Dinamik viskozitesi mPa s (100 °C)	6

4.1. Sabit Yüklü Radyal Kaymalı Yatakta Sürtünme Katsayısı Ölçümleri

Yurt dışından temin edilen geri dönüşümlü baz yağın farklı mil hızlarında, farklı yük büyüklüklerinde ve farklı sıcaklık gibi çalışma şartlarında sürtünme katsayısının

ölçümü Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm laboratuvarında daha önce tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen sabit yüklü radyal kaymalı yatak deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir(Durak, E., vd, 2005, Durak, 1999). Kullanılan deney düzeneğinin şematik resmi ve fotoğrafları Şekil 4.1.-4.3.'de verilmiştir. Deneyler farklı hızlarda ve farklı yük büyüklüklerinde gerçekleştirilmiştir.

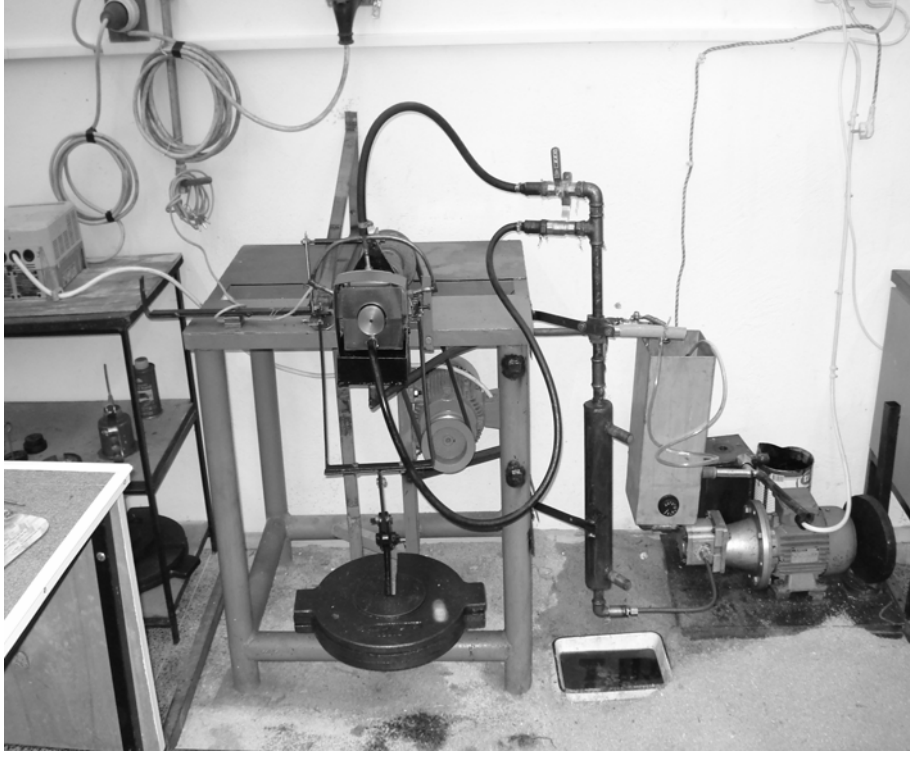


- 1-Sürtünme Momenti Ölçüm Levhası, 2- Strain-Gauge, 3- Yük Yastığı,
4- Basınçlı Yağ Deliği, 5- Mil, 6- Yük Askısı, 7- Yatak Yuvası, 8- Kaymalı Yatak,
9- Askı Ağırlığı, 10- Yatak Yağ Deliği

Şekil 4.1. Deney Düzeneğinin şematik resmi(Durak, E., vd, 2005, Durak, E., 1999).

Söz konusu deney düzeneği basınçlı yağlama sistemi, hız kontrol ünitesi, moment ölçme devresi, kaymalı yatak yuvası, yatak mili, hidrostatik yastık, AC motoru ve yük askısı gibi elemanlardan oluşmaktadır. Deney milleri, SAE 1030 çeliğinden imal edilmiştir. 55 HRC sertlik değerine sahiptir. Mil çapı 50.730 mm, rölatif yatak boşluğu $1.00 \cdot 10^{-3}$ tür. Taşlanmış olan mil 2 μm , yatak ise 3 μm ortalama yüzey

pürüzlüğüne sahiptir. Deney mili iki adet yuvarlanmalı yatakla desteklenmiştir. Yatak malzemesi ticari olarak satılmakta olan beyaz yatak malzemesidir.



Şekil 4.2. Deney düzeneğinin fotoğrafı

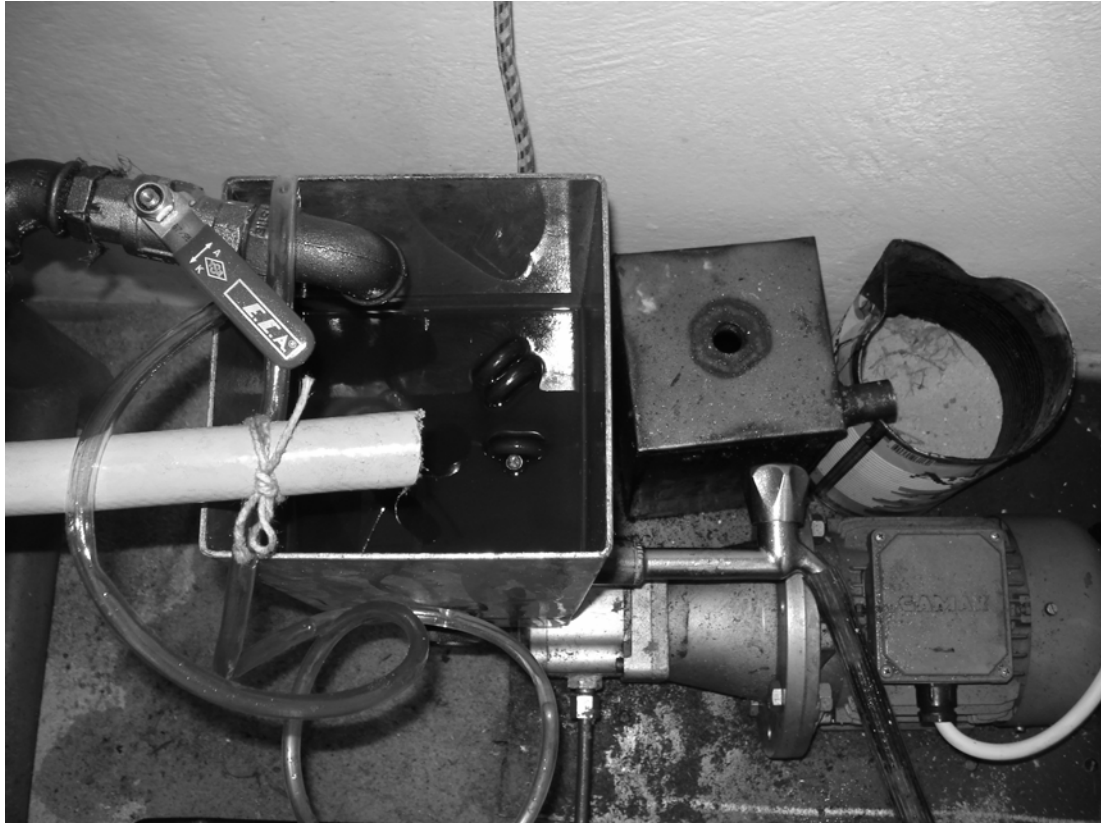


Şekil 4.3. Deney seti ölçüm ve verilerin depolandığı bilgisayar

Test milinin devir sayısı, alternatif akım hız kontrol ünitesi vasıtası ile 30–1200 d/d aralığında ayarlanabilmektedir. Bu düzenekteki test yatağının yağlama işlemi, yatak zarfının alt kısmındaki delikten düşük basınçla (0.1 bar) gönderilen yağ vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Kaymalı yatak ve yükün asıldığı hidrostatik yastıktan sızan yağ, toplama tablası vasıtasıyla sisteme verilerek yağın sürekli sirkülasyonu sağlanmaktadır(Durak,E.,vd, 2005).

4.2. Sabit Yüklü Radyal Kaymalı Yataklardaki Sürtünme DeneYlerinin Yapılışı

Sabit yüklü radyal kaymalı yataklardaki deneyler oda koşulları 25°C’de ve yüksek sıcaklık olarak da 100°C’de olmak üzere iki farklı sıcaklıkta yapılmıştır. Yağı ısıtmak amacıyla özel bir ısıtıcı hazne hazırlanmış ve ısıtma işlemi otomatik olarak yapılmıştır. Deney setinin ısıtıcı ünitesinin fotoğrafı Şekil 4.4.’de görölmektedir.



Şekil 4.4. Yağ deposu ve Isıtıcı ünitesi

Deneyleerde uygulanan yük byklg olarak 200 N, 300 N ve 400 N yükler seçilmiştir. Testlerde mil hızları ise 150 d/d, 450 d/d, 900 d/d ve 1200 d/d olarak dört hız byklg seçilmiştir. Sabit yüklü radyal kaymalı yatakta deneyleer için test süresi olarak 5 dakika seçilmiştir.

Yağın sıcaklığı yatağı terk ettiği bölgede deney süresince bir termometre ile llmştir. Yağ deposuna yerleştirilen bir soğutma aparatı ile oda sıcaklığındaki deneyleer 25 °C'de gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığındaki deneyleer süresince sıcaklık farkını minimuma indirmek amacıyla soğutucu aparat sürekli devrede tutularak yağdaki sıcaklık değişimi en aza indirilmeye çalışılmıştır. Dolayısıyla yapılan deneyleerde yağ sıcaklığındaki değişimler minimum seviyede tutulmuş ve sıcaklık değişimi $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 'de gerçekleşmiştir. Test sırasında sürtünme momentinin yatak yuvasını serbestçe hareket ettirmesini sağlamak ve böylece sürtünme katsayısının ölçümüne etkisini minimuma indirmek için test yatağına sıcaklık ölçer yerleştirilememiştir. Bu nedenle deneyleerde sadece yağın yataktan çıkış sıcaklığı termometre ile llebilmştir. Yağdaki sıcaklık artışını kontrol edebilmek için yağ deposu oldukça büyük seçilmiştir. Ayrıca test yatağının bulunduğu bölgede hava ile soğutma ile de sıcaklık artışı kontrol altına alınmaya çalışılmıştır.

Sürtünme momenti, uzama lerden kurulan Wheatstone köprüsü devresinden yararlanılarak llmştir. Bunun için 10x120x2 mm boyutlarındaki yay çeliğinden imal edilen ölçüm levhasının alt ve üst yüzeylerinde iki adet strain gauge yapıştırılmıştır. Tam Wheatstone köprü oluşturmak için iki adet strain gauge de pasif olarak devreye bağlanmıştır. Test yatağına gönderilen yağın besleme basıncı 0,1 bar'a ayarlanmıştır. Yatak yuvasının serbestçe dönmesini sağlamak ve sürtünme kuvvetini mümkün olduğunca doğru ölçmek için yatak yuvası ile yk yastığını birbirinden ayırmak gerekir. Bunu sağlamak içinde bu iki parça arasında hidrostatik bir yağ filmi oluşturulmalıdır. Buradaki hidrostatik yağ basıncı ise 8 bar'a ayarlanmıştır. Oluşan sürtünme momentine ait sinyaller kaydedilerek, daha önceden elde edilen kalibrasyon doğrusu yardımı ile alınan bu sinyal değerleri sürtünme momentine çevrilmiştir. Deneyleere başlarken mili tahrik etmeden önce test yatağına ve yükü taşıyan yk yastığına yağ gönderilmektedir. Böylece yatak yuvası ile yk

yastığı arasındaki metalik temas kesilmiş olmaktadır. Ayrıca mil ile yatak yüzeyi arasında da bir yağ filmi oluşturulmaktadır. Böylece tahrik başlangıcındaki ve bitimindeki büyük aşınmalar önlenmektedir. Ayrıca deney setine monte edilen elektrik devresi ile test süresince test yatağı ile mil arasında ve yatak yuvası ile yük yastığı arasında herhangi bir metalik temasın olup olmadığı kontrol edilmiştir. Yatakta oluşan ortalama basıncın sürtünme katsayısına etkisini belirlemek için yatak boşluğu sabit tutularak 200N, 300N, 400N, (yatak gövdesinin ağırlığı dâhil olmak üzere) üç yük büyüklüğünde sürtünme deneyleri yapılmıştır.

Şekil 4.1.'den yola çıkarak yatak yuvasını (7) döndürmeye zorlayan kuvvet (F_y) ve sürtünme momenti ölçüm levhasının (1) yatak merkezine olan mesafesi Y , sürtünme F_s ve mil yarıçapı r ise;

$$F_y \cdot Y = F_s \cdot r$$

yazmak mümkündür. Sürtünme katsayısı, sürtünme kuvvetinin normal kuvvete yani yatak yüküne oranı olduğundan;

$$\mu = \frac{F_s}{F}$$

şeklinde edilebilmektedir(Durak,E.,vd, 2005). Hazırlanan bilgisayar programı ile sürtünme katsayısı hesaplanıp sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı olarak depolanabilmektedir.

4.3. Pim – Disk Deney Setinde Yapılan Deneysel Çalışmalar

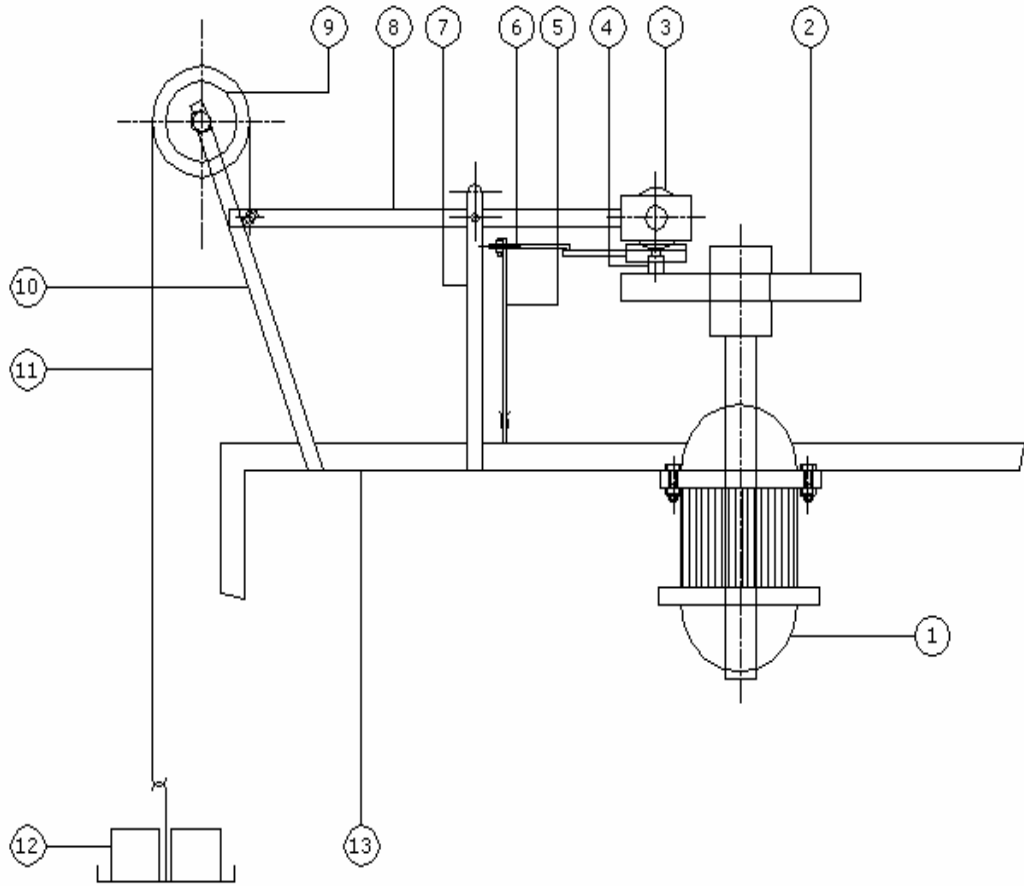
Makinalarda ortaya çıkan arızaların ve konstrüksiyon elemanlarının kullanım dışı kalmalarının en önemli sebeplerinden birisi, hatta en önemlisi aşınmadır. Sürtünme nasıl bir enerji kaybı nedeni ise aşınma da tekrar geriye kazanılmayan bir madde kaybı sebebidir. Malzeme yüzeyinden tribolojik etkenlerle küçük parçacıklar ayrılması sonucunda oluşan ve istenmeyen şekil değişiklikleri (malzeme kaybı)

olarak tanımlanan aşınma ile temas halindeki yüzeyler arasında Adhezyon ve deformasyon bileşenlerinden oluşan ve bağıl harekete karşı engel anlamına gelen sürtünme direnci arasında doğrudan bir ilişki kurulması mümkün olmamıştır. Sürtünme katsayıları aynı olan malzeme çiftlerinin, aşınma oranları arasında çok büyük farklılıklar olabilmektedir.

Makine sistemlerinin hareketli elemanlarının sürtünme ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili deneyler, işletme şartları veya model deney düzenekleri kullanılarak yapılmaktadır. Aşınma test sisteminin seçim ve tasarımında etkili olan parametreler, bağıl hareket, yük, yükleme şekli, yükleme aralığı, hız aralığı, numune şekil ve boyutları (temas alanı), numune özellikleri, ortam şartları, sürtünme ve aşınma ölçme yöntemidir. Kayma sürtünme ve aşınma direncinin ölçümünde genellikle pim-disk (Pin on Disc) ve blok halka teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknikler oldukça basit, universal ve ekonomik olduklarından, kesici takımların, birçok hareketli makine elemanlarının, fren balatalarının ve farklı yağlayıcıların tribolojik özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır(Soydan, Y., Ulukan, L., 1998).

Geri dönüşümlü taşıt baz yağının sınır yağlama ve karışık yağlama rejimlerinde farklı yük ve hızlarda sürtünme katsayısı ve aşınma gibi tribolojik özelliklerini inceleyebilmek için Süleyman Demirel Üniversitesi'nde kendi imkanlarımızla tasarımı ve imalatını gerçekleştirdiğimiz Pim Disk ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Pim Disk test cihazının şematik resmi ve fotoğrafları Şekil 4.5–4.7.'de görülmektedir.

Deneyler iki farklı yağlama rejiminde 600 d/d, 900 d/d ve 1200 d/d hızlarda ve 50 N, 75 N ve 100 N yüklerde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kat etme mesafesi olarak ise 6 km bir deney mesafesi seçilmiştir. Aynı mesafedeki aşınma miktarlarını belirleyebilmek için test süreleri olarak 36 dakika, 24 dakika ve 18 dakika olmak üzere test süreleri hesaplanmıştır.



- 1.A.C. Elektrik Motoru, 2. Disk, 3.Rulman, 4. Pim (Aşınma numunesi),
5.Ölçü Aleti, 6. Çengel, 7.Yükleme kolu tutacağı, 8. Yükleme kolu, 9.Makara, 10.Destek kolu,
11. Tel halat, 12.Ağırlık (Yük), 13.Tezgah Gövdesi

Şekil 4.5. Pim Disk Aşınma deney düzeneğinin şematik görünümü

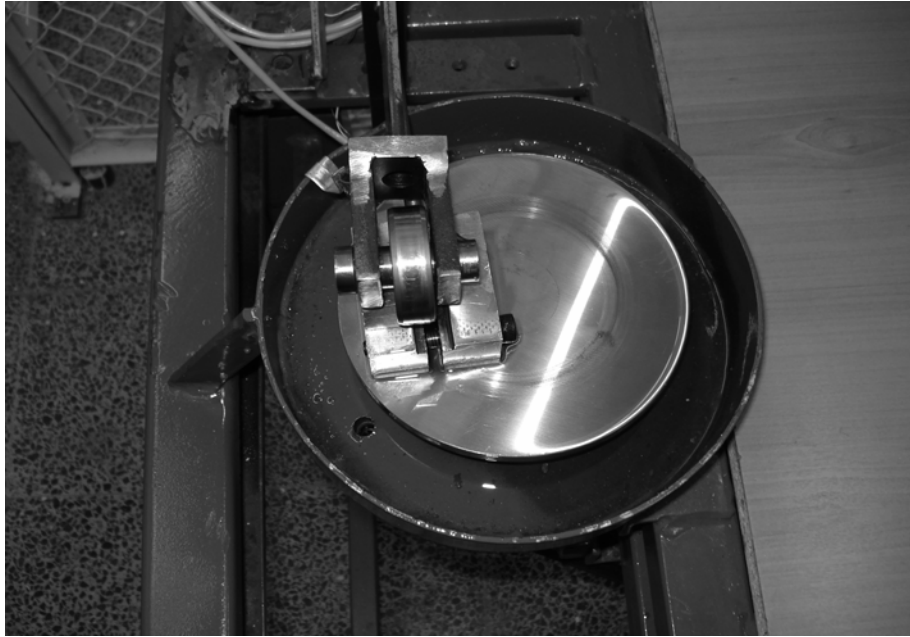
Pim malzemesi olarak taşıtlarda motor bloklarında yaygın olarak kullanılan gri dökme demir malzemeden 10 mm çapında 20 mm yüksekliğinde talaşlı imalatla numuneler hazırlanmıştır. Pim test numunelerinin yüzeyleri parlatma cihazında 400, 800 ve 1200 nolu abrazif aşındırıcı zımparalar ile parlatılmış ve yüzey pürüzlükleri ölçülmüştür. Ayrıca aşınma miktarlarının tayini ağırlık kaybı metodu ile yapıldığından numunelerin hegzan sıvısı ile temizlendikten sonra kütleleri hassas terazi ile ölçülmüştür.

Deneylerde kullanılan test pimlerinden örnek olarak Şekil 4.8.'de fotoğrafı verilmiştir. Deney süresi boyunca elde edilen sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı

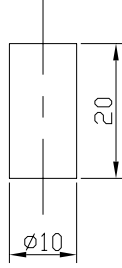
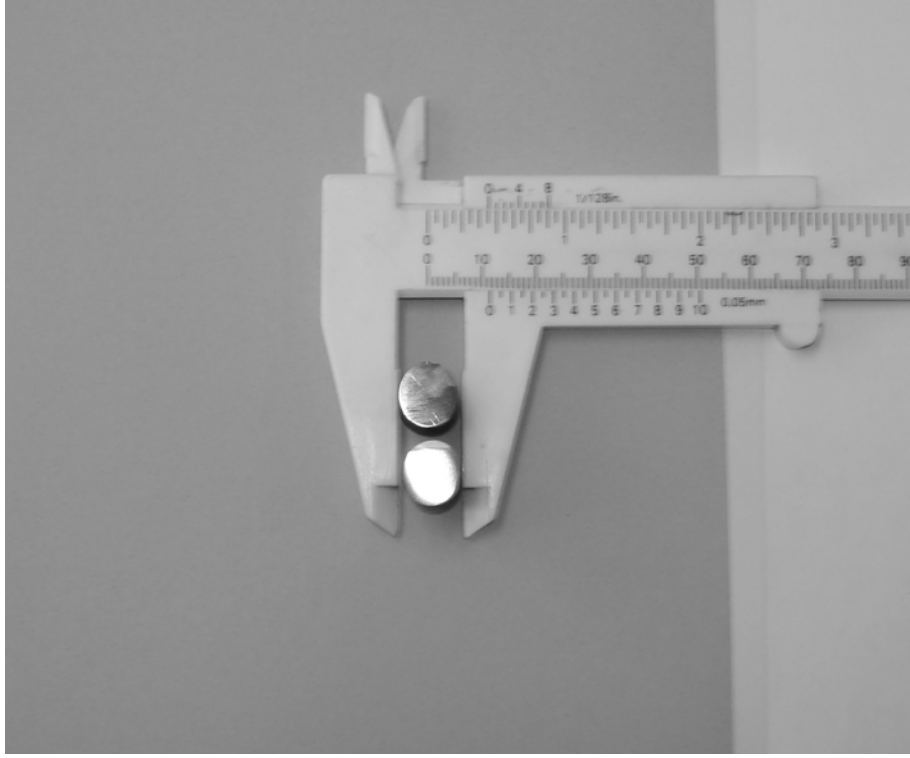
bilgisayara istenen zaman aralıkları ile depolanmaktadır. Disk malzemesi olarak Fe 42 çeliğinden imal edilerek talaşlı imalat ile işlendikten sonra yüzeyi kendi imkanlarımızla sertleştirilmiştir. Daha sonra disk yüzeyi taşlanmıştır. Ortalama yüzey pürüzlük değeri $0.35 - 0.65 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.6. Pim Disk Aşınma deney düzeneğinin fotoğrafı



Şekil 4.7. Pim Disk Aşınma deney düzeneğinin detay fotoğrafı



Şekil 4.8. Deneşlerde kullanılan pim örneğinin fotoğrafı ve ölçüleri

Pim Disk deney cihazında deney numunelerine ait deney öncesi ve deney sonrası yüzey pürüzlülükleri, ağırlıkları gibi bilgiler Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Aşınma miktarları ağırlık kaybı metodu ile yapıldığından pimler deney sonrasında hegzan ile yıkanıp sıcak hava ile kurutulduktan sonra kütleleri hassas terazi (0.0001g hassasiyetli) ile ölçülmüştür. Daha sonra yüzeyleri Hommel Werkel portatif yüzey pürüzlülük ölçü aleti ile ortalama yüzey pürüzlülükleri (Ra) ölçülmüştür. Ayrıca pimlerin yüzeyinde meydana gelen aşınma tipi ve yüzeyde meydana gelen değişimleri görebilmek için aşınma yüzeyleri mikroskopla incelenmiş ve yüzey filmleri çekilmiştir. Pim disk cihazında sınır yağlama rejiminde, deney başlangıcında

ve deney sırasında damla halinde yağ, çalışma bölgesine gönderilirken; karışık yağlama rejiminde ise çok düşük debili yağ aralıklı olarak gönderilmiştir.

Çizelge 4.2. Deney Numunelerinin Bazı Özellikleri

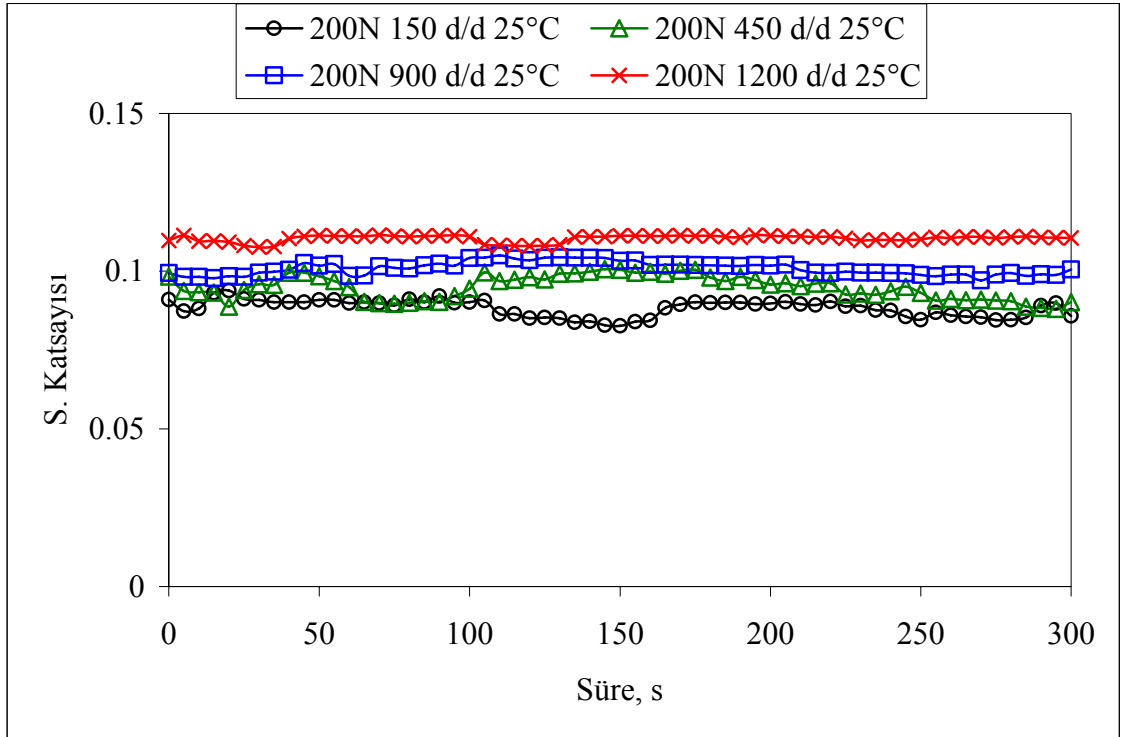
Numune no	Deney Öncesi Ra (μm)	Deney Sonrası Ra (μm)	Deney öncesi pimin kütlesi (g)
1	0.04	0.045	11.01
2	0.055	0.1	10.22
3	0.06	0.09	10.75
4	0.065	0.22	11.28
5	0.07	0.23	11.65
6	0.045	0.095	10.5
7	0.06	0.13	11.05
8	0.05	0.08	11.05
9	0.045	0.72	11.38
10	0.095	0.85	11.48
11	0.115	0.17	11.57
12	0.06	0.78	10.23
13	0.065	0.13	11.12
14	0.045	0.04	11.02
15	0.055	0.09	10.79
16	0.045	0.08	10.21
17	0.065	0.08	11.28
18	0.05	0.7	11.14

Çizelge 4.2.'de 1–9 numaralı numuneler sınır yağlama rejimindeki testlerde kullanılmıştır. 10–18 numaralı numuneler ise karışık yağlama rejimindeki testlerde kullanılmıştır.

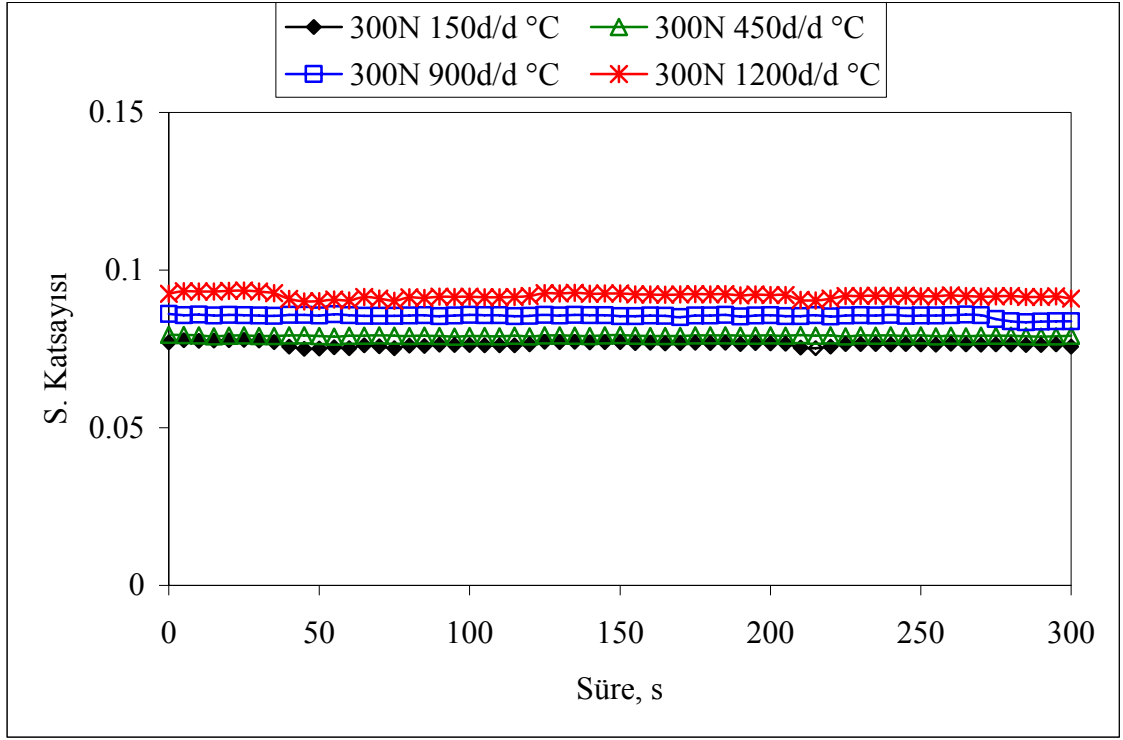
5. BULGULAR

5.1. Sabit Yüklü Radyal Kaymalı Yataklarda Elde Edilen Deneysel Bulgular

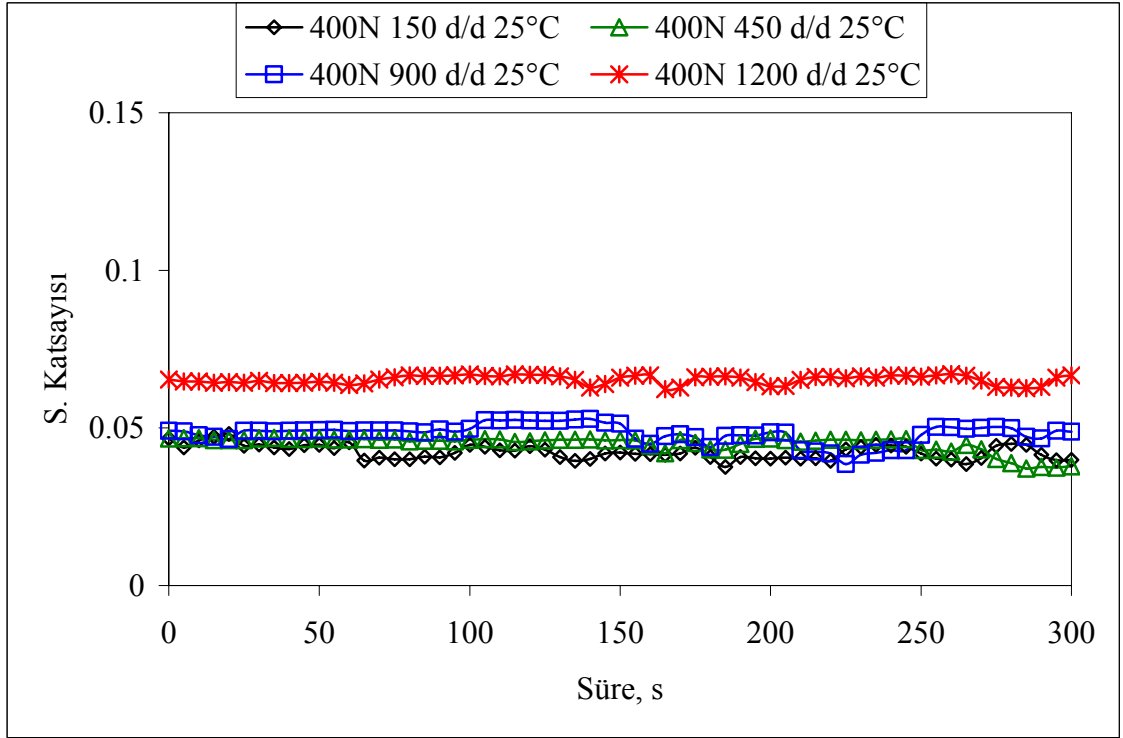
Sabit yüklü radyal kaymalı yatak deney setinde farklı hız ve yüklerde elde edilen sürtünme katsayısı ölçümleri test sürelerine bağlı olarak grafik halinde oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıkta ayrı ayrı olarak Şekil.5.1.-5.8.'de verilmiştir. Ayrıca test süresince sürtünme katsayısının aritmetik ortalaması da alınarak sonuçlar 25°C için Şekil 5.4 'de ve 100 °C için Şekil 5.8.'de verilmiştir.



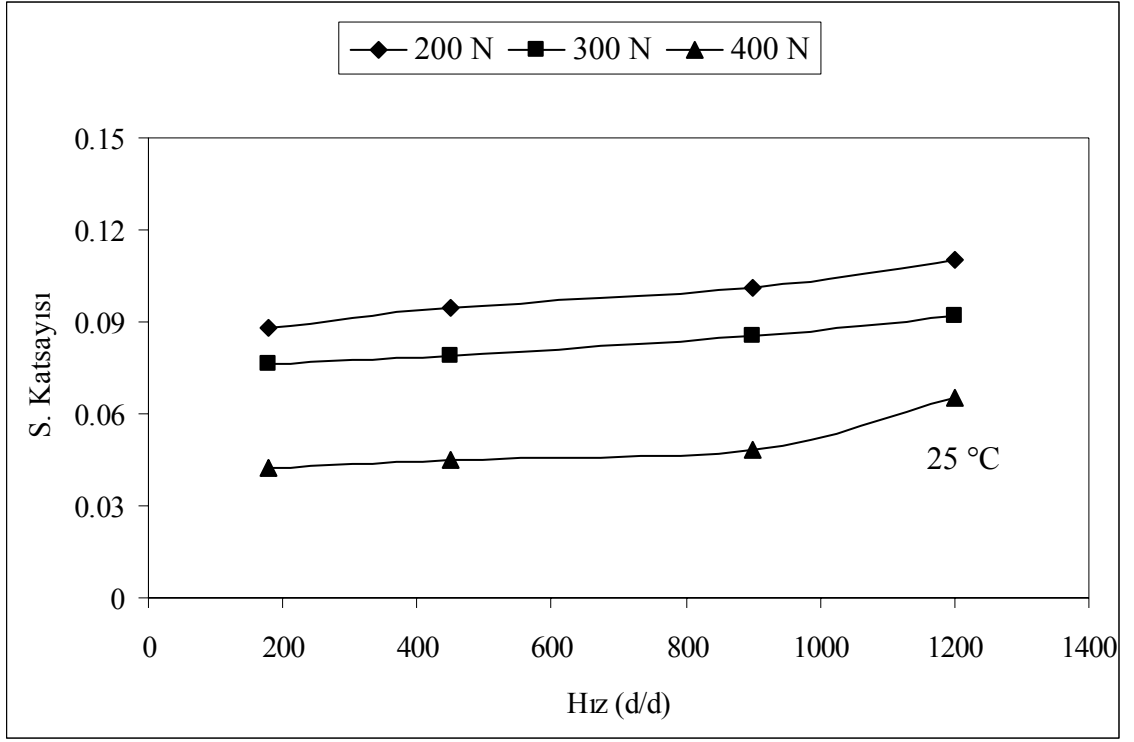
Şekil 5.1. Oda sıcaklığında 200 N yükte ve 150–450–900–1200 d/d hızda yatakta oluşan sürtünme katsayısının zamanla değişimi



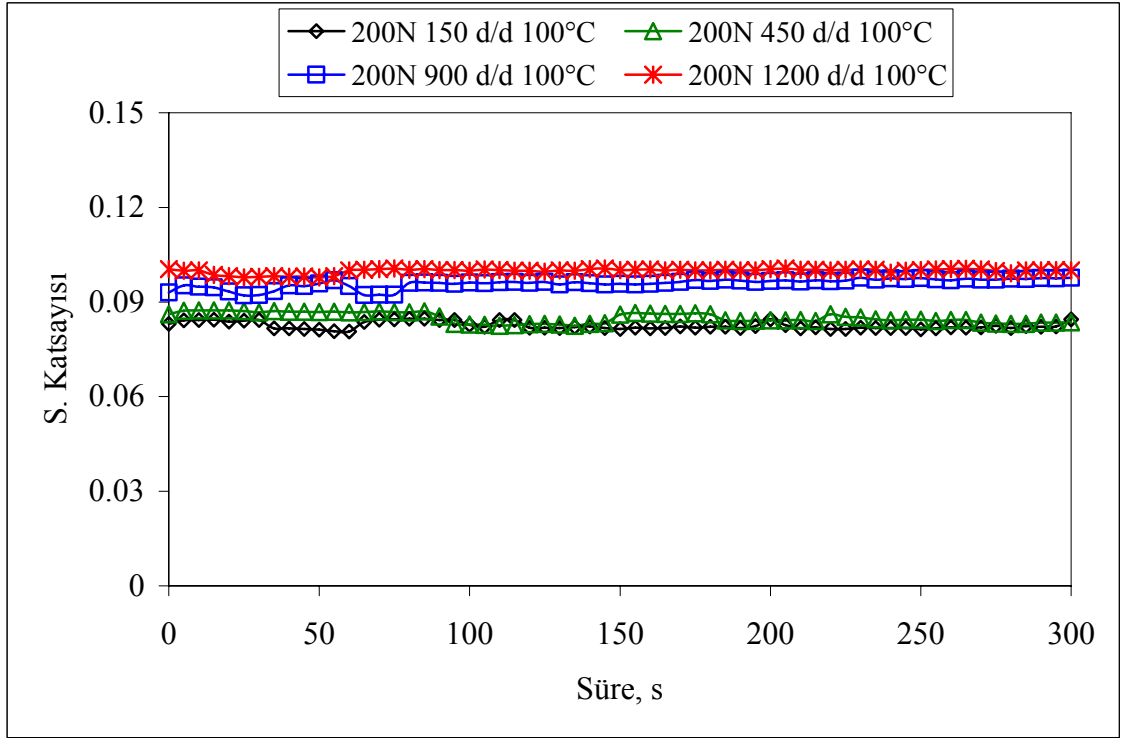
Şekil 5.2. Oda sıcaklığında 300 N yükte ve 150-450-900-1200 d/d hızda yatakta oluşan sürtünme katsayısının zamanla değişimi



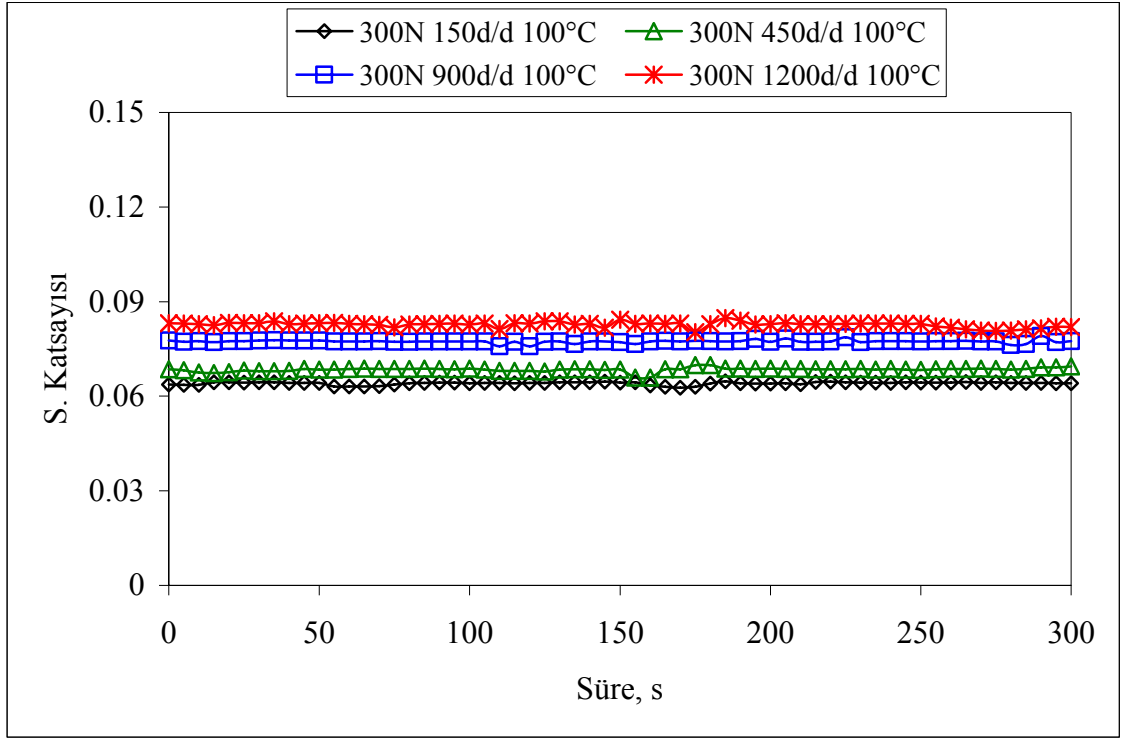
Şekil 5.3. Oda sıcaklığında 400 N yükte ve 150-450-900-1200 d/d hızda yatakta oluşan sürtünme katsayısının zamanla değişimi



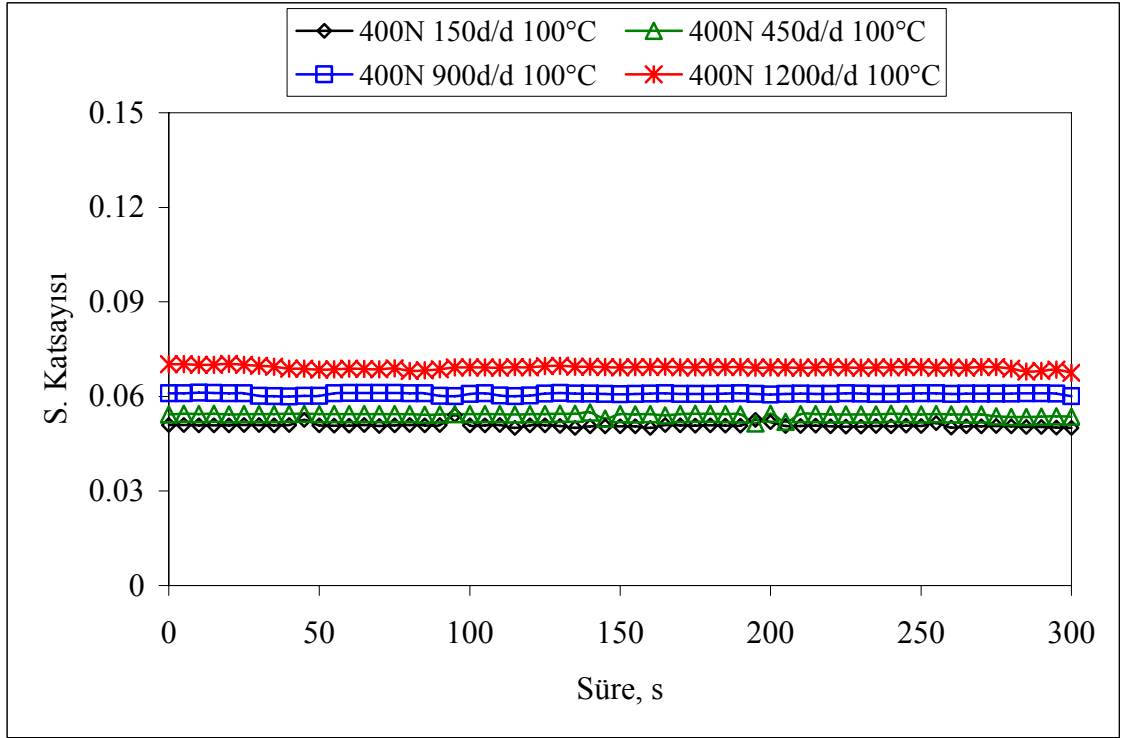
Şekil 5.4. Oda sıcaklığında 200 -300-400 N yükte ve 150-450-900-1200 d/d hızda yatakta oluşan sürtünme katsayısının zamanla değişimi



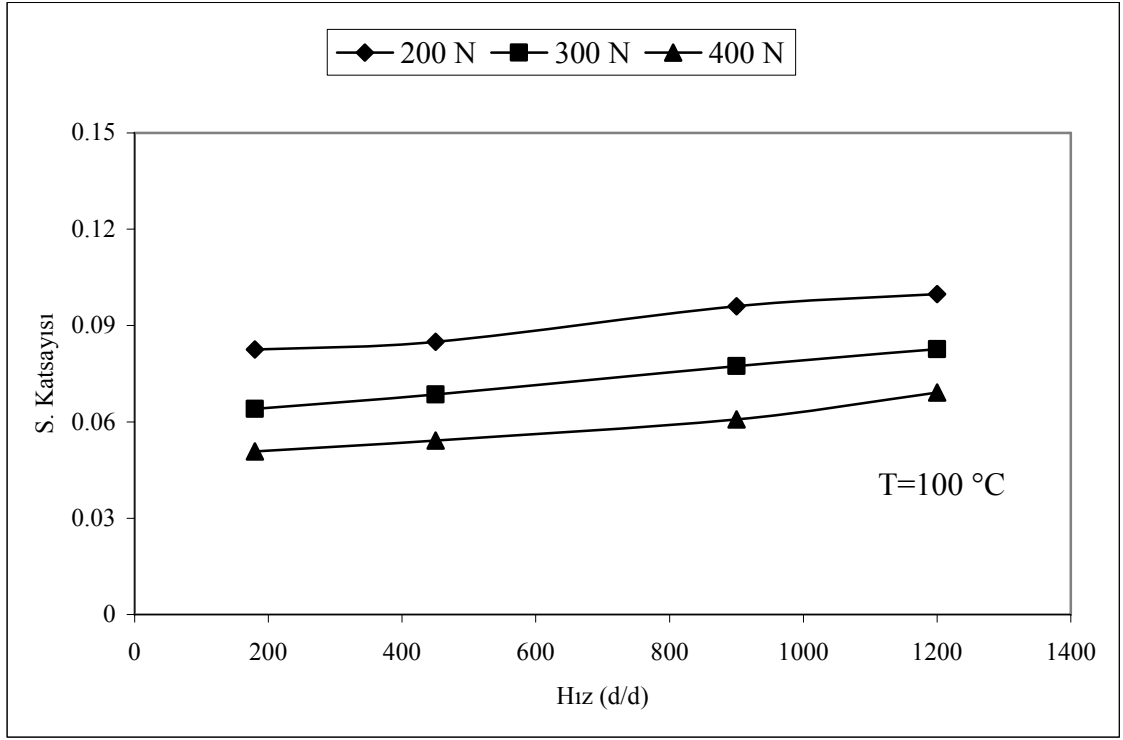
Şekil 5.5. 100 ° C Sıcaklığında 200 N yükte ve 150-450-900-1200 d/d hızda yatakta oluşan sürtünme katsayısının zamanla değişimi



Şekil 5.6. 100 ° C Sıcaklığında 300 N yükte ve 150-450-900-1200 d/d hızda yatakta oluşan sürtünme katsayısının zamanla değişimi



Şekil 5.7. 100 ° C Sıcaklığında 400 N yükte ve 150-450-900-1200 d/d hızda yatakta oluşan sürtünme katsayısının zamanla değişimi

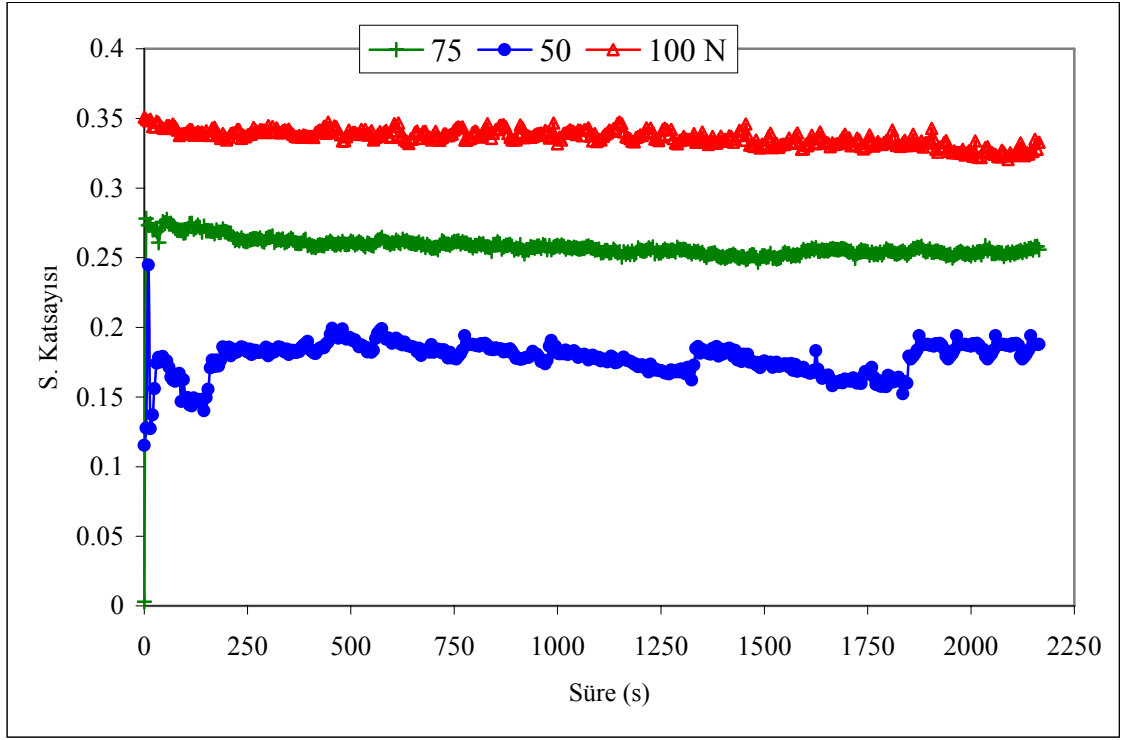


Şekil 5.8. 100 ° C Sıcaklığında 200–300–400 N yükte ve 150–450–900–1200 d/d hızda yatakta oluşan sürtünme katsayısının zamanla değişimi

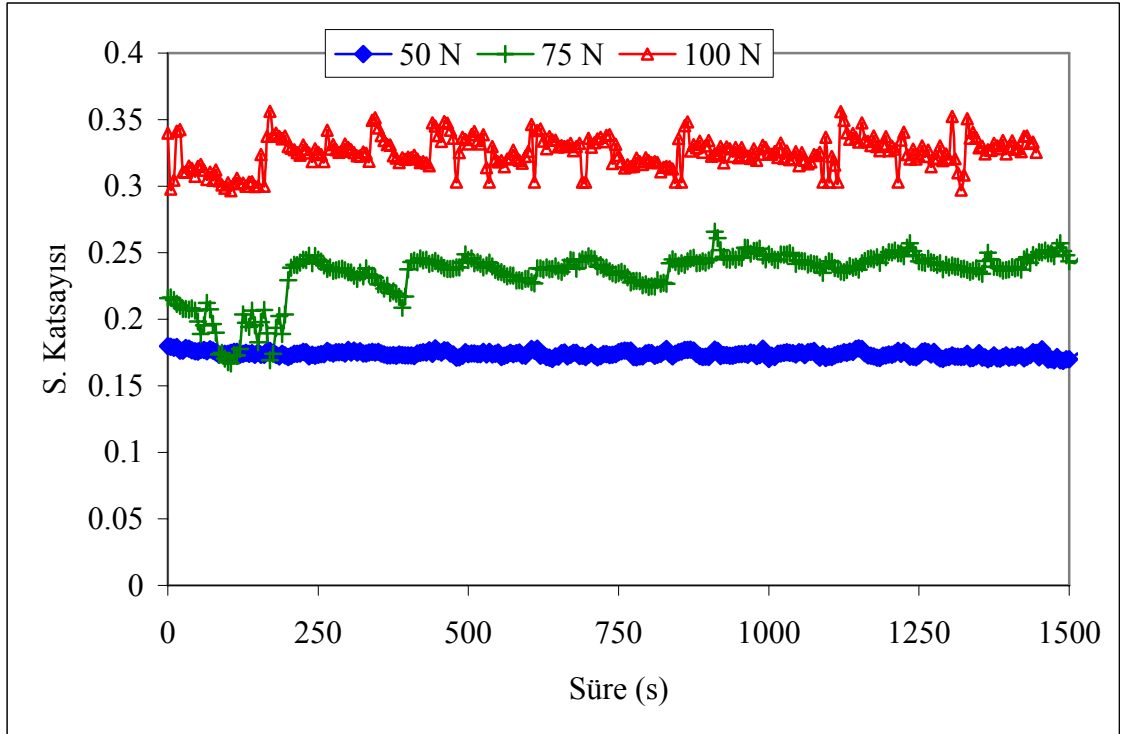
Yapılan radyal kaymalı yataklarda her iki sıcaklıkta genellikle sürtünme katsayısı değerlerinde fazla bir dalgalanma görülmemektedir(Şekil 5.1.-5.8). Şekil 5.4 ve Şekil 5.8.'de verilen ortalama sürtünme katsayıları incelendiğinde yağlama literatüründe Stribeck eğrisi olarak bilinen eğrinin karışık ve sıvı filmlili yağlama bölgesi rahatlıkla görülebilmektedir.

5.2. Pim Disk Test Cihazında Elde Edilen Deneysel Bulgular

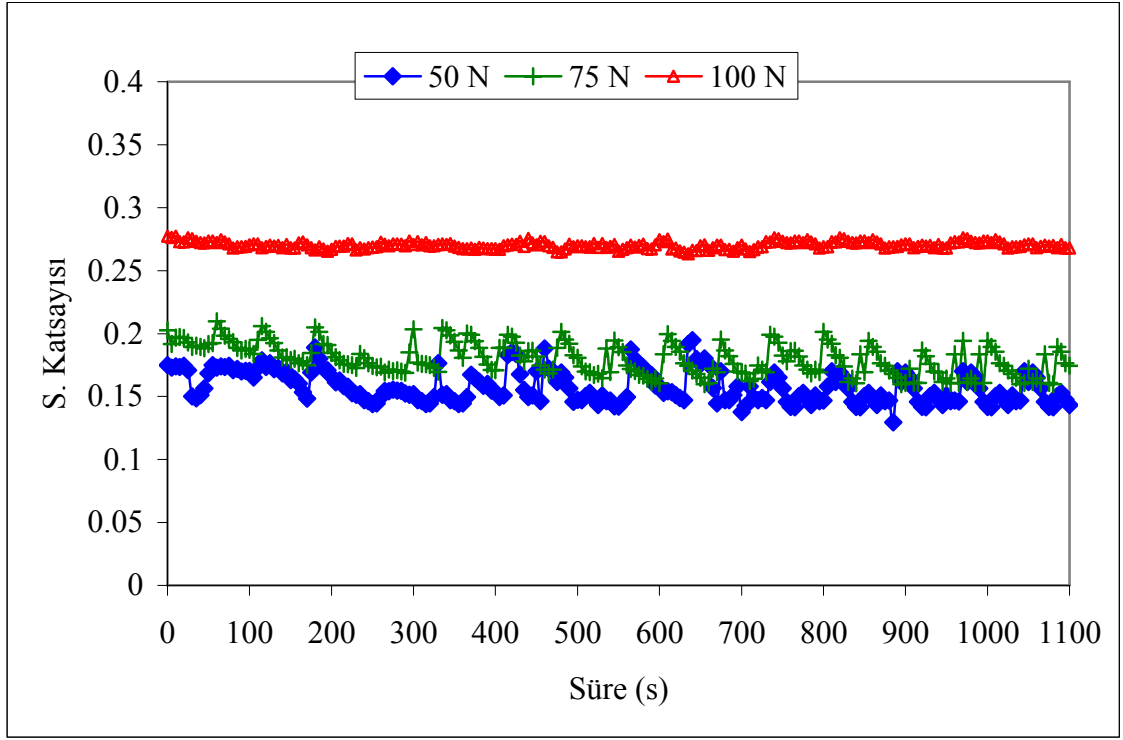
Pim Disk test cihazında farklı hız ve yüklerde elde edilen sürtünme katsayısı ölçümleri farklı kat etme mesafelerine bağlı olarak test sürelerine göre grafik halinde hem sınır yağlama rejiminde hem de karışık yağlama rejimine göre ayrı ayrı olarak Şekil 5.9.- 5.14.'de verilmiştir.



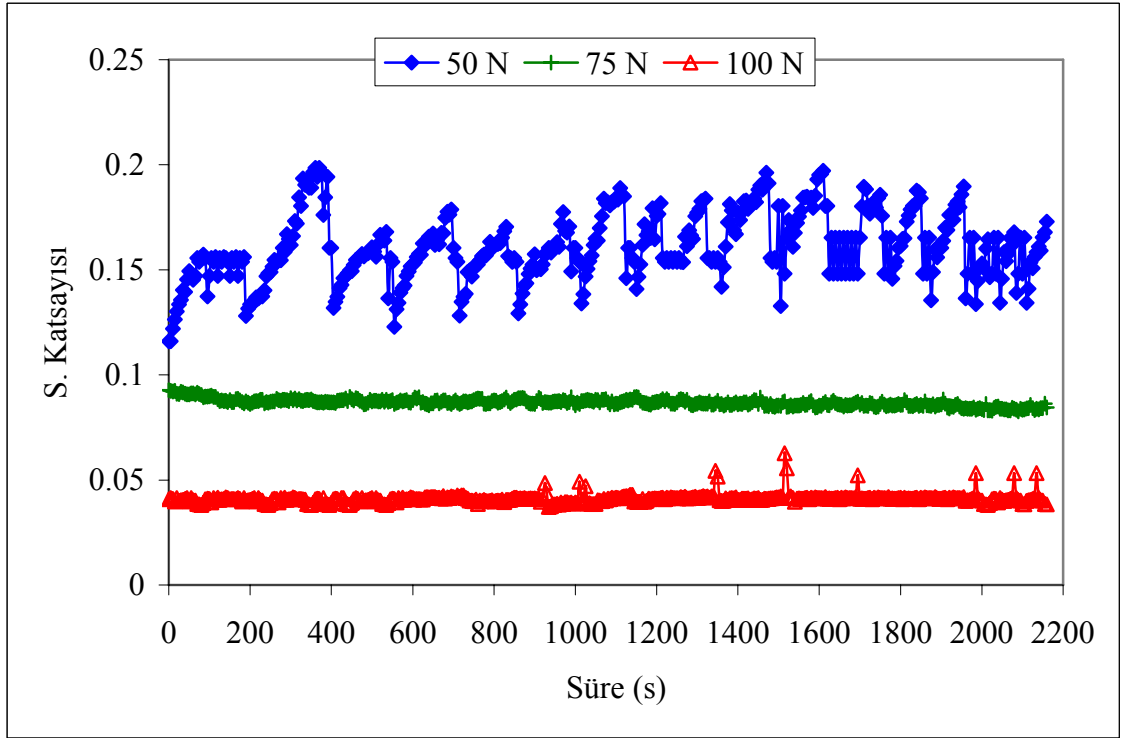
Şekil 5.9. Sınır yağlama rejiminde 600 d/d hızda sürtünme katsayıları değişimi



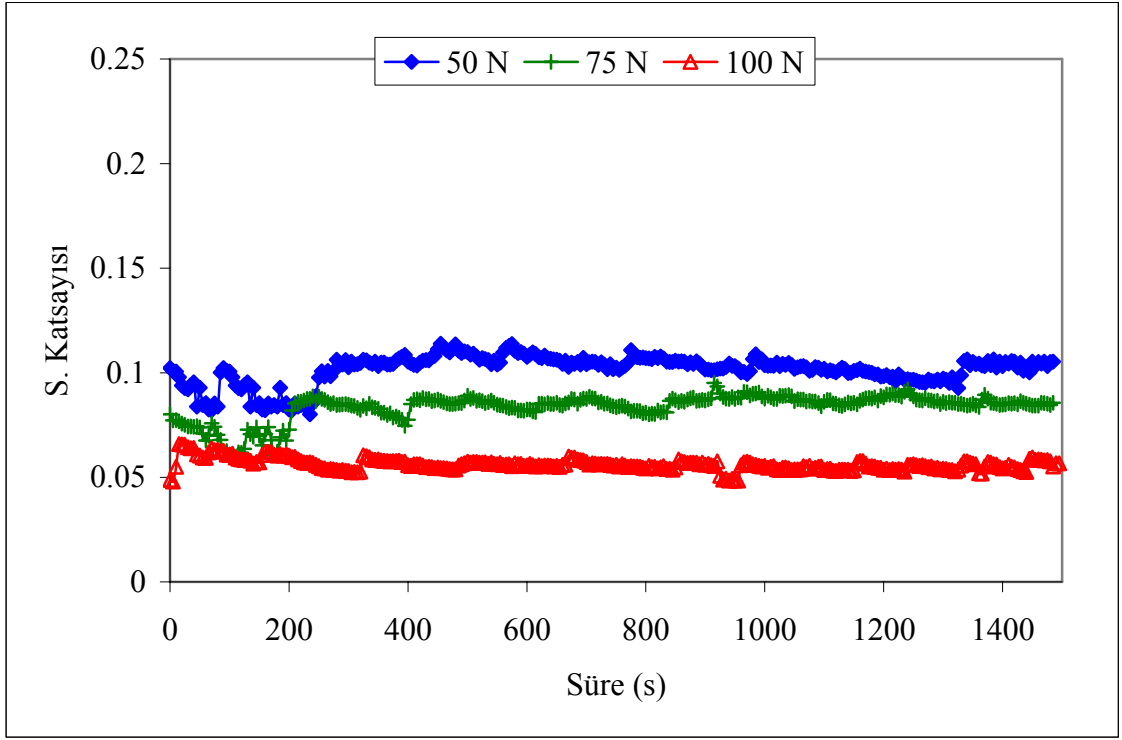
Şekil 5.10. Sınır yağlama rejiminde 900 d/d hızda sürtünme katsayıları değişimi



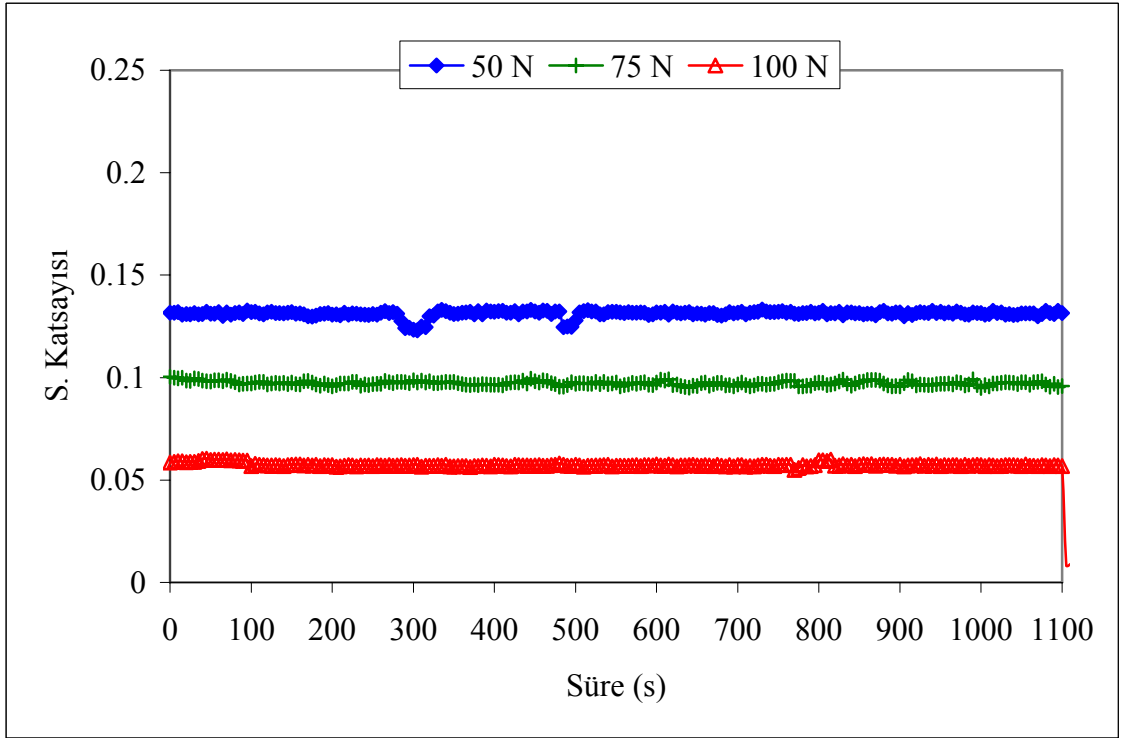
Şekil 5.11. Sınır yağlama rejiminde 1200 d/d hızda sürtünme katsayıları değişimi



Şekil 5.12. Karışık yağlama rejiminde 600 d/d hızda sürtünme katsayıları değişimi



Şekil 5.13. Karışık yağlama rejiminde 900 d/d hızda sürtünme katsayıları değişimi



Şekil 5.14. Karışık yağlama rejiminde 1200 d/d hızda sürtünme katsayıları değişimi

Pim disk cihazında özellikle sınır yağlama rejiminde yapılan deneylerde test sırasında pim ile disk arasında deney sırasında zaman zaman yağlama literatüründe Kay-Dur sürtünme olayı olarak adlandırılan tutuklu çalışma durumu gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak yüzeyde kısmen de olsa bir yapışma, kaynama ihtimali olarak düşünülmektedir. Çünkü bu deney şartında, yeterli yağ olmadığından yüzeyde sıcaklık artışı fazla olmakta, bu da yüzeylerde bir kaynama ihtimalini artırmaktadır. Ayrıca diğer bir neden olarak da pim malzemesi özelliklerinin birbirine yakın olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Test süresince sürtünme katsayısının aritmetik ortalaması da alınarak sonuçlar Çizelge 5.1.'de her iki yağlama rejimi için birlikte verilmiştir. Ağırlık metoduna göre de aşınma kayıpları incelenmiştir. Numuneler temizlendikten sonra kurutulup tartılarak aşınma miktarları Çizelge 5.2.'de, yine her iki yağlama rejimi için ayrı ayrı verilmiştir.

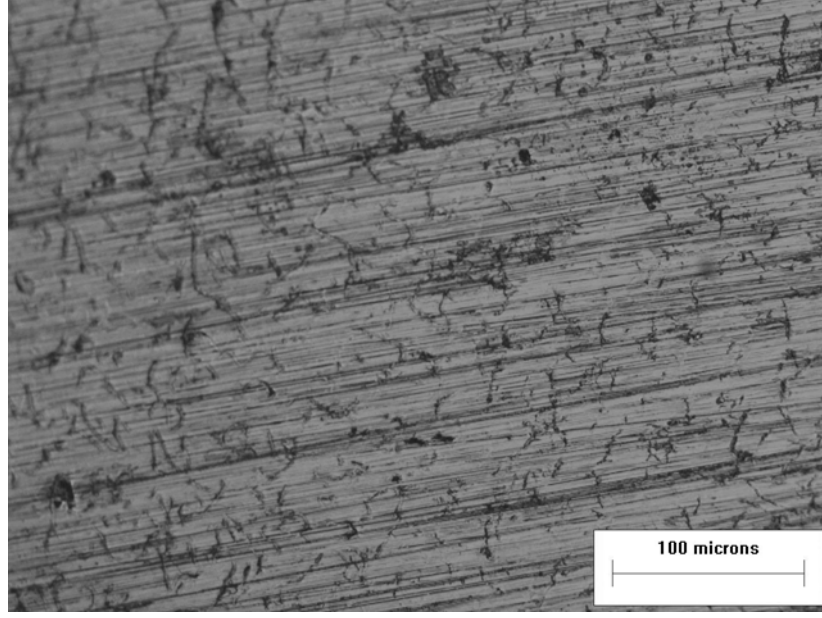
Çizelge 5.1. Pim disk cihazında elde edilen ortalama sürtünme katsayıları

Dönme devri	Sınır Yağlama			Karışık Yağlama		
	F=50 N	F=75 N	F=100 N	F=50 N	F=75 N	F=100 N
600 d/d	0.177	0.257	0.336	0.161	0.081	0.04
900 d/d	0.172	0.233	0.325	0.101	0.083	0.056
1200 d/d	0.157	0.179	0.270	0.131	0.097	0.057

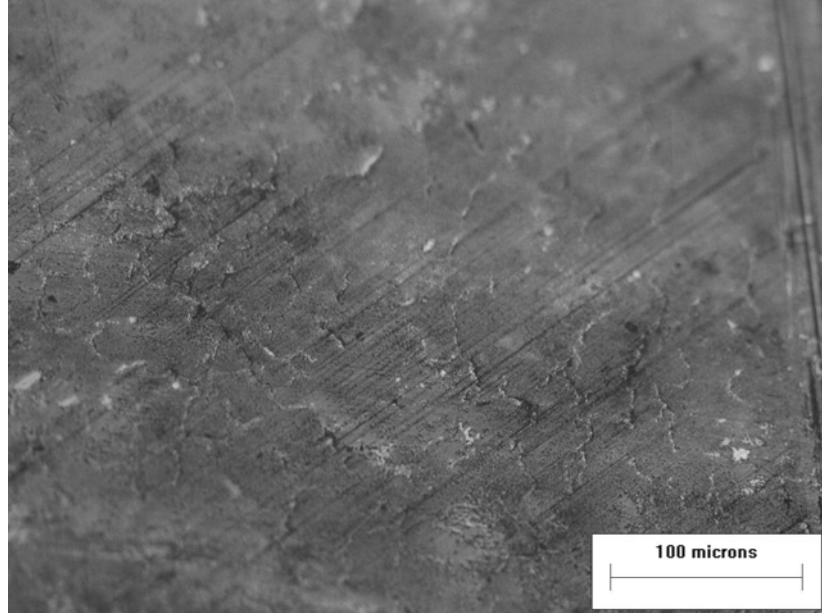
Çizelge 5.2. Pim disk cihazında elde edilen aşınma miktarları (g)

Dönme devri	Sınır Yağlama			Karışık Yağlama		
	F=50 N	F=75 N	F=100 N	F=50 N	F=75 N	F=100 N
600 d/d	0.034	0.028	0.053	0.015	0.013	0.012
900 d/d	0.018	0.0231	0.045	0.014	0.013	0.011
1200 d/d	0.015	0.0212	0.0182	0.016	0.014	0.012

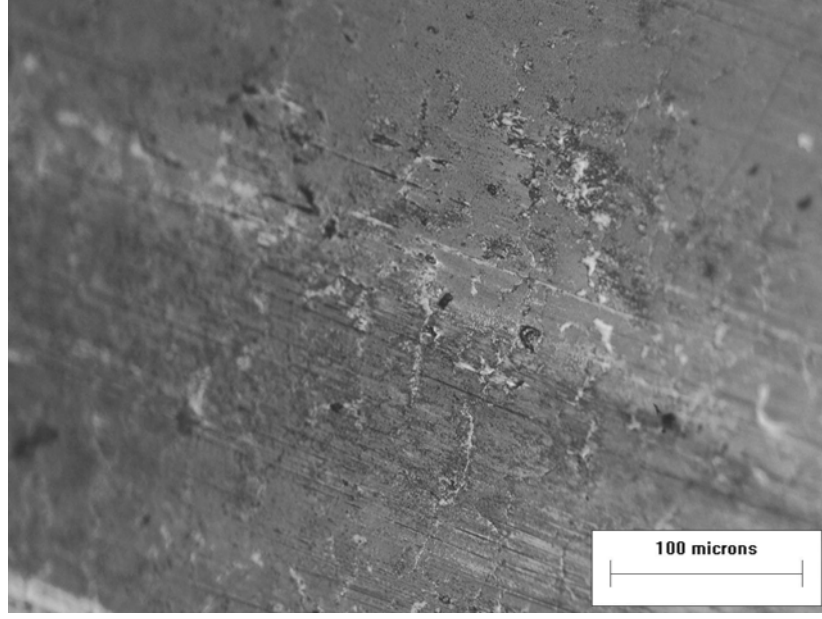
Deneyleer tamamlandıktan sonra, numunelerinin yüzey filmleri aynı ölçekli mikroskopta incelenmiş ve yüzey filmleri çekilmiştir. Kullanılmamış pim numunesi ve diğere seçilen örnek hız ve yük büyüklükleri için test pimlerinin deney sonrasındaki yüzey filmleri Şekil 5.15 – 5.23.'de verilmiştir.



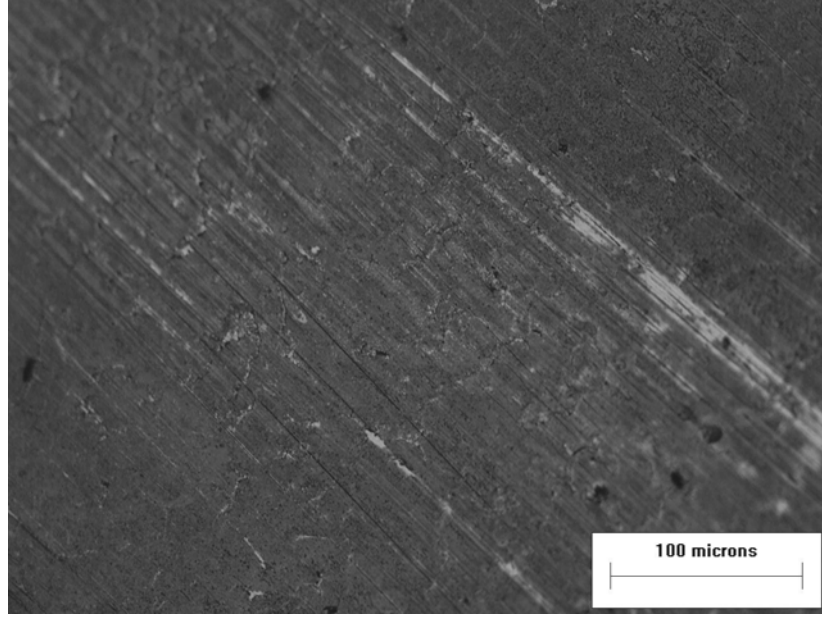
Şekil 5.15. Kullanılmamış pimin yüzey fotoğrafı



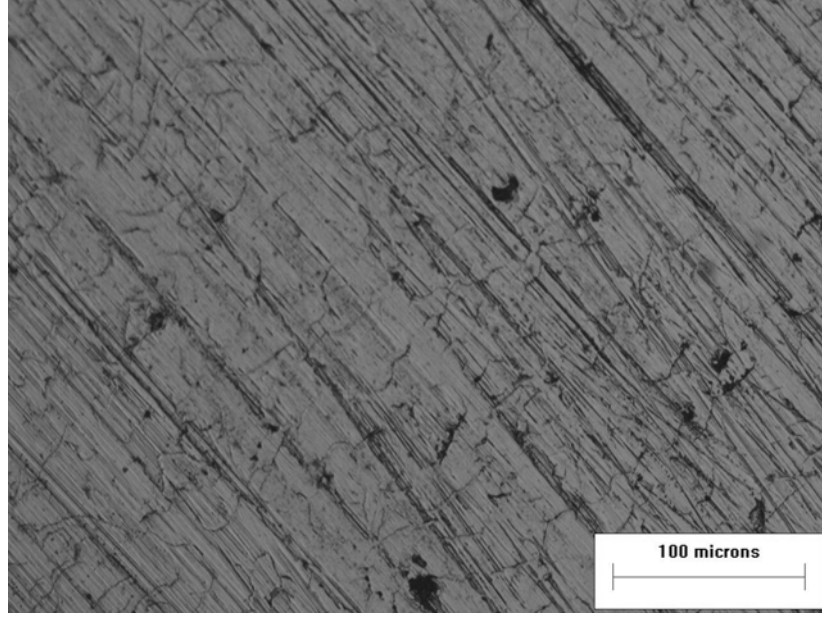
Şekil 5.16. F=50 N ve 600 d/d sınır yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı



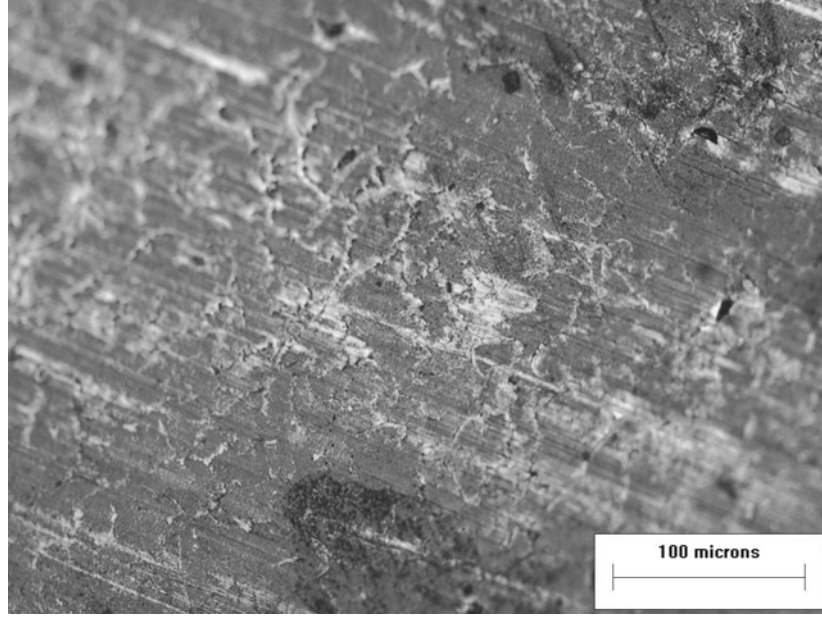
Şekil 5.17. $F=50$ N ve 1200 d/d sınır yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı



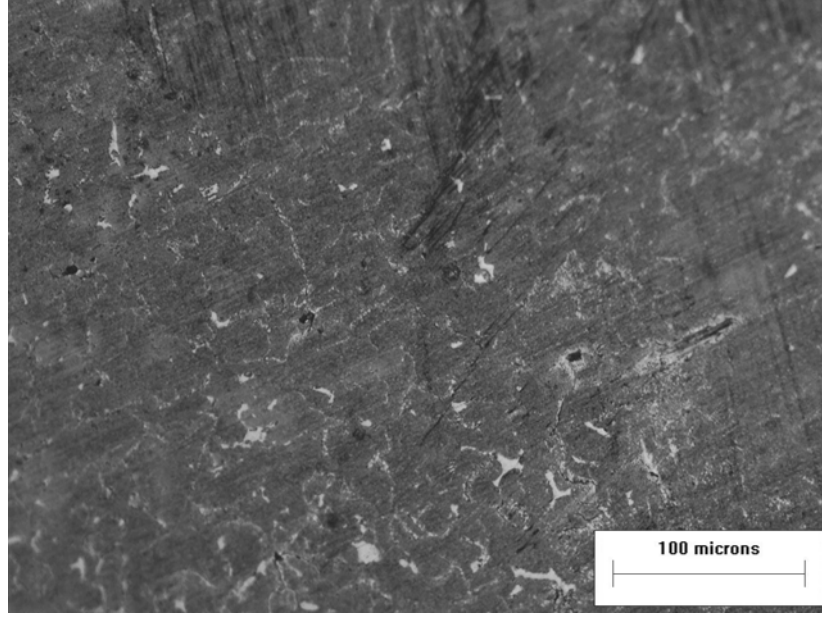
Şekil 5.18. $F=100$ N ve 600 d/d sınır yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı



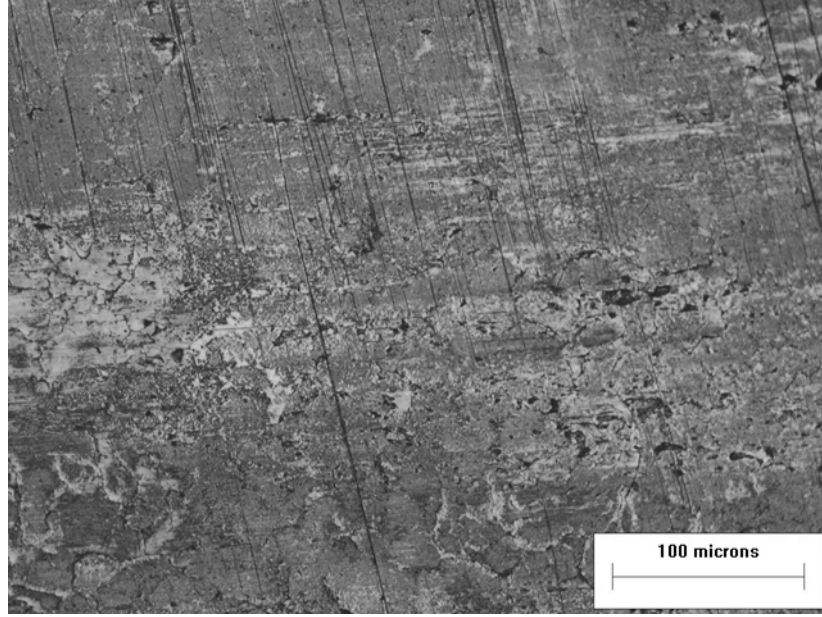
Şekil 5.19. $F=100$ N ve 1200 d/d sınır yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı



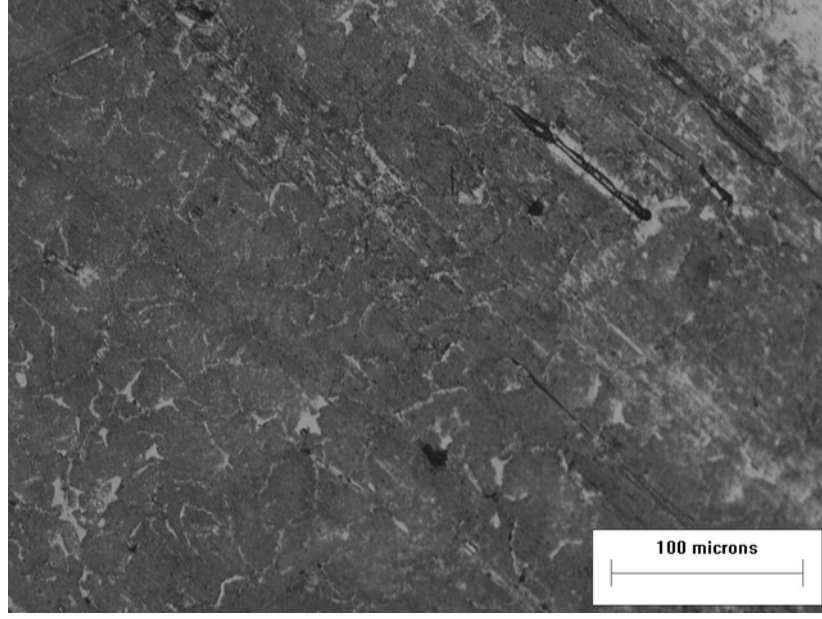
Şekil 5.20. $F=50$ N ve 600 d/d karışık yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı



Şekil 5.21. $F=50$ N ve 1200 d/d karışık yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı



Şekil 5.22. $F=100$ N ve 600 d/d karışık yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı



Şekil 5.23. $F=100$ N ve 1200 d/d karışık yağlamadaki pimin yüzey fotoğrafı

Pim numunelerinin yüzeyleri (Şekil 5.15. 5.23.) incelendiğinde; özellikle sınır yağlama rejimindeki numunelerde, aşınma yüzeylerinde daha derin izlerin meydana geldiği görülmektedir. Bu numunelerde meydana gelen aşınma tipinin adhesif aşınmanın yanı sıra abrasif aşınmaların olduğu anlaşılmaktadır. Çizelge 4.2.'de verilen deney öncesi ve deney sonrası yüzey pürüzlülüklerindeki değişim bu bulguyu bazen desteklerken bazense bu sonuçla uyuşmadığı görülmektedir.

Sınır yağlama rejimindeki test numunelerinin (Şekil 5.16.- Şekil 5.19.), yükün artmasıyla aşınma yüzeylerindeki çiziklerin arttığı ve çiziklerin daha derin olduğu görülmektedir. Karışık yağlama rejimindeki test numunelerinin (Şekil 5.20.- Şekil 5.23.) kayma yönünde, sınır yağlama rejimindeki numunelerdeki aşınma izlerine göre daha küçük ve daha hafif oldukları görülmektedir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Deneysel çalışmanın birinci kısmını oluşturan sabit yüklü radyal kaymalı yatak deney setinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde, geri dönüşümlü baz yağın sürtünme özelliğinin diğer mineral esaslı taşıt yağlarına benzer davranış gösterdiğini söylemek mümkündür. Kaymalı yatak test sonuçlarından yatağa uygulanan yükün artması ile yani ortalama yatak basıncının artması ile, sıvı filmlili yağlama bölgesinde sürtünme katsayısının azaldığı kolayca görülmektedir. Bu sonuç ise yağlama literatüründe mevcut bilgilerle uyum sağlayan bir sonuç olup çalışmanın doğrulunu teyit etmektedir. Söz konusu geri dönüşümlü taşıt yağların sürtünme katsayısının normal taşıt yağlarda beklenen seviyede olması çevre açısından oldukça öneme sahip olacaktır. Sürtünme açısından herhangi bir problem oluşturmayacak ise yeni yağ üretimi yerine kullanılmış taşıt yağlarının geri kazanılması ile hem yeni iş imkanları hem de daha temiz bir çevreye sahip olunacaktır. Durak E., vd. (2005) yaptıkları deneysel çalışmada, kullanılmış motor yağlarının sürtünme katsayıları yönünden fazla bir kayıpları olmadığı, kullanılmış yağların içerisinde kirlilik oluşturan maddelerin uzaklaştırılıp, ilave katkı maddesi ve işlemlerle yeniden kullanılabilceği belirtilmiştir. Gökalp, B., vd. (2006) iyileştirme çalışmaları neticesinde; atılmak üzere motordan dışarıya alınan motor yağının, iyileştirme çalışmalarından sonra, atık miktarının azaltılarak çevre kirliliğini azaltacak yönde katkı sağladıkları belirtmektedirler. Yaptıkları analizler neticesinde elde edilen numunenin yağlayıcı özelliği olduğu ve ilave katkı maddeleri eklendiğinde endüstrinin diğer kollarında kullanılabilceğini göstermektedirler.

Şekil 5.1.– Şekil 5.4.’de verilen grafiklerde görüldüğü gibi 25°C sıcaklıkta yapılan deneylerde aynı yük için, mil dönme devri artkça sürtünme katsayısında bir artış olmaktadır. Bu nedenle yatağın genellikle hidrodinamik yağlama ve/veya karışık yağlama bölgesinde çalıştığını belirtmek mümkündür. Şekil 5.5.– Şekil 5.8’deki 100°C sıcaklıktaki deney sonuçlarında benzer davranış sergilendiği görülmektedir. Sıcaklığın artması ile baz yağın viskozitesinin azaldığı(Çizelge 4.1.), bunun da mineral yağlarda olduğu gibi test edilen baz yağın da daha düşük bir sürtünme katsayısı meydana getirdiği görülmektedir. Testlerde kullanılan baz yağ herhangi bir

katkı maddesi ihtiva etmemektedir. Bu nedenle test edilen baz yağa ilave edilecek katkı maddeleri ile sürtünme, aşınma gibi daha iyi tribolojik özelliklere ulaşmak mümkün olabilecektir.

Çalışmanın ikinci kısmını oluşturan Pim disk aşınma test cihazında elde edilen sürtünme katsayısı sonuçları incelendiğinde de (Şekil 5.9. –Şekil 5.14.) hem sınır sürtünme hem de karışık yağlama rejiminde sürtünme katsayısı sabit yüklü radyal kaymalı yataktaki sürtünme katsayıları ile karşılaştırıldığında oldukça büyük değerlerde çıktığı görülmektedir. Bunun nedenleri yağlama bölgelerinin birbirinden çok farklı olması ve pim ve disk arasında oluşan yüzey basıncının (sabit yüklü yatakta ortalama basınç 0,16 – 0,32 MPa iken, pim diskte 0,6 – 1,2 MPa) çok büyük, disk ve pimin malzeme özelliklerinin birbirine yakın olmasına bağlamak mümkündür.

Pim disk cihazından elde edilen test sonuçlarında (Şekil 5.9-5.14. ve Çizelge 5.1.) sınır yağlama bölgesinde yük artarken sürtünme katsayıları genellikle artmakta, hız artarken ise sürtünme katsayıları azalmaktadır. Karışık yağlama bölgesinde ise yük artarken sürtünme katsayısı sınır yağlamanın aksine azalmaktadır. Bu da bize pim ile disk arasında kısmen de olsa bir yağ filminin oluşmaya başladığını göstermektedir. Ayrıca karışık yağlama bölgesinde hız arttıkça sürtünme katsayısının değişimi daha kararlı olmaktadır(Şekil 5.12.-5.14.). Çizelge 5.1.'de verilen ortalama sürtünme katsayıları da incelendiğinde sınır yağlama rejiminde yükün artması ile sürtünme katsayısı artmakta, hız ile azalmaktadır. Karışık yağlama bölgesinde ise hem yükün artması ile hem de hızın artması ile azalmaktadır. Ayrıca karışık yağlama rejimindeki ortalama sürtünme katsayılarına bakılarak, bir baz yağ için oldukça küçük sayılabilecek değerlerde olduğunu söylemek mümkündür.

Çizelge 5.2.'de verilen aşınma miktarları incelendiğinde ise; seçilen deney mesafesinin oldukça sınırlı olması nedeniyle büyük aşınma değerleri elde edilememiştir. Fakat yine de bu sonuçlardan sınır yağlama bölgesinde artan yük ile aşınma miktarlarında bir artış olurken, hızın artması ile aşınma miktarlarında genellikle düşüş tespit edilmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda daha büyük kat etme

mesafeleri ile aşınma özellikleri hakkında daha detaylı sonuçlar elde etmek mümkündür. Ayrıca yüzeyde herhangi bir tabaka oluşup oluşmadığını görebilmek için hassas yüzey analizlerinin yapılması ile aşınma özellikleri hakkında daha açıklayıcı sonuçlara ulaşmak mümkün olacaktır.

Pim numunelerin yüzey filmlerinde, karışık yağlama numunelerinin daha iyi bir çalışma yüzeyi oluşturduğu kolay bir şekilde görülmektedir. Sınır yağlama rejimindeki pimlerde daha büyük aşınma çizgileri rahatlıkla görülmektedir. Ayrıca sınır yağlama rejimindeki pim numunelerinde temas bölgesinde siyah bölgelerin test numunelerinin bir kısmında olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeninin çalışma yüzeyinde yağın çok az olması ve sıcaklık artışından dolayı pimin bu bölgelerde bir reaksiyon tabakası oluşabileceği tahmin edilmektedir.

Genel olarak sürtünme ve aşınma test sonuçları incelendiğinde;

1. Kaymalı yataklarda uygulanan yükler aynı olduğunda, hızlar farklı olursa sürtünme katsayısı özellikle de hidrodinamik bölgede hızın artışına bağlı olarak artış göstermektedir.
2. Aynı sabit yük, aynı hız farklı iki sıcaklıkta (25°C ve 100°C sıcaklıklarda) yapılan deney sonucunda yüksek sıcaklıkta sürtünme katsayısının düşük sıcaklıktaki sürtünme katsayısından daha küçük bir değere sahip olduğu test sonuçlarından görülmektedir.
3. Sabit yüklü radyal kaymalı yatakta sabit dönme devrinde, sürtünme katsayısı yükün artmasıyla azaldığı gözlemlenmiştir.
4. Pim disk aşınma test cihazında elde edilen test sonuçlarından hem sınır sürtünme hem de karışık yağlama rejiminde sürtünme katsayısı sabit yüklü radyal kaymalı yataktaki sürtünme katsayılarından oldukça büyük değerlerde çıktığı görülmüştür.
5. Test edilen geri dönüşümlü baz yağın sürtünme ve aşınma özellikleri uygun katkı maddeleri ilave edilmesi ile özellikle de sınır sürtünme bölgesinde etkili olan katkı maddelerinin ilavesiyle daha iyi performans göstermesi mümkündür.

6. Pim disk cihazında yapılan deneyler sonucunda; sınır yağlama bölgesinde yük artarken sürtünme katsayıları genellikle artmakta, hız artarken ise sürtünme katsayıları azalmaktadır. Karışık yağlama bölgesinde ise hem yük hem de artarken sürtünme katsayısı azalmaktadır.
7. Pim numunesinin aşınma kayıpları yönünden incelendiğinde ise, hızın artması ile aşınma miktarlarında bir düşüş eğilimi tespit edilmiştir.
8. Pim disk cihazında daha geniş hız, yük, farklı pim ve disk malzemelerinde, farklı sıcaklıklar vb. gibi farklı parametrelerle çalışmanın sürdürülmesi planlanmaktadır. Ayrıca geri dönüşümü sağlanmış, kullanıma hazır taşıt yağlarının yurt dışından getirilebilmesi halinde aynı deneylerin yapılması ile daha pratiğe dönük sonuçlar elde etmek mümkündür.

KAYNAKLAR

Al-Zahrani, S.M., Elbashir N.O., Abdul Mutalib M.I., Abasaed A.E.,2002. A Method of Predicting Effective Solvent Extraction Parameters For Recycling of Used Lubricating Oils , Chemical Engineering and Processing 41, 765-769.

Ali, M. Farhat, Rahman, F., Hamdan, A.J., 1995. Techno-economic Evaluation of Waste Lubricating Oil, International Journal of Production Economics 42, 263-273.

Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,2004.

Bates, T.W., 1995. Effect of Automotive Technology and Environmental Factors on Lubricant Requirements, Lubricants and Lubrication, Elsevier Sc., 7 – 11.

Bhaskar, T., Uddin, M.A., Muto, A., Sakata, Y., Omura, Y., Kimura, K., Kawakami, Y., 2004. Recycling Of Waste Lubricant Oil Into Chemical Feedstock or Fuel Oil Over Supported Iron Oxide Catalysts, Fuel 83, 9–15.

California Integrated Waste Management Board, 1996,Rerefined motor oil:
Overcoming the myths,
(<http://www.ciwmb.ca.gov/UsedOil/Rerefined/MythsGuide/Myths.pdf>)

Durak, E., 1999. Farklı Yükleme Şekillerinde Yağ ve Yağ Katkı Maddelerinin Yatak Performansına Etkileri, SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, s.156.

Durak, E. Delikanlı, K., Bedir, F., 2005. Kullanılmış Motor Yağının Sürtünme Özellilerinin İncelenmesi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, IX. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, , 27-29 Mayıs 2005, 141-144.

Durak, E., Karaosmanoğlu, F., 2002. Taşıtlarda Yağ Seçimi-Kullanımı ve Çevre, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 16-18 Ekim 2002, İstanbul, 983-991.

Durak, E., Kaleli, H., Karaosmanoğlu, F., 2001. Motor Yağları ve Katıkları, VII Otomotiv ve Yan Sanayii Sempozyumu, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Bursa Şubesi, Bursa, 26-27 Ekim 2001, 129-138.

Elbashir, N.O., Al-Zahrani, S.M., Abdul Mutalib, M.I., Abasaeed, A.E., 2002. A Method Of Predicting Effective Solvent Extraction Parameters For Recycling Of Used Lubricating Oils, Chemical Engineering and Processing 41, 765 - 769.

Ergün, B., Kaleli, H., Durak, E., 2003. Kullanılmış Motor Yağlarının Geri Kazanım Yöntemleri ve Ekonomik Değerlendirmesi, VIII Otomotiv ve Yan Sanayii Sempozyumu, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Bursa Şubesi, Bursa, 17-18 Ekim 2003, 107-116.

Gökalp, B., Çildir, O., Saraç, H.İ., 2006. Kullanılmış Motor Yağını İyileştirme Metotları, VI. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 25-27 Mayıs 2006, Isparta, 687-698.

Hamad, A., Al-Zubaidy, E., Fayed, M.E., 2005. Used Lubricating Oil Recycling Using Hydrocarbon Solvents, Journal of Environmental Management 74, 153-159.

Hani, İ., 2002. Madeni Yağlar ve Petrol Ofisi Ürünleri, s226, İstanbul.

http://www.tupras.com.tr/sub_price.asp

<http://www.Recycleoil.org/>, “ Benefits of Recycling ”

<http://www.interlineresources.com/introduction.html>

Kaleli H., 1995. Motorların İşletim Şartlarında, Yağların Yapısal Değişimlerinin Aşınmalara Etkilerinin İncelenmesi ve Optimum Yağ Değiştirme Süreçlerinin Araştırılması, Yıldız Tek. Üniversitesi, Fen Bil. Ens., Doktora Tezi, İstanbul, s.139.

Karaosmanoğlu, F., Özgülsün, A., Bayraktar, L., 1995. Yağlama Yağları, Mühendis ve Makina Dergisi, Cilt 35-429, 1995, s.26-31.

Korcek, S., Sorab, J., Johnson, M.D., Jensen,R. K., 2000. Automotive Lubricants for the Next Millenium, Endustrial Lubrication and Triboloji, 52 (5), 209 – 220.

Koşal, N.,1991, Atık Yağların Geri Kazanılması İle İlgili Teknik Özellikler, Madeni Yağlar Sempozyumu 14-22 Kasım, s.43-48

Kubo, K., Kayaga, M., Sunami, M., Wakabayashi, T., Watanabe, S., 1999. The Environmental Aspect of Lubricants, Proc. Instn. Mech. Engrs. 213 Part J, 1 – 12.

Kurbanoğlu, C., Durak E., Tunay R.F., Karaaslan R., 2001. Değişken Yüklü T/M Esaslı Kaymalı Yataklardaki Sürtünme Kuvvetinin Ölçülmesi, TMMOB-IV. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, 25-26 Ekim, s.33-46, Eskişehir.

Linnard, R. E., Henton, L. M., 1979. Re-refine Waste Oil with PROP, Hydrocarbon Processing,123-131.

Mian, A., 1999, Lubricating Automotive Engines, Industrial Lubrication and Triboloji, 51 (2), 62 – 68.

Mineralöl - Raffinerie Dolbergen GmbH, KS 100, (<http://www.mineraloel-raffinerie.de/de/downloads/downloads.htm>)

Öztürk, M., 2005. Kullanılmış Motor Yağı ve Bertarafı, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara(<http://www.bcm.org.tr/pdf/At%C4%B1k%20ya%C4%9Flar.pdf>)

Peaslee, K., Roberts D.E., 1997. Characterization of Used Automotive Oil Filters for Recycling, Resources, Conservation And Recycling, 19, 81-91.

Schilling Alphonse, 1962. Automobile Engine Lubrication-Engine Wear, Scientific Publications (GB) Ltd., 7.17-7.103.

Soydan, Y., Ulukan, L., 1998. "Sürtünme ve Aşınma Direnci Ölçme Yöntemleri", 8. Uluslar arası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, , 9-11 Eylül 1998, 581-588, Ankara.

Tunay, R., 2001. Tam Değişken Gerilmede T/M Esaslı Radyal Yatakların Aşınma ve Sürtünme Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Tüfekçi, K., 2002. Kaymalı Yatakların Konstrüksiyonel Gelişmesi ve T/M Yataklarla Karşılaştırılması, S.D.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Seminer II, Isparta.

Vermont Agency of Natural Resources, Department of Environmental Conservation, Air Pollution Control Division and Hazardous Materials Man. Div. ,1996, Vermont Used Oil Analysis and Waste Oil Furnace Emission Study , Vermont, <http://www.anr.state.vt.us/air/docs/wasteoilstudyrpt.pdf>.

Wishman, M. L., Reynolds, J. W., Goetzinger, J. W., Cotton, F. O., Brinkman, D. W., 1978. Re-refining Makes Quality Oils, Hydrocarbon Processing,1-8.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat Bedri TUĞAÇ

Doğum Yeri : ANTALYA

Doğum Yılı : 1979

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1992–1995 Antalya Lisesi

Lisans : 1996–2001 Süleyman Demirel Üniversitesi Müh. Mim. Fak.
Çevre Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi

2001 yılından itibaren Arüv Çevre Müh.Müş.Hiz.San.Tic. Ltd.Şti firmasında Çevre Mühendisi olarak çalışmakta olup, Alt yapı sistemleri, Atıksu Arıtma Tesisleri ile ilgili proje ve taahhüt çalışmalarında görev almaktadır.