

154442

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KULLANILMIŞ MOTOR (KARTER) YAĞLARININ GERİ
KAZANMI VE EKONOMİK YÖNDEN
DEĞERLENDİRİLMESİ

Makina Yük. Müh. Barış ERGUN

FBE Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı Enerji Makinaları Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Dr. Hakan KALELİ

Prof. Hakan YAVUZLUOĞLU

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hakan KALELİ

Doc. Dr. Feriz KANGOSMANOĞLU, 27 Ekim 2004

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. YAĞLAR.....	4
2.1 Yağlar Hakkında Genel Bilgiler	4
2.1.1 Madeni Baz Yağlar	4
2.1.2 Sentetik Baz Yağlar	5
2.1.2.1 Sentetik Hidrokarbon Yağlar	7
2.1.2.2 Hidrokarbonların Silikon Analogları	8
2.1.2.3 Organo Halojenler.....	9
2.2 Baz Yağ Üretimi ve Sınıflandırılması.....	9
2.2.1 Madeni Baz Yağ Üretimi	11
2.2.2 Sentetik Baz Yağ Üretimi	13
2.2.3 Baz Yağların Sınıflandırılması	14
2.3 Motor Yağları ve Çeşitleri	17
2.3.1 Kullanılan Baz Yağa Göre Motor Yağı Çeşitleri.....	17
2.3.2 Motor Yağı Üretiminde Kullanılan Katkı Maddeleri	18
2.3.3 API'ye Göre Motor Yağı Çeşitleri.....	20
2.3.3.1 Otto Motor Yağları	20
2.3.3.2 Diesel Motor Yağları	21
3. KULLANILMIŞ MOTOR YAĞLARI ve ATIK OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ	23
3.1 Yağın Eskimesi	23
3.2 Kullanılmış Motor Yağları.....	24
3.3 Kullanılmış Yağların Atık Olarak Değerlendirilmesi.....	27
3.3.1 Avrupa'daki Kullanılmış Yağlara Ait Veriler	29
3.4 Türkiyede Atık Yağların Değerlendirilmesi	31
3.5 Türkiye'nin Kullanılmış Motor Yağı Potansiyeli	34
3.6 Kullanılmış Yağların İlgili Yönetmeliğe Göre Geri Kazanılabirliği.....	36

4.	KULLANILMIŞ MOTOR YAĞI GERİ KAZANIM TEKNOLOJİLERİ	38
4.1	Geri Kazanım İşlemleri.....	42
4.1.1	Su Giderme	42
4.1.1.1	Atmosferik Distilasyon	42
4.1.1.2	Vakum Distilasyon.....	43
4.1.2	Asfalt Giderme.....	44
4.1.2.1	Asit ve Kil ile Temas	44
4.1.2.2	Vakum Distilasyon.....	45
4.1.2.3	İnce Film Evaporasyonu (TFE)	47
4.1.2.4	Solvent Ekstraksiyonu	47
4.1.3	Fraksinasyon	48
4.1.4	Sonlandırma	48
4.2	Günümüzde Uygulanmayan ve Ar-Ge Yapılan Teknolojiler	50
4.2.1	Süperkritik CO ₂ Ekstraksiyonu.....	50
4.2.2	UOP Hidrojen ile Direkt Temas Prosesi.....	52
4.2.3	BERC Solvent Ekstraksiyon Prosesi	53
4.2.4	PROP Prosesi.....	54
4.3	Günümüzde Uygulanmakta Olan Sistemler.....	57
4.3.1	Asit Kil Prosesi	57
4.3.2	CEP Prosesi.....	58
4.3.3	Viscolube Prosesi.....	60
4.3.3.1	Dehidrasyon	62
4.3.3.2	TDA	62
4.3.3.3	Hidrojen ile Muamele	63
4.3.3.4	PDA.....	64
4.3.3.5	Viscolube Prosesi ile Elde Edilen Baz Yağ Özellikleri	69
4.3.4	Interline Resources Solvent Ekstraksiyon Prosesi	69
4.3.4.1	Solvent Ekstraksiyon	70
4.3.4.2	Tortu (Çökelti) İşleme:	71
4.3.4.3	Solvent Sıyırma:.....	72
4.3.4.4	Buhar Geri Kazanımı	73
4.3.4.5	Distilasyon	74
4.3.4.6	Interline Resources Baz Yağ Özellikleri.....	76
4.3.5	Geri Kazanım ile Üretilen Baz Yağların Karşılaştırılması	76
5.	KULLANILMIŞ MOTOR YAĞI GERİ KAZANIM PROSESLERİNİN EKONOMİK YÖNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	79
5.1	Ekonomik Değerlendirme Prosedürü.....	79
5.2	Geri Kazanım Tesisi Sabit Sermaye Yatırım Gideri.....	82
5.3	Geri Kazanım Tesisi Döner Sermaye Yatırım Gideri.....	82
5.4	Geri Kazanım Tesisi Borç Anapara ve ve Faiz Ödeme Planı	82
5.5	Geri Kazanım Tesisi Yıllık Amortisman Değeri	84
5.6	Geri Kazanım Tesisi Hammadde Giderleri.....	84
5.7	Geri Kazanım Tesisi Yardımcı Madde ve Malzeme Giderleri	84
5.8	Geri Kazanım Tesisi Enerji Giderleri	85
5.9	Geri Kazanım Tesisi İşçilik ve Personel Giderleri	86
5.10	Geri Kazanım Tesisi Bakım ve Onarım Giderleri	87
5.11	Geri Kazanım Tesisi Genel Giderleri	87
5.12	Geri Kazanım Tesisi Satış ve Pazarlama Giderleri.....	87
5.13	Geri Kazanım Tesisi İşletme Gideri	87

5.14	Geri Kazanım Tesisi Yıllık Net Kârı	93
5.15	Geri Kazanım Tesisi Geri Ödeme Süresi.....	98
5.16	Geri Kazanım Tesisi 1 ton Baz Yağ Maliyeti.....	98
5.17	Geri Kazanım Tesisi Kâr Oranı	99
6.	SONUÇLAR	100
KAYNAKLAR		103
EKLER.....		106
Ek 1	Spesifik Gravite	107
Ek 2	PROP Prosesi Ayrıntılı Akış Şemaları.....	108
Ek 3	BERC Prosesi Ayrıntılı Akış Şeması	110
Ek 4	Moleküler Distilasyon Ünitesi.....	111
Ek 5	Ortalama Kirletici Değerlerinin Bulunması	112
ÖZGEÇMİŞ		114



SİMGE LİSTESİ

<i>As</i>	Arsenik
<i>Ba</i>	Baryum
<i>Ca</i>	Kalsiyum
<i>Cd</i>	Kadmiyum
<i>Cl</i>	Klor
<i>Cr</i>	Krom
<i>Cu</i>	Bakır
<i>Fe</i>	Demir
<i>Hg</i>	Civa
<i>Mg</i>	Magnezyum
<i>Ni</i>	Nikel
<i>P</i>	Fosfor
<i>Pb</i>	Kurşun
<i>Si</i>	Silisyum
<i>Zn</i>	Çinko
ρ	Yoğunluk
ν	Kinematik Viskozite
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat cinsinden sıcaklık derecesi
€	1 Euro
$^{\circ}\text{F}$	Fahrenheit cinsinden sıcaklık derecesi
<i>ppm</i>	milyonda 1 parça
<i>T</i>	Sıcaklık
$\text{\$}$	1 ABD Doları
<i>P</i>	Basınç
<i>V</i>	Hacim

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADER	Akaryakıt Dağıtıcıları Derneği
API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
BERC	Bartsville Energy Research Center
DAP	Diamonyum Fosfat
DOE	Department of Energy
DSYG	Döner Sermaye Yatırım Gideri
EPA	Enviromental Protection Agency
EC	European Commission
GKO	Geri Kazanım Oranı
İTK	İstenen Tesis Kapasitesi
KBTK	Kaynakta Belirtilen Tesis Kapasitesi
KKO	Kapasite Kullanım Oranı
KV	Kinematik Viskozite
MEK	Metil Etil Keton
PAH	Poli Aromatik Hidrokarbon
PAO	Poli-alfaolefin (poli- α -olefin)
PCB	Poliklorlubifeniller
PCT	Poliklorluterfeniller
PDA	Propane De-asphalting
PETDER	Petrol Sanayi Derneği
PFC	Petroleum Finance Company
PROP	Philips Rerefining Oil Process
PSUORP	Pensylvania Used Oil Recycling Program
SAE	Society of Automotive Engineers
SN	Solvent Neutral
SSU	Saybolt Universal Second
SUS	Saybolt Universal Second
SYG	Sabit Yatırım Gideri
SYG _K	Kaynakta Belirtilen Sabit Yatırım Gideri
SYG _{Ort}	Ortalama Sabit Yatırım Gideri
TDA	Thermal De-asphalting
TNSC	Taylor Nelson Sofres Consulting
TÜPRAŞ	Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi
VI	Viscosity Index (Viskozite İndeksi)
VOC	Volatile Organic Compounds (Uçucu Organik Bileşikler)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Madeni Yağ Tipleri	5
Şekil 2.2 Ham petrolden madeni yağ eldesi	12
Şekil 2.3 Adsorpsiyon mekanizması.....	18
Şekil 2.4 Çinko dialkilditiofosfatın kimyasal yapısı.....	19
Şekil 3.1 Oksidasyon reaksiyonları	23
Şekil 3.2 Gazlaştırma prosesi.....	28
Şekil 3.3 Türkiye yağ pazarı	35
Şekil 4.1 Geri kazanım sistemleri işlem aşamaları	38
Şekil 4.2 Distilasyon kulesi	42
Şekil 4.3 Distilasyon (sıyırma) kulesi.....	43
Şekil 4.4 Ejektör ile vakum oluşturulması.....	44
Şekil 4.5 Kil ile temas.....	44
Şekil 4.6 Vakum distilasyon işlemi	45
Şekil 4.7 Vakum distilasyon kulesi.....	46
Şekil 4.8 İnce film evaporatörü.....	46
Şekil 4.9 İnce film evaporatörü çalışma prensibi	47
Şekil 4.10 Hidrojen ile muamele	49
Şekil 4.11 Süperkritik CO ₂ ekstraksiyonu	51
Şekil 4.12 UOP akış şeması.....	52
Şekil 4.13 BERK solvent ekstraksiyon prosesi.....	53
Şekil 4.14 PROP prosesi akış şeması.....	55
Şekil 4.15 Dikey levhalı filtre örnekleri	56
Şekil 4.16 Asit-Kil prosesi.....	57
Şekil 4.18 CEP prosesi akış şeması	59
Şekil 4.19 TDA prosesi.....	61
Şekil 4.20 TDA+PDA prosesi	61
Şekil 4.21 Viscolube dehidrasyon işlemi.....	65
Şekil 4.22 Viscolube TDA işlemi	66
Şekil 4.23 Viscolube hidrojen ile muamele işlemi	67
Şekil 4.24 Viscolube PDA işlemi	68
Şekil 4.25 Interline prosesi	70
Şekil 4.26 Solvent ekstraksiyon işlemi	71
Şekil 4.28 Propan sıyırma.....	73
Şekil 4.29 Buhar geri kazanım ünitesi	74
Şekil 4.30 II. Kulede dizel distilasyonu	74
Şekil 4.31 II. Kulede yağın tekrar distilasyonu	75
Şekil 4.32 I.Kule için gerekli yağ reflaksının II. kuleden alınması.....	75
Şekil 6.1 Geri kazanım tesisleri sabit yatırım giderleri	102
Şekil 6.2 100kt/yıl kapasiteli tesislere ait kâr oranları.....	102
Şekil Ek 2.1 PROP prosesi demetalizasyon işlemi.....	108
Şekil Ek 2.2 PROP prosesi sonlandırma işlemi.....	109
Şekil Ek 3.1 BERK prosesi ayrıntılı akış şeması	110
Şekil Ek 4.1 Vakum altında ince film evaporasyonu.....	111

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 En sık rastlanan sentetik yağlar ve kimyasal yapıları.....	6
Çizelge 2.2 Tipik bir benzinli motor yağının formülasyonu	10
Çizelge 2.3 Madeni yağdan üretilecek bir motor yağının formülasyonu	10
Çizelge 2.4 API baz yağ sınıflandırması	14
Çizelge 2.5 TÜPRAŞ tarafından üretilen Grup I baz yağların özellikleri.....	15
Çizelge 2.6 Exxon Mobil tarafından üretilen baz yağlara ait özellikler	15
Çizelge 2.7 Exxon-Mobil tarafından hazırlanan poli-alfaolefin baz yağlara ait özellikler	16
Çizelge 2.8 Exxon-Mobil tarafından hazırlanan poli-alfaolefin baz yağlara ait özellikler	16
Çizelge 2.9 İki tip yarı sentetik baz yağın fiziko kimyasal özellikleri	17
Çizelge 3.1 Kullanılmış Yağların Bileşenleri ve Kaynakları	25
Çizelge 3.2 İstanbuldaki kullanılmış motor yağlarının fizikokimyasal özellikleri.....	26
Çizelge 3.3 Suudi Arabistandaki kullanılmış motor yağlarının fizikokimyasal özellikleri.....	27
Çizelge 3.4 2000 yılında Avrupa Birliğinde, ülkeler bazında Tüketilen yağ miktarı, açığa çıkan ve toplanan kullanılmış yağ miktarı ile oranları	30
Çizelge 3.5 Çeşitli ülkeler için 2000 yılı kullanılmış yağ toplama maliyetleri	30
Çizelge 3.6 Avrupadaki geri kazanım tesisleri 2000 yılı verileri	31
Çizelge 3.7 Kullanılmış motor yağı toplama kotaları.....	32
Çizelge 3.8 Kullanılmış yağ kategorileri ve müsaade edilen sınır değerler	33
Çizelge 3.9 2000 yılı sonrası Türkiye yağ pazarı	35
Çizelge 3.10 Kullanılmış yağ kirletici değerlerinin karşılaştırılması	36
Çizelge 4.1 Temel geri kazanım sistemleri.....	39
Çizelge 4.1 Temel geri kazanım sistemleri.....	40
Çizelge 4.1 Temel geri kazanım sistemleri.....	41
Çizelge 4.2 Hidrojen ile muamelenin etkileri	49
Çizelge 4.3 Süperkritik ekstraksiyonun etkileri.....	51
Çizelge 4.4 CEP prosesi ürün özellikleri	60
Çizelge 4.5 Viscolube baz yağ özellikleri	69
Çizelge 4.6 Interline Resources baz yağ özellikleri.....	76
Çizelge 4.7 Farklı üreticilere ait baz yağların karşılaştırılması	77
Çizelge 4.8 100N baz yağların CEP 100N baz yağ ile karşılaştırılması.....	78
Çizelge 5.1 Tesislerin sabit sermaye yatırım giderleri	82
Çizelge 5.2 Döner Sermaye Yatırım Gideri.....	82
Çizelge 5.3 100kt/yıl kapasiteli Asit-Kil tesisinin ödeme planı	82
Çizelge 5.4 40kt/yıl kapasiteli Asit-Kil tesisinin ödeme planı	82
Çizelge 5.5 100kt/yıl kapasiteli CEP tesisinin ödeme planı	82
Çizelge 5.6 40kt/yıl kapasiteli CEP tesisi ödeme planı	83
Çizelge 5.7 100kt/yıl kapasitesli Interline tesisi ödeme planı	83
Çizelge 5.8 40kt/yıl kapasiteli Interline tesisi ödeme planı	83
Çizelge 5.9 100kt/yıl kapasiteli Viscolube tesisi ödeme planı	83
Çizelge 5.10 40kt/yıl kapasiteli Viscolube tesisi ödeme planı	83
Çizelge 5.11 Geri kazanım tesisleri yıllık amotisman değerleri	84
Çizelge 5.12 Geri kazanım tesisleri hammadde giderleri	84
Çizelge 5.13 Asit-Kil prosesi yardımcı madde ve malzeme giderleri	84
Çizelge 5.14 CEP prosesi yardımcı madde ve malzeme giderleri	84
Çizelge 5.14 Viscolube prosesi yardımcı madde ve malzeme giderleri	85
Çizelge 5.15 Interline prosesi yardımcı madde ve malzeme giderleri.....	85
Çizelge 5.16 Asit-Kil prosesi enerji giderleri	85
Çizelge 5.17 CEP prosesi enerji giderleri	85
Çizelge 5.18 Viscolube prosesi enerji giderleri	86

Çizelge 5.19 Interline prosesi enerji giderleri.....	86
Çizelge 5.20 İşçilik ve personel giderleri	86
Çizelge 5.21 Bakım ve onarım gideri	87
Çizelge 5.22 Genel giderler	87
Çizelge 5.23 Satış giderleri.....	87
Çizelge 5.24 Asit-Kil tesisi işletme giderleri (100kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)	87
Çizelge 5.25 Asit-Kil tesisi işletme giderleri (100kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)	88
Çizelge 5.26 Asit-Kil tesisi işletme giderleri (40kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)	88
Çizelge 5.27 Asit-Kil tesisi işletme giderleri (40kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)	88
Çizelge 5.28 CEP tesisi işletme giderleri (100kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)	89
Çizelge 5.29 CEP tesisi işletme giderleri (100kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)	89
Çizelge 5.30 CEP tesisi işletme giderleri (40kt/yıl ve 0\$ Hammadde Maliyeti).....	89
Çizelge 5.31 CEP tesisi işletme giderleri (40kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti).....	90
Çizelge 5.32 Interline tesisi işletme giderleri (100kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti).....	90
Çizelge 5.33 Interline tesisi işletme giderleri (100kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti).....	90
Çizelge 5.34 Interline tesisi işletme giderleri (40kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti).....	91
Çizelge 5.35 Interline tesisi işletme giderleri (40kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti).....	91
Çizelge 5.36 Viscolube tesisi işletme giderleri (100kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)	91
Çizelge 5.36 Viscolube tesisi işletme giderleri (100kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)	92
Çizelge 5.37 Viscolube tesisi işletme giderleri (40kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)	92
Çizelge 5.38 Viscolube tesisi işletme giderleri (40kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)	92
Çizelge 5.39 Asit-Kil tesisi net kârı (100kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)	93
Çizelge 5.40 Asit-Kil tesisi net kârı (100kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)	93
Çizelge 5.41 Asit-Kil tesisi net kârı (40kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)	93
Çizelge 5.42 Asit-Kil tesisi net kârı (40kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)	94
Çizelge 5.43 CEP tesisi net kârı (100kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti).....	94
Çizelge 5.44 CEP tesisi net kârı (100kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti).....	94
Çizelge 5.45 CEP tesisi net kârı (40kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti).....	95
Çizelge 5.46 CEP tesisi net kârı (40kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti).....	95
Çizelge 5.47 Interline tesisi net kârı (100kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti).....	95
Çizelge 5.48 Interline tesisi net kârı (100kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti).....	96
Çizelge 5.49 Interline tesisi net kârı (40kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti).....	96
Çizelge 5.50 Interline tesisi net kârı (40kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti).....	96
Çizelge 5.51 Viscolube tesisi net kârı (100kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)	97
Çizelge 5.52 Viscolube tesisi net kârı (100kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti).....	97
Çizelge 5.53 Viscolube tesisi net kârı (40kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti).....	97
Çizelge 5.54 Viscolube tesisi net kârı (40kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)	98
Çizelge 5.55 Geri kazanım tesisleri geri ödeme süreleri	98
Çizelge 5.56 Geri kazanım tesisleri baz yağ üretme maliyetleri	98
Çizelge 5.57 Geri kazanım tesisleri kâr oranları.....	99
Çizelge Ek 5.1 Suudi Arabistandaki kullanılmış motor yağlarının ortalama değerleri	112
Çizelge Ek 5.1 İstanbuldaki kullanılmış motor yağlarının ortalama değerleri	113

ÖNSÖZ

“Kullanılmış Motor (Karter) Yağlarının Geri Kazanımı ve Ekonomik Yönden Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Makinaları Programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Geri kazanım sistemleri, tipleri ve çalışma prensipleri anlatılmıştır. Uygulanan sistemlerden örnekler verilmiş ve bu örnekler ekonomik yönden değerlendirilmiştir.

Bana bu tez konusunu öneren, danışmanım Prof. Dr. Hakan Kaleliye yardımlarından ve gösterdiği ilgiden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde önemli destek ve katkıları olan Doç. Dr. Filiz Karaosmanoğlu'na çok teşekkür ederim.

Aytemiz Petrol Madeni Yağlar Üretim Müdürü Selahattin Korkmaz'a, Pazarlama Müdürü Özlem Çalışkan'a, Etsun Madeni Yağ'dan Çetin Kayam'a, Petrofer'den Jamshed Bakht'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca İstanbul Mülkiyeliler Vakfı Genel Sekreteri Ahmet Şensılay'a, bana tez yazımı süresince bir ofis tahsis ettiği için teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak ise babam Hüseyin Ergün ve annem Gönül Ergün'e maddi ve manevi desteklerinden dolayı sonsuz teşekkürler.

ÖZET

Bu tezin amacı; kullanılmış motor yağlarının geri kazanılabilirliği ve geri kazanım yöntemlerinin ekonomikliğinin incelenmesidir. Bu amaçla öncelikle yağlar, yağ tipleri, baz yağlar, motor yağları ve sınıfları incelenmiştir. Sonrasında ise kullanılmış yağın nasıl oluştuğu; yağın nasıl eskidiği araştırılmıştır.

Geri kazanımın yapılabilmesi için, geri kazanım yapılması planlanan bölge yeterli miktarda kullanılmış yağ oluşması gerekmektedir. Bu sebeple önce Avrupa'da ve dünyada tüketilen yağın ne kadarının kullanılmış yağa dönüştüğü saptanmıştır. Daha sonra ise Türkiye'de tüketilen yağ miktarı ve oluşacak kullanılmış yağ miktarı saptanmıştır. Buna ek olarak bu konudaki yasal yönetmelikler de incelenmiştir.

Kullanılmış yağ oluşumu ve ne büyüklükte bir kaynak olduğu anlaşıldıktan sonra, kullanılmış yağ geri kazanım sistemleri; verimleri, ürün kaliteleri dikkate alınarak araştırılması amaçlanmıştır. Güncel uygulamalar olarak Interline, CEP, Viscolube şirketleri tarafından geliştirilen sistemler ile Asi-Kil sistemi seçilmiştir. Daha sonrasında ise Türkiye'de oluşacak kullanılmış motor yağı rezervi göz önüne alınarak bir tesis kapasitesinin belirlenmesi ve sistemlerinin ekonomikliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Kullanılmış yağ, atık yağ, geri kazanım, ekonomik yönden değerlendirme, ekonomik analiz

ABSTRACT

In this research work, the aim is to evaluate recycling of waste crankcase oils and the economics of the recycling technologies. Therefore, first of all oil, oil types, base oils, motor oils ve motor oil spesifications are studied.

There should be enough amount of waste oil available, at the region where the recycling operations are planned to be carried out. In this scope, waste oil generated in Europe and world, and how much of this amount turned into waste oil is determined. After that, waste oil consumed in Turkey and how much waste oil formed is determined. In addition to this regulations on this subject are investigated.

After the amount of waste oil formed is determined, waste oil rerefining systems are evaluated according to their product qualities and efficiencies. Acid-Clay system and the systems of Interline, CEP and Viscolube are chosen as present applications. Afterwards, by taking waste oil reserves into account, determining a waste oil rerefining plant capacity and evaluation of rerefining system are aimed.

Keywords: waste oil, waste lube oil, rerefining, economic evaluation

1. GİRİŞ

Kullanılmış yağ, tehlikeli bir atık yada değerli bir kaynak olabilir. Önemli olan nasıl değerlendirildiğidir. Günümüzde çeşitli değerlendirme alternatifleri vardır. Bunlar geri kazanılması, yakılması ve zararsız hale getirilmesidir. En ideal değerlendirme şekli geri kazanımdır; çünkü dünyanın petrol kaynakları sınırlıdır. Ayrıca petrol çıkaramayan veya sentetik yağ üretmeyen ülkeler için değerli bir kaynaktır. İnsanlar tarafında kullanılıp bir tarafa atılan değersiz görülen bir kaynaktır. Bu değersiz kaynağın temizlenmesi ile 1 tonu 428\$ değerinde baz yağ elde edilir. Türkiye’de kullanılmış yağ, yağı dinlendirip tekrar yağ olarak satmak veya motorinin içine katmak şeklinde değerlendirilmektedir. Bu çalışmada geri kazanım ekonomik açıdan incelenmiştir. Motor yağları ise kullanılmış yağ kaynakları içinde en büyük paya sahiptir. Dolayısı ile araştırma kullanılmış motor yağlarının geri kazanımı üzerine odaklanmıştır. Kullanılmış yağların geri kazanımı için literatürde kısıtlı kaynak bulunmaktadır. Bunlardan konu ile ilgili olan aşağıda özetlenmiştir.

Geri kazanım sistemlerinin yapısının ve ünitelerinin (distilasyon kulesi, sabit yataklı reaktörler, solvent ekstraksiyon vd.) işleyişinin daha iyi anlaşılması için, kimya mühendisliği ve prosesleri incelenmiştir. Distilasyon homojen bir sıvı karışımın buharlaştırılması sonucu teşekkül eden ve buhar fazında birden fazla komponente sahip olan karışımın, bir veya daha fazla komponentinin saf halde elde edilmesidir (Blackadder, 1971; Banchemo vd., 1972; Perry ve Green,1999).

Kullanılmış motor yağının aynı ham petrol gibi bir kaynak olduğunu anlamak, geri kazanım işleminin yaratacağı katma değeri anlamak açısından çok önemlidir. 1997 yılında Lübnan’da düzenlenen Çevre Konferansında kullanılmış yağların sadece %45’inin toplanabildiği açıklanmıştır. 1 litre baz yağ elde etmek için 67 litre ham petrol gerekirken, 1,6 litre kullanılmış yağ gerektiği belirtilmiştir (El-Fadel ve Khoury, 2001). ABD Çevre Koruma Bakanlığında yapılan açıklamada ise yılda 380 milyon galon atık yağın geri kazanıldığı belirtilmiştir (EPA, 1996). Kullanılmış yağların içindeki, kullanılmış motor yağı kaynak olarak en yüksek orana sahiptir. Bu oran çeşitli kaynaklardan alınan bilgilere göre %65 civarındadır (Ercümen, 1998).

Çeşitli geri kazanım prosesleri vardır. Bunların ilki Asit-Kil prosesidir. Asit-kil prosesi ile elde edilen ürünlerin kalitesi düşüktür (koyu renkli ve fark edilir bir kokusu vardır). Ham petrolden elde edilen baz yağ göre 4 kat fazla PAH içerir; diğer sistemlere göre verimi düşüktür (%65), asit çamuru ve killin zararsız hale getirilmesi gerekmektedir ve küçük

kapasiteli (2000 ton/yıl – 10.000 ton/yıl) tesislerdir [7]. Yapılan bir araştırmada Asit-kil prosesi ile 1 ton baz yağ elde etmenin maliyeti 350\$ olarak saptanmıştır (Ali vd., 1995). Evergreen Oil şirketinin CEP şirketi ile ortaklaşa geliştirdiği sistemde ise suyu giderilen atık yağ distile edilir ve hafif fraksiyonlar (yakıt fraksiyonları) giderilir. Sonrasında vakum altında ince film evaporatörü kullanılarak baz yağ buharlaştırılır, ağır hidrokarbonlar ise çökelti oluşturur; elde edilen baz yağa hidrojen-sonlandırma işlemi ile renk, koku, oksidasyon stabilitesi kazandırılır (Ali vd.,1995) [9]. Bu sistem ile baz yağ elde etmenin maliyeti 200\$ civarındadır (Ali vd.,1995). Viscolube tarafından uygulanan sistemde distilasyon ile ayrıştırılan su ve hafif hidrokarbonlar, vakum distilasyon (TDA) ile fraksiyonlara ayrıştırılır; oluşan çamur PDA ünitesine gönderilir ve propan ile ekstraksiyon işlemine tabi tutulur. Böylece elde edilen baz yağ miktarı artarken, oluşan çamur (tortu) miktarı ise azalır. Elde edilen baz yağ hidrojen-sonlandırma işlemi ile baz yağa renk, koku, oksidasyon stabilitesi kazandırılır. Sistemin verimi %80 olarak açıklanmıştır [25]. Viscolube şirketinin uyguladığı sistemde 110N, 150N, 400N, 500N baz yağlar elde edilmektedir [25]. Ayrıca yapılan açıklamaya göre bu sistem ile API Group II baz yağ üretmek mümkündür [25]. Philips Petroleum Co. tarafından geliştirilen PROP prosesinde DAP solüsyonu ile karıştırılan yağın içindeki metaller giderilir sonrasında ise hidro-işleme (hidrojen sonlandırma) tabi tutularak istenmeyen kükürt, nitrojen, klor bileşikleri giderilir ve renk kazandırılır. Son olarak yağ yıkanır; içinde kalmış olabilecek yakıt fraksiyonları giderilir ve böylece daha yüksek bir alevlenme noktası sağlanır. Geri kazanım işlemi sonucunda elde edilen baz yağda; %1,58 olan kül oranı %0,01'e, %0,44 olan kükürt oranı ise %0,04'e düşmüştür (Linnard ve Henton, 1979). Bartlesville Energy Research Center tarafından geliştirilen Solvent Ekstraksiyonu prosesinde 2-propanol, 1-butanol ve 1-Metiletil Keton'dan oluşan solvent atık yağ ile karıştırılarak, yağın içindeki kirleticiler giderilir; vakum distilasyon ile fraksiyonlara ayrılan yağın ise ya kil ile işleme tabi tutulması yada hidrojen sonlandırma işlemine tabi tutulması öngörülür. Wishman vd.'ye (1978) göre, elde edilen baz yağlar, ham baz yağlar ile karıştırılıyor ve 210°F'taki Kinematik Viskozite değerleri ham petrolden elde edilen baz yağ için 5,62-4,95 cSt arasında değişirken, geri kazanılmış baz yağda bu değer 5,49-5,91 cSt arasında hesaplanmaktadır. Interline Resources şirketi ise solvent ekstraksiyon prosesini, propan kullanarak gerçekleştirmektedir ve sonlandırma işlemine(hidrojen sonlandırma) ait üniteyi gerek görüldüğü takdirde kurmaktadır. Yılda 27,000 ton işleyecek bir tesis için gerekli yatırım miktarı (bu miktara hidrojen sonlandırma dahil değildir.) 3,4 milyon\$ civarındadır. Elde edilen yağ fraksiyonlarında 150N'in VI değeri minimum 95 olarak saptanmış [11]. Solvent ekstraksiyonu üzerine yapılan deneysel bir çalışmada; superkritik CO₂ ekstraksiyonu

yöntemi kullanılmıştır. Kullanılmamış yağ ile kullanılmış yağ superkritik CO₂ ekstraksiyonu ile geri kazanılmış ve özellikleri karşılaştırılmıştır. Ekstraksiyon sonucunda her ikisinin de benzer özellikler gösterdiği saptanmıştır. Örneğin; 40°C'deki kinematik viskozite değerleri kullanılmamış yağ için 56,42cSt, kullanılmış yağ için 55,47 olarak gerçekleşmiştir. Buna ek olarak bakır konsantrasyonu kullanılmış yağda 177ppm iken, ekstraksiyon sonrasında hem kullanılmış hem de kullanılmamış yağda 0ppm olarak gerçekleşmiştir [16]. Yine aynı makalede 150N baz yağ kullanılarak hazırlanan bir motor yağındaki baz yağ oranı %86 olduğu belirtilmiştir [16].

Türkiye'de satılan motor yağı miktarı 2001 yılı için 171.000 ton olarak gerçekleşirken, 2004 yılı için 196.000 ton olarak öngörülmektedir (PFC, 2002). PETDER üyesi şirketlerin 2001 satışları ise 140.967 ton olarak gerçekleşmiştir [19].

Çevre ve Orman Bakanlığı, 21.01.2004 tarihili "Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği"ne göre Motor yağı üreticileri sattıkları yağın önümüzdeki yıl %8'ini ve beşinci yıl sonunda ise %30'unu toplamak zorunluluğunu getirmiştir. Yine yönetmeliğe göre atık yağlar üç ayrı kategoriye ayrılır ve sadece I. Kategoride belirtilen özelliklere sahip atık yağların geri kazanımına izin verilmektedir (ÇOB, 2004).

2. YAĞLAR

Bu kısımda yağlar, çeşitleri, üretim yöntemleri anlatılacaktır. Kullanılmış Yağların nasıl oluştuğunu, ne tip bir kaynak olduğunu anlamak için öncelikle kullanılmamış yağın ne olduğunu ve nasıl elde edildiği incelenmiştir.

2.1 Yağlar Hakkında Genel Bilgiler

İki katı cismi birbirinden ayırmak ve sürtünme gücünü minimum seviyeye indirerek kolay hareketini sağlamak için kullanılan maddelere “yağ” veya “yağlayıcı” denir. Yağlar elde edilmişlerine göre başlıca iki grupta toplanırlar. Bunlar, “Madeni Yağlar” ve “Sentetik Yağlar”dır (Stachowiak ve Batchelor, 2000).

Madeni yağlar endüstride en çok kullanılan yağ tipidir ve petrol türevidirler. Çoğunlukla dişlilerin, yatakların, motorların ve türbinlerin yağlanması için kullanılırlar. Sentetik yağlar ise madeni yağları ikame etmek için suni olarak üretilmiş yağlardır. Madeni yağlara göre pek çok alanda üstün özelliklere sahiptirler.

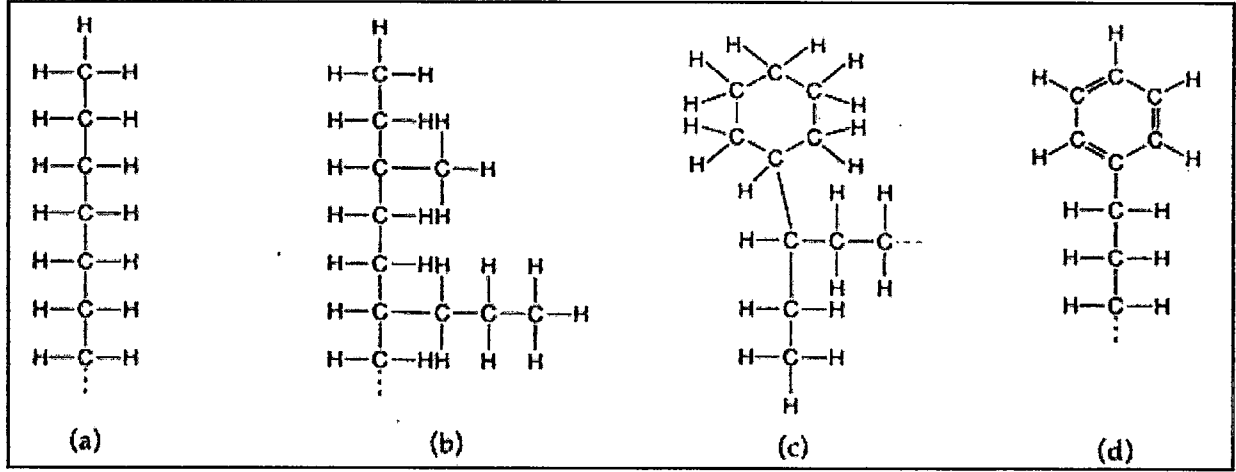
2.1.1 Madeni Baz Yağlar

Madeni yağlar ham petrolden elde edilir. Petrol ölü bitki ve hayvan kalıntılarının üzerinin zamanla örtülmesi ve basınca maruz kalmaları sonucunda oluşurlar. Madeni yağların büyük bir kısmı her bir molekülü yaklaşık 30 karbon atomu içeren moleküllerdir. Her molekül birbirine bağlanmış düz ve döngüsel zincirlerden oluşur. Bir yağ numunesi içinde, çok değişik formlarda, düz ve döngüsel zincir yapıda kompleks moleküller bulunabilir. Madeni yağlarda aynı zamanda mumlar gibi gereksiz ve kolayca okside olup organik asitler oluşturabilen moleküller de mevcuttur. Madeni yağlar elde edildikleri ham petrol kaynağına ve rafinasyon prosesine göre farklılıklar gösterirler. Madeni yağlar arasındaki temel farklılıklar; kimyasal yapısına, kükürt içeriğine ve viskozite değerine dayanmaktadır. Madeni yağlar yapı bakımından:

- Parafinik,
- Naftenik
- ve Aromatik olmak üzere

üç gruba ayrılırlar (Stachowiak ve Batchelor, 2000). Parafinikler düz zincirli hidrokarbonlar, naftenikler doymamış bağı olmayan döngüsel zincirli karbon molekülleri, aromatikler ise

benzen tipi bileşiklerdir (Şekil 2.1). Yağlar içerdikleri kimyasal yapılarının oranlarına göre sınıflandırılırlar. Örneğin; parafinik bir yağda bulunan karbon ve hidrojen atomlarının büyük bir çoğunluğu parafinik zincirler halindedir. Başka bir deyişle, yağ içinde hangi kimyasal yapı daha fazla oranda bulunuyorsa o isimle anılır.



Şekil 2.1 Madeni Yağ Tipleri (a) düz parafin, (b) dallanmış parafin, (c) naften, (d) aromatik

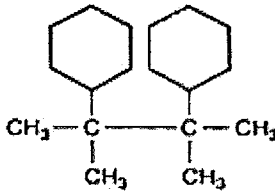
Madeni yağların içindeki kükürt oranı; elde edildiği ham petrole ve rafinasyon yöntemine göre değişir. Yağın içinde az miktarda kükürt bulunması istenir çünkü iyi bir yağlama ve oksidasyon özelliği sağlar. Yağın içinde %0.1 ile %1 kükürt bulunmasının sürtünmeyi azalttığı kanıtlanmıştır. Başka bir açıdan; kükürt oranının yüksek olmasının korozyonu hızlandırdığı da görülmüştür. Ham petrolün içindeki kükürt oranının kaynağına bağlı olarak %0 ile %8 değiştiği gözlemlenmiştir. Yağların sınıflandırılmasında kullanılan bir diğer özellik ise viskoziteleridir. Madeni yağların viskozitesi genel olarak 5 cSt ile 700 cSt arasında değişir ve bu değerlere göre sınıflandırılırlar. API tarafından yapılan baz yağ sınıflandırmasında viskozite ve kükürt oranları dikkate alınmaktadır.

2.1.2 Sentetik Baz Yağlar

Sentetik yağlar, bazı ülkelerin madeni yağ sağlamak da sıkıntı çekmesi üzerine yüzyılın başlarında geliştirilmişlerdir. Geçtiğimiz yıllarda, özellikle havacılık endüstrisinde, yüksek performanslı yağlayıcılara olan talebin artması ile birlikte; dekompoze olmadan yüksek sıcaklıklara dayanabilen, yangın tehlikesi yaratmayan sentetik yağlayıcılar geliştirilmiştir. Sentetik yağlar üç gruba ayrılır. Bunlar; sentetik hidrokarbon yağlar, hidrokarbonların silikon analogları ve organo halojenlerdir (Stachowiak ve Batchelor, 2000). Sentetik hidrokarbon yağlar, madeni yağlardan daha üstündürler ve fiyatları birbirine yakındır. Silikon analogları

veya silikonlar yüksek sıcaklık ve vakuma dayanırlar fakat adsorpsiyonları iyi değildir ve yüksek basınçta (sınır yağlama özellikleri kötüdür) iyi yağlama sağlamazlar. Organohalojenler ise, yüksek basınç ve sıcaklıklarda çalışabilirler, adsorpsiyon özellikleri iyidir; fakat oldukça pahalı yağlayıcılarıdır. Çizelge 3.1’de en sık rastlanan sentetik yağlar ve kimyasal yapıları gösterilmiştir. Sentetik yağlardan, Poli-alfaolefinler otomotiv sektöründe en çok kullanılan tiptir.

Çizelge 2.1 En sık rastlanan sentetik yağlar ve kimyasal yapıları (Stachowiak ve Batchelor, 2000)

Sentetik Hidrokarbon Yağlar	Polialfaolefinler	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_{n-1} \cdots \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$
	Diesterler	$\text{C}_8\text{H}_{17}-\text{O}-\text{CO}-\text{C}_8\text{H}_{16}-\text{CO}-\text{O}-\text{C}_8\text{H}_{17}$
	Fosfat Esterleri	$(\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O})_3\text{P}=\text{O}$
	Silikat Esterleri	$\text{Si}(\text{O}-\text{C}_8\text{H}_{17})_4$
	Poligilikal Esterler	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-(\text{---CH}_2-\text{O---CH}_2)_{n-1}-\text{CH}_2 \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{OH} \qquad \qquad \qquad \text{OH} \end{array}$
	Fluoro Esterler	$\text{F}(\text{CF}_2)_4\text{CH}_2\text{OOC}(\text{CF}_2)_4\text{F}$
	Yağ Asidi Esterleri	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C}_{13}\text{H}_{27}-\text{OC}-\text{C}_{18}\text{H}_{37} \end{array}$
	Neopentil Polioliol Esterler	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{OOC}-\text{C}_8\text{H}_{17} \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}-\text{OOC}-\text{C}_8\text{H}_{17} \\ \\ \text{CH}_2-\text{OOC}-\text{C}_8\text{H}_{17} \end{array}$
	Sikloalifatik	
Poligilikal	$\text{OH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O} \cdots \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	

Hidrokarbonların Silikon Analogları	Silikonlar	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{Si}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{O}-\text{Si}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{O}-\text{Si}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
	Silahidrokarbonlar	$(\text{C}_{12}\text{H}_{25})\text{Si}(\text{C}_6\text{H}_{13})_3$
Organo Halojenler	Perfluoro polyetherler	$\text{CF}_3-\text{CF}_2-\text{O}-\text{CF}_2-\text{CF}_3$
	Klorofluoro karbonlar	$\left[\begin{array}{cc} \text{Cl} & \text{F} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array} \right]_n$
	Klorotrifluoro etilenler	$\text{Cl} \left[\begin{array}{cc} \text{F} & \text{Cl} \\ & \\ -\text{O} & -\text{C}- \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array} \right]_n \text{Cl}$
	Perfluoropolialkil eterler	$\text{F} \left[\begin{array}{cc} \text{F} & \text{Cl} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{CF}_3 & \text{F} \end{array} \right]_n \begin{array}{c} \text{F} \\ \\ \text{O}-\text{C}-\text{CF}_3 \\ \\ \text{F} \end{array}$

2.1.2.1 Sentetik Hidrokarbon Yağlar

Yağ üreticileri tarafından üretimi desteklenen sentetik yağların birçoğu ideal yağlayıcı olmamasına rağmen, yüksek miktarlarda üretildiklerinde (örnek: motor yağları) göreceli olarak ekonomik olmaktadır. Yağ pazarının yarısını hatta yarısından da fazlasını oluşturan motor yağları pazarında, madeni yağlardan çok daha az pahalıya mal olan, buna karşılık motor performansını, dayanımını artıran ve değişim sürelerini uzatan sentetiklerin kullanımı şirketlere büyük kar sağlamaktadır. Sentetik hidrokarbon yağlar; Polialfaolefinler, esterler, sikloalifatik ve glikollar olarak sınıflandırılabilir (Stachowiak ve Batchelor, 2000).

- Polialfaolefinler veya alkenler genel formülü $(-\text{CH}_2-)_n$ olan doymamış hidrokarbonlardır. Zincirinin sonunda doymamış bir karbon bulunan düz karbon zincirinden oluşurlar. Polialfaolefinlerden üretilen yağların viskozite indeksleri 130 ve akma noktaları da -30°C civarında olabilir. En çok otomotiv sektöründe kullanılırlar.
- Esterlerin bağ enerjileri yüksektir dolayısı ile ısı dayanımları yüksektir. Oksidasyon

stabiliteeri yüksek, viskozitenin scklk ile değişimi düşüktür. Çok değişik eşitleri vardır. Bunlardan biri olan Diesterler (ift bazlı asit esterler) yağlama özellikleri (oksidasyon, viskozite indeksi vs.) bakımından Polialfaolefinlere benzerler fakat daha yüksek scklklarda kullanılabilirler. Daha çok uçak motorlarında kullanılmışlardır. Günümüzde ise çalışma scklğı 250°C bulan poliol esterler, diesterlerin yerini almaktadır. Bir diğer ester rneği ise fluoro esterlerdir. Fluoro esterler yüksek oksidasyon stabilitesine, düşük alevlenme noktasına sahip olduğu için hidrolik sıvı olarak kullanılmaktadır. Esterler uçak motorları, hidrolik sistemler, manyetik bantlar, disket sürücüleri ve otomotiv gibi birçok alanda kullanılırlar.

- Alkil naftalenler, naftalenlerin olefinler ile alkilasyonu sonucunda elde edilirler. Termal ve oksidasyon stabiliteeri çok yüksektir. Kompresör yağı, hidrolik sıvısı, motor yağı, yüksek scklk dişli ve yatak yağları, yüksek scklk greslerin yapımında kullanılabilirler. Akma noktaları -36°C'nin altında ve alevlenme noktaları ise 220°C'nin üstündedir. Polialfa olefinler ile karıştırılarak sentetik baz yağ olarak kullanılabilirler. Mobil tarafından üretilen alkile naftalenler 74-109 arasında viskozite indeksine sahiptirler. Termal stabiliteeri kinematik viskozitedeki yüzdesel değişim olarak %0.4 ile 1.1 arasındadır [2].
- Sikloalfatikler, yüksek basınç-viskozite katsayısına sahip oldukları için elasto hidrodinamik temasta çekiş gücünü (sabit bir yzeeye temas ederek harekete geçen bir cismin o yzeeye temasında oluşan sürtünme kuvveti) artırılırlar. Daha çok tekstil ve bilgisayar endüstrisinde kullanılırlar.
- Poliglikoller, ilk olarak fren sıvısı olarak kullanılmışlardır. Bazı poliglikol tiplerinin viskozite indeksleri 200'den yüksek ve akma noktaları -50°C'den düşüktür. Fakat oksidasyon stabiliteeri diğer sentetik yağlayıcılara göre çok düşüktür. En çok tekstil endüstrisinde (iz bırakmadığı için) veya fırın taşıyıcı sistemlerinde (yanınca tortu veya kl bırakmadığı için) kullanılır.

2.1.2.2 Hidrokarbonların Silikon Analogları

Silikon analogları tamamen farklı bir sentetik yağ tipidir. Çok geniş bir çalışma scklğı aralığı ve yüksek kimyasal stabiliteye sahiptirler. İki temel sınıfa ayrılırlar; silikonlar ve silahidrokarbonlar. Silikonlar, silahidrokarbonlardan farklı olarak, yapılarında oksijende bulundururlar (Stachowiak ve Batchelor, 2000).

- Silikonlar, mükemmel termal ve oksidasyon stabilitesine sahiptirler, viskozite-scklk karakteristikleri iyidir, uçuculukları ve yüzey gerilimleri düşüktür. Silikonlar -50°C ile 370°C arasında çalışabilirler ve viskozite indeksleri de 300'e yakındır. En çok askeri

ekipmanlarda kullanılırlar.

- Silahidrokarbonlar, oksijenin olmadığı ortamlarda termal bozunmaya karşı çok dayanıklıdır ve uzay hidrolik sistemlerinde kullanılmak üzere tasarlanmışlardır.

2.1.2.3 Organo Halojenler

Organohalojenlerin termal ve oksidasyon stabiliteleri oldukça iyidir. Bu yağlayıcılar geliştirilmeden önce, hava ve oksijen kompresörlerinde yağlayıcı olarak sülfürik asit kullanılırdı. En çok kullanılan tipleri: perfluoro polietilerler, klorofluoro karbonlar, klorotrifluoro etilenler ve perfluoropoliialkil eterlerdir (Stachowiak ve Batchelor, 2000).

- Perfluoro polyetherler, yüksek sıcaklık uygulamaları için en çok gelecek vaad eden yağlayıcılar arasındadır. Oksidasyon stabiliteleri 320°C, termal stabiliteleri ise 370°C civarındadır. Hidrolik sıvısı, gaz türbini yağlayıcısı ve bilgisayar hard disk yağlayıcısı olarak kullanılırlar.
- Klorofluoro karbonlar, çok pahalı yağlayıcılar oldukları için uygulama alanları çok kısıtlıdır. Mükemmel oksidasyon ve termal stabilitelerinin yanında viskozite-sıcaklık karakteristikleri oldukça zayıftır.
- Klorotrifluoro etilenler, oldukça iyi termal ve oksidasyon stabilitesine sahiptirler; bunun yanında zehirsizdirler. Viskozite indeksleri çok düşüktür, 27 civarındadır.
- Perfluoropoliialkil eterler, çalışma sıcaklığı aralığı geniştir, viskozite indeksleri yüksektir. Diğer halojenlerde de olduğu gibi termal ve oksidasyon stabiliteleri yüksektir. Minimum çalışma sıcaklıkları -60°C ve viskozite indeksleri 200 civarındadır. Oksijenin az olduğu, vakumlu, ortamlarda ince film yağlamasını sağlarlar.

2.2 Baz Yağ Üretimi ve Sınıflandırılması

Bir önceki bölümde baz yağlar ve çeşitleri anlatıldı. Bu bölümde ise nasıl elde edildikleri anlatılacaktır. Baz yağ denmesinin sebebi, yağ üretimi sırasında yağda bazı katkı maddeleri katılır. Elde edilen son ürüne ise yağlama yağı denir. Baz yağ ise üretilen yağda katkı maddeleri dışında yağlayıcı olarak kullanılan yağda denir. Tipik bir motor yağının baz yağ ve katkı maddesi oranları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Tipik bir benzinli motor yağının formülasyonu [16]

Bileşenler	Hacimsel %
Baz Yağ (150 SN)	86
Deterjan Katığı	4
Deterjan İnhibitörü	1
Çok fonksiyonlu katık (dispersan, akma noktası düşürücü, viskozite indeksi artırıcı)	4
VI İyileştirici	5

Madeni yağlardan yapılan motor yağlarına ait ağırlıksal karışım oranları ise Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3 Madeni yağdan üretilecek bir motor yağının formülasyonu (Korkmaz, 2004)

Bileşenler	Ağırlıksal %
Baz Yağ (150 SN + 500SN)	80 ~ 92,9
DI Paketi (deterjan, dispersan, antioksidant, aşınma önleyici)	12 ~ 2
VI İyileştirici	7,5 ~ 5
Akma Noktası Düşürücü Katık	0,5 ~ 0,1

Sentetik yağlar ile Madeni yağların üretim şekilleri birbirinden ayrıdır. Özellikle madeni yağların elde edilmesi sırasında uygulanan rafinasyon teknikleri ile geri kazanım teknikleri arasında büyük benzerlikler vardır. Bunun sebebi; madeni yağlar doğal bir kaynak olan ham petrolün işlenmesi (rafinasyonu) ile elde edilir. Aynı şekilde kullanılmış yağlarda bir kaynaktır ve rafinasyona ihtiyacı vardır.

Sentetik veya madeni olsun baz yağlar API tarafından sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma viskozite indeksi, doymuşluk oranı ve kükürt konstrasyonuna göre yapılmaktadır.

2.2.1 Madeni Baz Yağ Üretimi

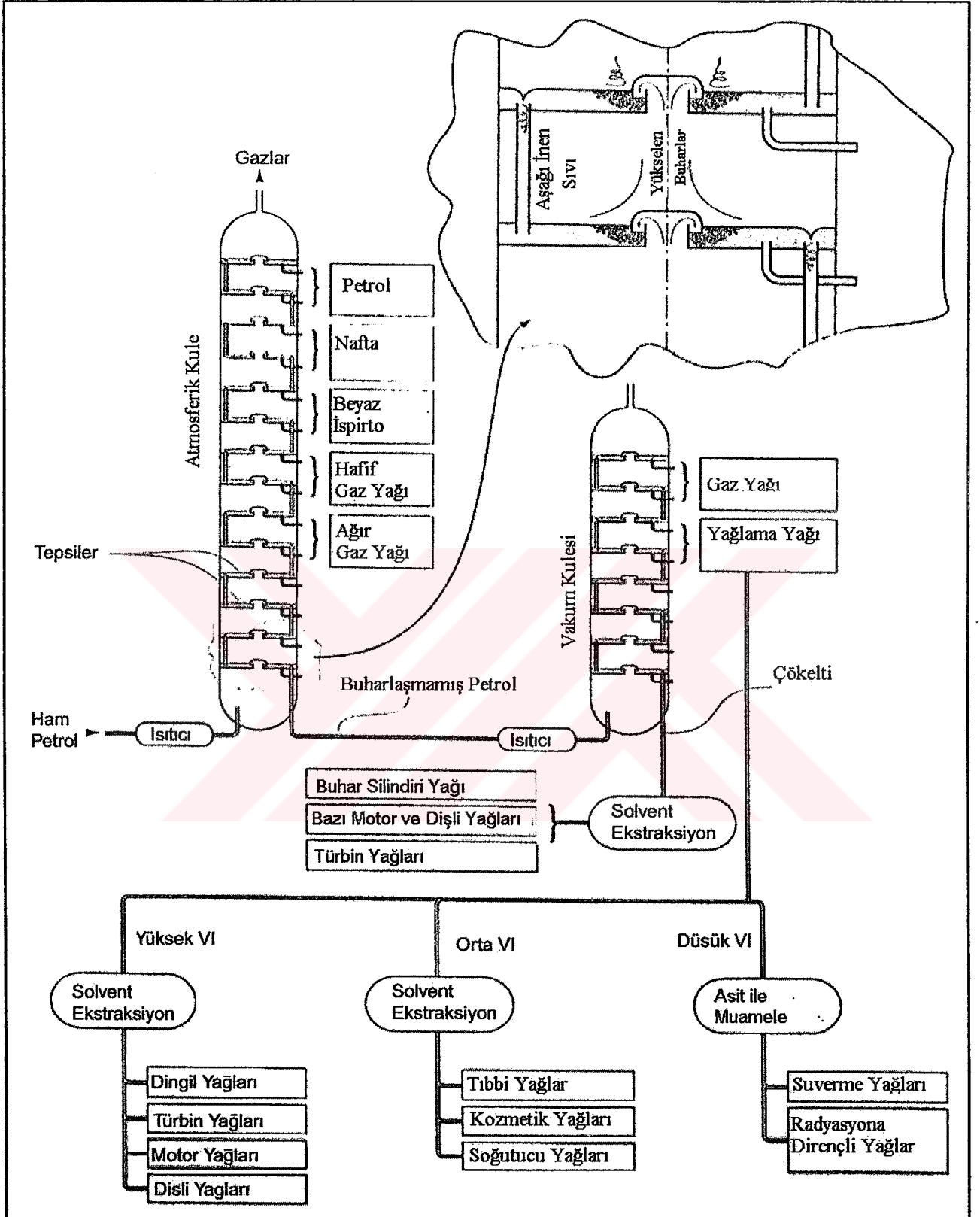
Madeni baz yağlar ham petrolün rafinasyonu ile elde edilir. Ham petrol fraksiyonel distilasyon adı verilen bir distilasyon işlemi ile çeşitli fraksiyonlara ayrılır. Fraksiyonel distilasyon işlemi; ham petrolün buhar haline gelecek şekilde ısıtılması ve bu buharın, belli konumlarda tepsileri olan dikey bir kuleden geçirilmesidir. Kaynama sıcaklığı belli bir seviyedeki tepsinin sıcaklığına denk gelen fraksiyon yoğuşur. Kulenin üst kısımlarında sıcaklık daha düşük olacaktır. Başka bir deyişle uçucu fraksiyonlar üst tepsilerde yoğunlaşırken, kaynama sıcaklıkları yüksek olan fraksiyonlar alt tepsilerde yoğunlaşır. Ham petrol ön-ısıtma işlemine tabi tutulurken eğer sıcaklık kontrol edilmez ve çok yükselir ise koklaşma meydana gelir. Bu problem ise kulede vakum uygulayarak çözülür. Vakum düşürüldüğünde ağır fraksiyonlar daha düşük sıcaklıklarda koklaşma olmadan buharlaşır ve fraksiyonlara ayrıştırılmış olur.

Madeni yağların ve diğer petrol ürünlerinin distilasyonu atmosferik basınçta ve düşük basınçta da (vakum altında) gerçekleşir. Atmosferik basınçta elde edilen fraksiyonlar, artan kaynama sıcaklığına göre, sırası ile; gaz, benzin, kerosen, nafta, dizel, yağlama yağı ve tortu şeklindedir. Atmosferik kolondan alınan buharlaşmamış tortu (çökelti) vakum kulesine alınır ve ısıtılır. Yine tepsilerde distilatlar (fraksiyonlar) yoğuşur ve vakum pompaları ile kuleden çekilir. Bu işlemde, artan kaynama sıcaklığına göre, sırası ile; gaz yağı, yağlayıcı fraksiyonu ve tortu elde edilir. Ham petrol distilasyonu ile madeni yağlara geçiş Şekil 2.2 ile gösterilmiştir.

Vakum distilasyondan sonra yağlama yağı distilatları çeşitli işlemlerden geçirilirler. Bu işlemlerin amaçları yüksel moleküler ağırlığa sahip mumları, aromatik hidrokarbonları, kükürt ve nitrojen içere bileşikleri gidermektir. Mumlar yağın daha yüksek sıcaklıklarda katılaşmasına, aromatikler sıcaklıkla beraber yağın viskozitesinin düşmesine sebep olur, kükürt ve nitrojen bileşikleri ise korozyonu ve aşınmayı artırabilir.

Madeni baz yağ üretim işleminin aşamaları (atmosferik distilasyondan sonra) aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Vakum distilasyon,
- Propan ile asfalttan arındırma (PDA): Vakum distilasyon ile elde edilen yağlama yağı bir PDA ünitesine gönderilebilir; solvent olarak kullanılan propan, parafinik hidrokarbonları bünyesine alarak diğer asfaltik fraksiyonların çökmesini sağlar.



Şekil 2.2 Ham petrolden madeni yağ eldesi (Stachowiak ve Batchelor, 2000)

- Furfurol ile solvent rafinasyonu (viskozite indeksi ve oksidasyon stabilitesi artırılır): Furfurol madeni yağların içerisindeki istenmeyen kükürt bileşikleri, reçineler, renkli maddeler ile oksijene karşı stabil olmayan petrol komponentleri çözme kabiliyeti yüksektir. Bu komponentler kompleks dışına ekstrakt olarak atılır. Furfurol ile ekstraksiyon sonrasında Viskozite indeksi ve oksidasyon stabilitesi artar.
- Mumdan arıtma: Yağdaki mumun ayrıştırılması MEK/toluen karışımı kullanılarak gerçekleştirilir. MEK/toluen ile karıştırılan yağ, hafifçe soğutulur ve böylece mum kristalleri oluşur. Bu kristaller ise filtrasyon ile yağdan ayrıştırılır, böylece akma noktası düşürülmüş olur. Bir sonraki işlem ise hidrojen ile muameledir.
- Hidrojen ile arıtma : Hidrojen ile muamele sonucunda yağın molekül yapıları yeniden düzenlenerek renk ve oksidasyon stabilitesi artırılır, kükürt miktarı düşürülür.

Günümüzde asit ile muamelenin yerini hidrojen ile muamele almıştır. Yağın sülfürik asit ile muamele edilmesi sadece çok yüksek saflıkta (örneğin: ilaç sektöründe kullanılmak üzere) yağlar elde edilmek istendiğinde söz konusudur. Rafinasyon sırasında uygulanacak işlemler ham petrole ve istenen ürünlere göre değişiklikler gösterebilir. Bu işlemler sonucunda çeşitli tiplerde madeni baz yağ elde edilir. Baz yağ tipleri bölüm 2.2.3'te açıklanacaktır.

2.2.2 Sentetik Baz Yağ Üretimi

Sentetik yağlar sentetik hidrokarbonlar, hidrokarbonların silikon analoglar, organo halojenler olmak üzere üç grupta ele alınmıştır. Sentetik yağların üretim yöntemleri de bu sırayla verilmiştir (Stachowiak ve Batchelor, 2000).

Sentetik hidrokarbon yağlar petrol moleküllerinin parçalanması sonucu oluşan düşük moleküler ağırlığa sahip hidrokarbonlardan türetilirler. Bu parçalama işlemine "kraking" denir. Yüksek basınç ve katalizörler ile işleme tabi tutulan büyük ve kompleks petrol molekülleri, daha basit ve küçük moleküller haline alır. Bu düşük moleküler ağırlıklı hidrokarbon molekülleri, polimerizasyon ile düşük uçuculuk ve yüksek viskozite değerlerine sahip yağlayıcılar haline getirilirler. Polimerizasyon işlemi çok sıkı kontrol edilen koşullar altında gerçekleştirilir; aksi halde katı polimerler yani polimerin karşıtı olan oligomerler üretilir. Bu yöntem özellikle Polialfaolefinlerin üretiminde kullanılır. Esterler ise alkolün organik veya inorganik asitlerle tepkimeye sokulması ile elde edilir.

Hidrokarbonlarının silikon analogları, silikonlar ve silahidrokarbonlar olmak üzere iki tiptir. Silahidrokarbonlar organometaliklerden ve silikon tetraklorürden sentez yolu ile elde edilir.

Silikonlar öncelikle metil klorürle (CH_3Cl), 380°C 'de bakır katalizörlerin varlığında, tepkimeye sokulur ve dimetil-silikon-klorür ($(2\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$) elde edilir. Sonrasında ise hidroklorik asit ile tepkimeye sokularak klorür radikalleri giderilir, silikon oluşur. Nötralize edilen ve suyu giderilen silikonlar polimerizasyon ile bitmiş ürün halini alır.

Organo halojenler, hidrojen gazının basınç altında ve 250°C sıcaklık mertebelerinde, alüminyum oksit veya çinko klorür katalizörler varlığında, metan veya hidrojen klorür ile tepkimeye sokulması sonucu elde edilir. Proses sırasında düşük moleküler ağırlıklı organo halojenler meydana gelir. Bunlar ise polimerizasyon ile yüksek moleküler ağırlıklı organo halojenlere dönüşür.

2.2.3 Baz Yağların Sınıflandırılması

Baz yağların sınıflandırılması Amerikan Petrol Enstitüsü (API) tarafından yapılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre 5 ayrı grup oluşturulmuştur (Çizelge 2.4) (Kapur vd., 2003). Grup I, II, III baz yağlar, farklı rafinasyon teknikleri kullanılarak elde edilen baz yağlardır. Grup I yağlar en az rafine olmuş olanlardır. Grup I baz yağlar değişik hidrokarbon zincirlerinin karışımlarıdır ve genelde solvent ekstraksiyon ile üretilirler. Grup II yağlar daha iyi oksidasyon stabilitesine sahip, alevlenme noktası daha yüksek olan baz yağlardır. Genel olarak bir hidro-işleme tabii tutularak üretilirler. Grup III yağların üretiminde mum isomerizasyonu söz konusudur. Kimyasal olarak üretilmemelerine rağmen, oldukça iyi özelliklere sahiptirler. Özellikle Amerika'da geçtiğimiz on yılda kullanımları artmıştır. Grup IV baz yağlar poli-alfaolefin bazlı sentetik yağlardır. Bu dört gruba dahil olmayan diğer yağlar Grup V'e dahil olurlar.

Çizelge 2.4 API baz yağ sınıflandırması (Kapur vd., 2003)

API Baz Yağ Grupları	Doymuş Yapıdaki Bileşenlerin Miktarı (Ağırlık %.si)	Kükürt Konsantrasyonu (Ağırlık %.si)	Viskozite İndeksi
Grup I	< %90	> %0,03	$80 \leq \text{VI} < 120$
Grup II	\geq %90	\leq %0,03	$80 \leq \text{VI} < 120$
Grup III	\geq %90	\leq %0,03	$\text{VI} \geq 120$
Grup IV	Polialfaolefinler (PAO)		
Grup V	Diğer bütün baz yağlar		

Yağların viskozite indeksi, kükürt konsantrasyonu, oksidasyon stabilitesi, akma noktası gibi

özellikleri Grup I'den III'e doğru giderken iyileşir. Doymuşluk oranı arttıkça oksidasyon stabilitesi artar. Baz yağın kimyasal kompozisyonu, yağın fizikokimyasal özelliklerini dolayısı ile bitmiş ürünlerin Şirketler ürettikleri baz yağları adlandırırken "Spindle Oil", "Light Neutral", "Heavy Neutral", "Bright Stock" gibi tanımlar kullanırlar veya 100, 150, 300, 500 gibi numaralar verirler. Bu numaralar baz yağın 100°F'taki Saybolt Universal Second cinsinden kinematik viskozite değeridir. Saybolt Universal Second, SUS veya SSU olarak gösterilir. Çizelge 2.5 TÜPRAŞ tarafından üretilen, motor yağı yapımında kullanılan Grup I baz yağların özellikleri belirtilmiştir. Çizelge 2.6'da ise ExxonMobil'in ürettiği madeni baz yağların özellikleri belirtilmiştir. ExxonMobil tarafından üretilen madeni baz yağların kükürt konsantrasyonları ile ilgili bir bilgiye rastlanamamıştır. Sentetik baz yağlara ait özellikler de ExxonMobil'den temin edilmiştir. Motor yağlarında en çok kullanılan sentetik baz yağ tipi Polialfaolefinlerdir. Çizelge 2.7 ve 2.8'de ExxonMobil tarafından hazırlanan poli-alfaolefin baz yağlara ait özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 TÜPRAŞ tarafından üretilen Grup I baz yağların özellikleri

Özellikler	Spindle Oil Baz Yağ	Light Neutral Baz Yağ	Heavy Neutral Baz Yağ	Bright Stock Baz Yağ
Renk	1,5 maks.	2,0 maks.	2,5 maks.	5,0 maks.
Alevlenme Noktası, °C	180	220	246	292
Akma Noktası, °C	-15	-12	-9,4	-9,4
Kinematik Viskozite, cSt				
40°C	-	-	-	-
100°C	3,3-4,0	5,2-5,7	10,8-11,6	33-36
Viskozite İndeksi	95	100	95	90

Çizelge 2.6 ExxonMobil tarafından üretilen baz yağlara ait özellikler (Korkmaz, 2004)

Özellikler	AP/E Core 100	AP/E Core 145	AP/E Core 150	AP/E Core 600	AP/E Core 2500
Renk	0,5	0,5	0,5	1	3
Alevlenme Noktası, °C	216	234	220	272	294
Akma Noktası, °C	-18	-15	-13	-6	-6
Kinematik Viskozite, cSt					
40°C	19,96 cSt	27,29 cSt	30,76 cSt	115,4 cSt	-
100°C	-	-	-	-	31,27 cSt
VI	99	105	101	96	95

Çizelge 2.7 ExxonMobil tarafından hazırlanan poli-alfaolefin baz yağlara ait özellikler [8]

Özellikler	SpectraSyn4	SpectraSyn5	SpectraSyn6	SpectraSyn8	SpectraSyn10
Renk	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Spesifik Gravite (15,6/15,6°C)	0,820	0,824	0,827	0,833	0,835
Alevlenme Noktası, °C	220	240	246	260	266
Akma Noktası, °C	-66	-57	-57	-48	-48
Kinematik Viskozite, cSt					
40°C	19	25	31	48	66
100°C	4,1	5,1	5,8	8	10
VI	126	138	138	139	137

Çizelge 2.8 ExxonMobil tarafından hazırlanan poli-alfaolefin baz yağlara ait özellikler [8]

Özellikler	SpectraSyn 40	SpectraSyn 100	SpectraSyn Ultra 150	SpectraSyn Ultra 300	SpectraSyn Ultra 1000
Renk	<0,5	<0,5	0,5	0,5	0,5
Spesifik Gravite (15,6/15,6°C)	0,850	0,853	0,850	0,852	0,855
Alevlenme Noktası, °C	281	283	≥265	≥265	≥265
Akma Noktası, °C	-36	-30	-33	-27	-18
Kinematik Viskozite, cSt					
40°C	396	1240	1500	3100	10000
100°C	39	100	150	300	1000
VI	147	170	218	241	307

Çizelge 2.7’de gösterilen sentetik baz yağlar; uzun değiştirme süreleri, yüksek yakıt ekonomisi, gelişmiş aşınma koruması ve geniş çalışma sıcaklığı aralığından dolayı özellikle motor yağı üretiminde baz yağ olarak sıkça kullanılır. Çizelge 2.8’de adı geçen SpectraSyn 40 ve 100 isimli sentetik yağlar ise dişlilerde, türbinlerde, kompresörlerde yağlayıcı olarak kullanılabilirler. SpectraSyn Ultra 150, 300 ve 1000 ise diesel otomobil ve ağır iş makinelerinde tam sentetik, yarı sentetik motor yağı yapımında, türbinlerde, endüstriyel dişli ve yataklarda yağlayıcı olarak kullanılabilir.

2.3 Motor Yağları ve Çeşitleri

Motor yağları motoru yağlamak, kompresyonu sağlamak, motoru soğutmak, ve motoru temizleme görevlerini yerine getirir. Madeni veya sentetik baz yağlar tek başlarına kullanıldıklarında üzerlerine düşen bütün görevleri yerine getiremezler. Bu sebeple baz yağlara çeşitli katkı maddelerinin belirli oranlarda harmanlanması ile gerekli özellikleri kazanır ve motor yağı haline alabilir. Bir motor yağının %80 ile %85 baz yağından oluşur. Motor yağı çeşitlerini belirlerken API tarafından yapılan servis sınıflandırması kullanılabilir; veya kullanılan baz yağ tipine göre de motor yağı çeşidi belirlenebilir.

2.3.1 Kullanılan Baz Yağa Göre Motor Yağı Çeşitleri

Kullanılan baz yağa göre motor yağları üç çeşitten oluşur. Bunlar; tam sentetik, yarı sentetik ve madeni motor yağlarıdır.

- **Tam Sentetik Motor Yağları:** Formülasyonu sırasında baz yağ olarak sadece sentetik yollarla üretilen yağların kullanılması ile oluşur. Motor yağı yapımında en çok kullanılan tipleri, kullanım çokluğuna göre sırası ile Polialfaolefinler, Esterler ve Alkile Naftalenlerdir.
- **Yarı Sentetik Motor Yağları:** Baz yağ olarak sentetik ve madeni yağların belirli oranlarda karıştırılarak elde edilen baz yağlara verilen isimdir. Madeni ve sentetik yağların karışım oranı 7:3'ü geçmez. Çizelge 2.9'da 7:3 oranında hazırlanmış madeni yağ ve PAO sentetik yağ karışımı yarı sentetik baz yağların özellikleri verilmiştir. Çizelge 2.9'da bahsi geçen yarı sentetik yağlar Voelkel ve Fall tarafından yapılan deneysel bir araştırma için hazırlanmışlardır.

Çizelge 2.9 İki tip yarı sentetik baz yağın fizikokimyasal özellikleri (Voelkel ve Fall, 2003)

Özellikler	200SN / PAO-6	400SN / PAO-8
Kinematik Viskozite, cSt		
40°C	37,33	65,08
100°C	6,19	8,74
VI	113	106
20°C'de Yoğunluk, g/cm ³	0,8567	0,8661

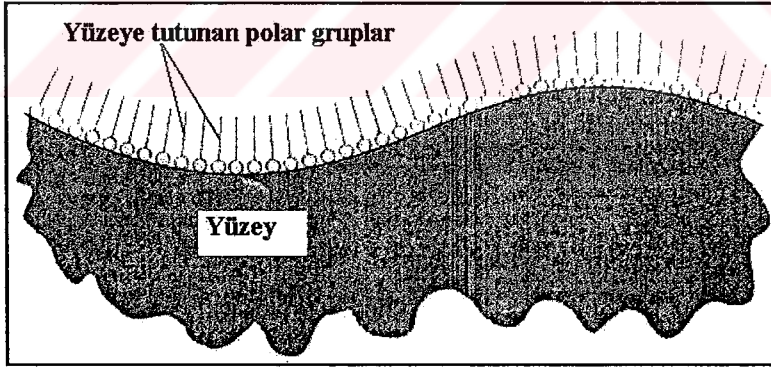
- **Madeni (Madeni) Motor Yağları:** Ham petrolün rafinasyonu sonucu elde edilen madeni yağların baz yağ olarak kullanılması ile elde edilir. Madeni motor yağı üretiminde genel

olarak 150SN veya Light Neutral olarak adlandırılan madeni yağ kullanılır. SN kısaltması “Solvent Neutral” anlamına gelir. Solvent Nötr yağlar parafinik fraksiyonların rafinasyonu ile elde edilen yağlardır. Daha öncede belirtildiği gibi “150” sayısı 100°F’ta SUS cinsinden kinematik viskozite birimidir.

2.3.2 Motor Yağı Üretiminde Kullanılan Katkı Maddeleri

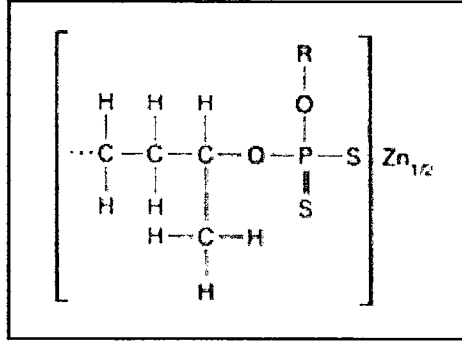
Katkı maddeleri baz yağın sahip olduğu bir özelliği iyileştiren veya ona yeni bir özellik kazandıran kimyasal bileşiklerdir. Katıkların amaçları; aşınma ve sürtünmeyi azaltmak, oksidasyonu direncini artırmak, korozyonu kontrol etmek, sıcaklık ile viskozitenin aşırı derecede düşmesini önlemek, motor içinde oluşacak kirlenmeyi kontrol etmek, akma noktasını düşürmek ve köpük oluşumunu engellemektir. Aşağıda katkı maddeleri ve özellikleri kısaca açıklanmaktadır.

- **Sürtünme Düzenleyici Katıklar:** temas halindeki yüzeyler tutunarak sürtünme katsayısını düşürürler. Çoğunlukla yağ asitleri, esterler veya yağ asitlerinin aminlerinden üretilirler. Molekülün bir ucunda polar grup (-OH) bulunur, bu sayede yüzeye tutunarak yüzeyde bir film oluştururlar. 80°C ile 150°C arasındaki değerlerde; katkı maddesinin tipine bağlı olarak; etkilerini kaybederler. Düşük sıcaklık ve yüklerde etkilidirler. Yüzeye nasıl tutundukları Şekil 2.3 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Adsorpsiyon mekanizması (Stachowiak ve Batchelor, 2000)

- **Aşınma Önleyici Katıklar:** sürtünme düzenleyicilerin etkili olmadığı sıcaklıklarda çalışmak üzere üretilmiş katkı maddeleridir. Motor yağlarında en çok kullanılan aşınma önleyici çinko dialkilditiofosfattır. Bu katkı maddesi yüzeye kimyasal olarak tutunur. Bu katkı maddesinin yeterli olmadığı basınç ve sıcaklıklarda aşırı basınç katığı kullanılır. Şekil 2.4 çinko dialkilditiofosfat’ın kimyasal yapısını göstermektedir.



Şekil 2.4 Çinko dialkilditiofosfatın kimyasal yapısı (Stachowiak ve Batchelor, 2000)

- **Aşırı Basınç Katıkları:** bu katıklar çok aşırı basınç veya çok yüksek hızlarda çalışan metal yüzeylerde aşınmayı önlemek amacı ile üretilmişlerdir. Kükürt, iodin veya klorür içerirler. Metal yüzeyde bir koruyucu katı bir tabaka oluşturur. Bu film yüzeydeki pürüzleri kapatarak sürtünmeyi dolayısı ile de aşınmayı düşürürler. En çok kullanılan aşırı basınç katıkları dibenzilkükürt, fosfokükürtize isobütan, trikloroasetan ve klorine parafindir.
- **Oksidasyon Önleyici Katıklar:** yağ havanın olduğu bir ortamda ısıtılır ise oksidasyon meydana gelir. Oksidasyon sonucunda yağın viskozitesi ve yağın içindeki organik asitlerin konsantrasyonu artar. Oksidasyon sonucunda da sıcak metal yüzeylerde vernik oluşumu meydana gelebilir. Motor yağı üretiminde en çok kullanılan oksidasyon önleyici katkı maddesi ZnDDP'dir (çinko dialkilditiofosfat). Oksidasyon önleyiciler yağda ağırlıkça %1 ile %2 oranında katılırlar.
- **Korozyon Önleyici Katıklar:** korozyon katı maddelerinin, oksidasyon ürünlerinin, yüksek sıcaklığın ve suyun neden olabileceği korozyonu önlemek amacı ile kullanılır. Korozyon önleyici bileşikler; metal ditiofosfatlar, sülfonatlar, metal ditiokarbonatlar ve daha birçok bileşikten oluşur.
- **Dispersan ve Deterjan Katıklar:** yanma sonrası oluşan asitleri nötralize ederler; motorun hareketli parçalarında vernik oluşumunu önlerler; ve karbon tortuları ile çeşitli patiküllerin toplanmasını, aglomerasyonunu (yığılmasını) önleyerek yağ kanallarının tıkanmasını engellerler. En çok kullanılan dispersan ve deterjan katkı maddeleri süksinimitler, aminler ve sülfonik, fenol veya salisilik asitlerin kalsiyum, baryum veya çinko tuzlarıdır.
- **Viskozite İndeksi Artırıcı Katıklar:** yağların film oluşturma yetenekleri sıcaklık arttıkça azalan bu özelliği iyileştirirler. VI artırıcılar genellikle yağın içinde çözünebilir, yüksek moleküler ağırlıklı ve sıcaklık arttıkça küresel şekilleri lineer hal alabilen katkı maddeleridir. Poli metakrilatlar en tipik VI artırıcılardır. Çok dereceli yağların üretilmesinde kullanılırlar. VI artırıcılar yakıt ve yağ tüketimini azaltırlar ve soğukta

çalışmayı kolaylaştırırlar.

- Akma Noktası Düşürücü Katıklar: Yağlama yağları düşük sıcaklıklarda mum kristalleri oluşturabilecek düz zincir hidrokarbon moleküllerinden oluşur. Bunu önlemek için akma noktası düşürücüler kullanılır ve temelde VI artırıcı bileşikler ile aynırırlar.
- Köpük Önleyici Katıklar: yağın havadan kolayca ayrılması ve köpürmemesi için kullanılır. Köpürmeye sisteme sızan hava neden olur. Köpürme ise pompalara zarar verir ve güç kaybına neden olur. Genel olarak silikon polimerleri köpük önleyici olarak kullanılırlar. Yağın içine %0,05 ile %0,5 arasında değişen oranlarda katılırlar. Bu katkı maddesinin miktarı çok önemlidir çünkü fazla olursa etkisi azalır.

2.3.3 API'ye Göre Motor Yağı Çeşitleri

Piyasada bulunan motor yağlama yağlarının çeşitliliği nedeni ile, motor yağı seçimini kolaylaştırmak için özel bir servis sınıflaması geliştirilmiştir. API tarafından ilk yapılan sınıflandırma 1972 yılına kadar kullanılmıştır. Sonrasında ise API, ASTM ve SAE ortaklaşa tekrar bir servis sınıflandırması yapmıştır. Bu sınıflamaya göre, motor yağları Otto ve Diesel Motoru yağları olmak üzere başlıca iki gruba ayrılır. (Karaosmanoğlu vd., 1995) [17]

2.3.3.1 Otto Motor Yağları

Otto motor yağları "S" harfi ile ifade edilir. Bu serinin ilk sınıfı "S" den sonra gelen "A" harfi ile başlar ve alfabetik olarak devam eder. İkinci harf ve ilk harf yan yana geldiğinde, başka bir tür sınıflandırmaya benzer ise o ikinci harf kullanılmaz. Örneğin "SI" diye bir sınıf yoktur.

- SA: Katıksız madeni yağlardır. Otto ve Diesel motorlarında performans testi ve katık istemeyen çok hafif şartlarda kullanılırlar. Bu kategori yağlar ancak araç üreticisinin tavsiyesi ile kullanılabilir.
- SB: Hafif şartlarda çalışan Otto motorlarda kullanılırlar. 1930'lardan sonra kullanılmaya başlanmışlardır. Minimum çamurlaşma istenen durumlarda, oksidasyon, aşınma ve yatak korozyonu önleyici katık bulunan yağlardır. Ancak araç üreticisinin tavsiyesi ile kullanılabilirler.
- SC: 1964-1967 yılları arasında üretilmiş arabalar ve bazı kamyonlar dahildir. Yüksek sıcaklık farklarından dolayı oluşan tortuların kontrolü, aşınma korozyon ve paslanmanın önlenmesi için kullanılır.
- SD: 1968-1970 yıllarında üretilmiş binek arabalar ve hafif kamyonların dahil olduğu servistir. Aynı zamanda 1971 ve daha sonraki modellerde de araç üreticilerinin tavsiyeleri ile bu servis için üretilmiş yağlar kullanılmaktadır. SC tipi yağlara göre yüksek sıcaklık

farklarından dolayı oluşan tortulara, aşınma, korozyon ve paslanmaya karşı daha dirençlidirler.

- SE: 1972 model benzinli motorlarda, SD'nin sağladığında daha iyi özellikler istendiğinde kullanılır. Bu yağlar oksidasyona, pas ve korozyona karşı daha dayanıklıdır.
- SF: 1980 yılı başında çıkan, ağır şartlara dayanıklı, uzun ömürlü, MIL-L46152 Amerikan askeri şartnamesine uygun, SE sınıfına göre oksidasyon kararlılığı ve aşınma önleme özellikleri geliştirilmiş yağlardır. Bu kategorideki yağlar; SE, SD, SC seviyelerindeki yağların yerine de kullanılabilirler.
- SG: Araç üreticilerinin bakıma ilişkin önerileri doğrultusunda, 1999 yılında yayınlanan ve benzinli araçlar için geliştirilen bir servistir. Bu seviyede üretilen yağların tortu oluşumunu engelleme kabiliyetleri, oksidasyon ve aşınma dirençleri artırılmıştır. Bu yağlar SF, SF/CC, SE veya SE/CC seviyelerindeki yağların yerine kullanılabilirler.
- SH: 1993 yılı sonrasında üretilmiş binek arabalar ve hafif kamyonlar için geçerlidir. SG sınıfının özelliklerinden daha iyi ve gelişmiş özellikler sahiptir ve SG sınıfının yerine kullanılabilir.
- SJ: 1997 yılı sonrasında üretilmiş binek arabalar ve hafif kamyonlar için geçerlidir. SH ve daha önceki servis kategorilerini tavsiye eden motorlarda kullanılabilir.
- SL: Bu kategori yağlarda tortu oluşumu kontrolü ve yağ tüketimi değerleri iyileştirilmiştir. SJ kategorisi yağları kullanan araçlar SL kategorisini de kullanabilir. Otto motorların için en gelişmiş yağ tipi SL'dir.

2.3.3.2 Diesel Motor Yağları

Diesel motor yağları "C" harfi ile ifade edilir. Aynı otto motorları için yapılan sınıflandırmada oluğu gibi ikinci harf "A" ile başlar ve alfabetik olarak devam eder.

- CA: Hafif hizmet diesel motorlarında, hafif ve orta servis şartlarında iyi kalite yakıt kullanan ve normal aspirasyonlu motorlarda, düşük kükürtlü motorinle çalışan motorlarda, yatak korozyonu ve tortu oluşumu istenmeyen şartlarda, aşınmaya karşı fazla korunmayı gerektirmeyen motorlar için geçerlidir. 1940-1950 yılları arasında üretilen araçlarda kullanılabilirler.
- CB: Yüksek kükürtlü yakıtların kullanıldığı, doğal havalandırılmalı dizel motorlar için üretilen bu yağlar yatak korozyonuna, contalarda oluşabilecek tortulara karşı gerekli korumayı sağlar.
- CC: Orta ve ağır şartlarda çalışan doğal havalandırılmalı, turbo şarjlı ve süper şarjlı diesel motorlar ile ağır şartlarda çalışan bazı benzinli motorların yer aldığı kategoridir. Yüksek

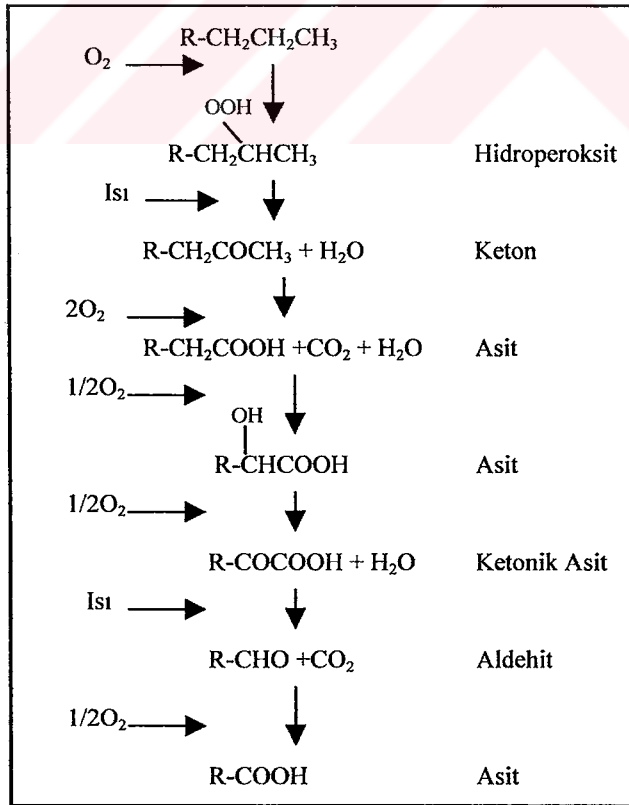
sıcaklıkta tortu oluşumuna, yatak korozyonuna ve pas oluşumuna karşı koruma sağlar.

- CD: Aşınma ve tortu oluşumu kontrolünün yüksek olduğu, yüksek kükürtlü yakıtlarda dahil olmak üzere geniş bir yelpazede yakıt kullanabilen doğal havalandırmalı, turboşarjlı ve süperşarjlı diesel motorlar için geliştirilmiştir.
- CD-II: Etkin aşınma ve tortu oluşumu kontrolünün gerekli olduğu iki zamanlı motorların yer aldığı servistir. API CD seviyesindeki tüm performans şartlarını sağlarlar.
- CE: 1984'ten beri geçerliliğini sürdüren bu yağlar, CD kategorisindeki yağlara göre; yağ eksilmesini, kalınlaşmasını, piston depozitlerini ve aşınmayı daha iyi kontrol etmektedir.
- CF: bu kategori arazi araçları, endirekt enjeksiyonlu diesel motorları ve %0,5'in üzerinde kükürt içeren yakıtları kullanan diesel motorları da dahil olmak üzere çeşitli diesel yakıtı kullanan diesel motorlarından kullanılabilir. Piston depozitlerinin, aşınmanın ve korozyonu etkili bir biçimde kontrolünü sağlarlar. CD veya CE'nin tavsiye edildiği motorlarda kullanılabilirler.
- CF-2: 2 zamanlı diesel motorlarda kullanılır. Piston ve segmanlardan meydana gelebilecek kazıma aşınmasını ve tortu oluşumunu etkili bir biçimde kontrol ederler. CD-II'nin tavsiye edildiği motorlarda kullanılabilir.
- CF-4: 4 zamanlı diesel motorlarda düşük emisyon vermesi amacı ile hazırlanmıştır. CE kategorisi için gerekli özellikleri aşar. CC, CD ve CE yağların yerine kullanılabilir. 1991 yılından itibaren kullanılan ve Caterpillar, Detroit Diesel gibi uluslararası motor imalatçıları tarafından kabul edilen yağdır.
- CG-4: Yüksek hızda, 4 zamanlı diesel motorlarda, düşük kükürt (%0,05 ile %0,5 arası) oranına sahip yakıtların kullanıldığı tüm ağır hizmet şartlarında kullanılan yağlardır. Aşınma, korozyon, köpürmeyi kontrol eder, oksidasyon stabilitesi yüksektir ve kurum birikimini engeller. CD, CE, CF-4 kullanılması gerekli motorlarda kullanılabilir. 1994 yılında kullanılmaya başlanmıştır.
- CH-4: 1998 emisyonları standartlarını karşılayan 4-zamanlı motorlarda kullanılan yağlardır. Bu sınıf yağlar ağırlıkça %0,5'e kadar kükürt içeren diesel yakıtları kullanan motorlar için üretilmiştir. Bu yağlar aşınma kontrolü, yüksek sıcaklık stabilitesi, kurum dağıtma özellikleri ile motor dayanıklılığını artırır. Ayrıca korozyona, kalınlaşmaya, köpürmenin neden olduğu viskozite kaybına karşı optimum koruma sağlarlar.
- CI-4: 2004 egzoz emisyon standartlarını karşılayan, dört zamanlı, yüksek devirlerde kullanılan yağlardır. Kükürt içeriği ağırlıkça %0,5'e varan tüm diesel yakıtlı uygulamalar için hazırlanmıştır. Korozif kurum kontrolü, piston depozit oluşumu, oksidasyon ve yağ sarfiyatı özellikleri diğer yağlara göre daha da gelişmiştir.

3. KULLANILMIŞ MOTOR YAĞLARI ve ATIK OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1 Yağın Eskimesi

Günümüzde üretilen çok dereceli motor yağları, VI artırıcılar, oksidasyon önleyiciler, aşınma önleyiciler ve daha birçok katkı maddesi içerirler. Fakat bir yağın eskimesini kontrol eden en önemli malzeme baz yağdır. Baz yağın özellikleri bozunma karakteristiklerini belirleyici etki yapar. Viskozite değeri arttıkça yağın bozunma sıcaklığı da yükselir. Yağın bozunması hidrokarbonların oksidasyonu ile olur. Oksidasyonun ilk reaksiyonu; hidrokarbon moleküllerinin termal olarak aktive olmuş hali olan, radikallerin (R) oluşmasıdır. İkinci reaksiyon ise peroksitlerin oluşmasıdır. Peroksit radikalleri reaktif bileşiklerdir ve oksidasyon oranını belirlerler. Oksidasyon sırasında oluşan asit ise oksidasyon reaksiyonlarını daha da hızlandıracaktır. Sonuç olarak denebilir ki oksidasyon kendi kendini hızlandıran bir reaksiyondur. Reaksiyonlar sonucunda hidrokarbon molekülleri asit, keton, alkol molekülleri haline gelebilir. Bunlar ise yoğunlaşarak yüksek moleküler ağırlıklı bileşikler haline alır. Bileşikler tortu, depozit oluşturarak yağ kanallarının tıkanmasına yol açabilir. Oksidasyon reaksiyonları Şekil 3.1 ile gösterilmiştir. (Stachowiak ve Batchelor, 2000)



Şekil 3.1 Oksidasyon reaksiyonları

Oksidasyon hızı sıcaklık, yağ ile temas eden metaller, yağın içindeki su ve oksijen ve iyonlaştırıcı radyasyondan etkilenir. Özellikle sıcaklığın oksidasyon üzerindeki etkisi çok fazladır. Örneğin sıcaklıktaki 10°C'lik bir artış oksidasyonu 3 kat hızlandırabilir. Metalik aşınma partiküllerinin yağ içinde bulunması da yağın oksidasyonunu hızlandırır. Yapılan çalışmalarda anlaşılmıştır ki; demir oksidasyonu hızlandırırken, yağın içinde yüksek miktarlarda bakır bulunması oksidasyonu sınırlamaktadır. Yağın içinde 2000 ppm seviyelerinde bakır bulunmasının oksidasyonu engellediği saptanmıştır. Bununla beraber, kullanılmış yağın içindeki bakır konsantrasyonunun maksimum 100 ppm seviyelerinde olduğu bilinmektedir. Oksidasyon yağın demir ile temas etme şekline bağlı olarak da değişmektedir. Temas; metal yüzey ile yağ arasında olabileceği gibi aşınma tortusu veya yağ içinde çözülmüş metaller ile de olabilir. Örneğin; yağın içinde çözülmüş demir bulunması oksidasyonu yağın içinde partikül halinde bulunan demirden çok daha fazla etkiler. Yağın içinde çözülmüş olarak bulunan kurşun ise yüksek moleküler ağırlıklı bileşiklerin oluşmasına neden olmaz. Yağın içinde çözülmüş olarak bulunan oksijende oksidasyon oranına etki eder. Bu sebeple yağlama sistemleri geliştirilirken köpük oluşumunun minimum seviyede tutmak amaçlanır. Son olarak radyasyon serbest radikallerin oluşmasına sebep olduğu için oksidasyonu artırır. Oksidasyon kullanılmış motor yağı oluşumunda en önemli etkidir.

Yağın eskimesine sebep olan diğer faktörler ise:

- Hava içinde bulunan tozların, pasın yağa karışması
- Yanma sonucunda oluşan egzoz gazlarının, benzin, motorin ve yanma sonucunda oluşabilecek toluenin yağa karışması,
- Son olarak da motorda soğutucu sıvı olarak kullanılan su ve antifrizin yağa karışmasıdır.

3.2 Kullanılmış Motor Yağları

EPA'ya göre kullanılmış yağ; ham petrolün rafinasyonu ile elde edilmiş yağ veya sentetik yağların kullanım sonrasında, fiziksel veya kimyasal kirleticiler ile eskimesi sonucunda oluşan yağdır. Hayvansal veya bitkisel kaynaklı yağlar bu tanımın dışında bırakılmıştır.

Avrupa birliğine göre ise atık kullanılmış yağ; depolama tanklarında bulunan yağimsi tortular, yağlı sular ve emülsiyonlar da dahil olmak üzere, kısmen veya tamamen madeni veya sentetik yağlardan oluşan, herhangi bir kullanılmış yarı-sıvı veya sıvıdır. Avrupa birliğine göre atık yağların %65'lik kısmını kullanılmış motor yağları oluşturmaktadır. Avrupa birliğinden yapılan açıklamaya göre ise dünyada oluşan atık yağların sadece %44'ü toplanabilmektedir.

Kullanılmış yağların geri kazanabilirliği tartışılırken en önemli noktalardan biri de kullanılan yağların fizikokimyasal özellikleridir. Kullanılmamış yağda meydana gelen değişiklikleri görmenin dışında, kullanılan yağların geri kazanılıp kazanılamayacağını bu özellikler belirler. Kullanılmış yağın içinde bulunabilecek maddeler, ppm cinsinden değerleri ve olası kaynakları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu çizelgede yer alan değerler her tür yağlama yağı dikkate alınarak hazırlanmıştır. Başka bir deyişle bir atık bir motor yağında bu bileşenleri hepsi bulunmayabilir.

Çizelge 3.1 Kullanılmış Yağların Bileşenleri ve Kaynakları [7]

Bileşen	Miktar (ppm)	Kaynağı
Al	11-1112	Yatakların aşınması sonucunda açığa çıkabilir.
As (arsenik)	0,5-67	
Kül	0,4-0,64	
Ba	<100	Deterjan katıklarından gelir.
Benzen, Toluen, Ksilen	300-700	Bu kısa zincirli hidrokarbonlara kullanılan yağ içinde rastlanabilir.
Ca	1000-3000	Deterjan katıklarından gelir.
Cd	1-22	
Cl	184-1500	Transformatör yağlarından, katkı maddelerinden, kurşunlu benzine katılan kurşun temizleyicilerden kaynaklanabilir.
Cr	2-89	Motor aşınmasından kaynaklanır.
Cu	11-183	Yatakların aşınması sonucunda açığa çıkabilir.
Fe	100-500	Motor aşınması sonucunda açığa çıkar.
Halojenür	500’e kadar	
Hg	1-11	
Mg	100-500	Deterjan katıklarından gelir.
Ni	2-8	Motor aşınmasından kaynaklanır.
Naftalinler	9,7-470-2300	Ham petrolden gelir.
P	500-1000	Oksidasyon ve aşınma önleyici katıklardan kaynaklanır.
PAH	20,3-204-1000	Ham petrol ve birçok petrol ürünü Pah içerir. Aynı zamanda yanma sonucunda da oluşurlar.
PCB	0,5-50	Avrupa Atık Yağ Yönetmeliğinde izin verilen maksimum değer 50 ppm’dir.
Pb	8-1200	Kurşunlu benzin veya yatak aşınmasından kaynaklanır.
Si	50-100	Katkı maddeleri veya aşınma kaynağıdır.
Solventler	-	Solventler atık yağın bir parçası değildir. Fakat atık yağların saklandığı tanklara boşaltılmaları söz konusudur.
Zn	120-4080	Oksidasyon ve aşınma önleyici katıklardan kaynaklanır.
S (Ağırlık %’si)	%0,1-%2,8	Baz yağdan veya yanmadan kaynaklanır.
Su (Ağırlık %’si)	%5-%10	Yanma sonucunda karışabilir, yada sonradan yağ karışabilir.

Kullanılmış yağlar aynı ham petrol gibidir; nasıl ham petrol bölgeden bölgeye değişiklikler gösteriyor ise, kullanılan yağda bölgeden bölgeye değişiklik gösterir. Çizelge 3.3 Suudi Arabistan’da yapılan bir araştırmaya ait 20 adet numunenin fizikokimyasal özelliklerini,

Çizelge 3.2 ise İstanbul'da yapılan bir araştırmaya ait 13 adet numunenin fizikokimyasal özelliklerini göstermektedir (Ali vd., 1995; Ercümen, 1998).

Çizelge 3.2 İstanbul'daki kullanılmış motor yağlarının fizikokimyasal özellikleri

Kinematik Viskozite, cSt		VI	Kül Miktarı (g/l)	Spesifik Gravite 15,6°C/ 15,6°C	Su miktarı (Ağırlık %'si)	Elementler, ppm				
40°C	100°C					Pb	Zn	Cu	Fe	Cr
145,22	19,45	153	11,2	0,9025	0,0961	2902,5	1430,0	12,5	100	150,0
137,77	24,54	212	13,4	0,8861	0,0800	1992,0	375,0	0,0	200	155,0
145,60	24,09	198	12,9	0,9015	0,0000	2765,0	325,0	7,5	75	137,5
172,57	24,85	177	20,9	0,9095	0,0575	5747,5	682,5	22,5	100	142,5
155,40	21,51	164	17,0	0,9049	0,0631	4947,5	747,5	17,5	150	152,5
130,78	19,99	176	12,4	0,8949	0,0000	1100,0	1125,0	10,0	175	115,0
124,84	21,35	198	11,2	0,9035	0,0000	1922,5	162,5	7,5	150	125,0
121,20	18,85	175	15,7	0,9013	0,0595	2760,0	2562,5	2,5	125	107,5
136,71	21,66	186	12,5	0,8976	0,0329	0,0000	781,2	0,0	100	63,7
114,59	18,39	179	15,7	0,897	0,0253	2380,0	1750,0	12,5	50	110,0
138,53	19,23	158	13,9	0,9035	0,0640	4057,5	625,0	20,0	75	110,0
139,06	20,97	176	15,1	0,9016	0,0730	1832,5	195,0	17,5	125	120,0
147,12	20,37	161	13,9	0,9024	0,0122	3307,5	780,0	10,0	175	115,0

Çizelge 3.3 Suudi Arabistan'daki kullanılmış motor yağlarının fizikokimyasal özellikleri

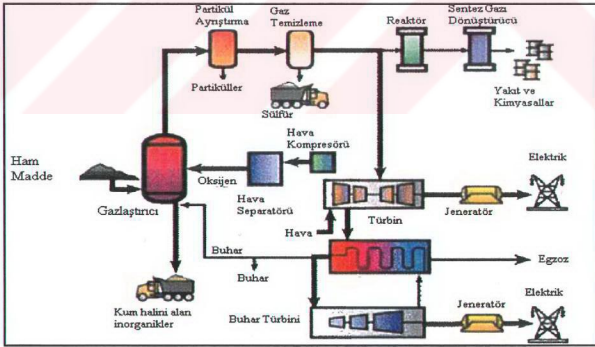
Kinematik Viskozite, cSt		VI	Spesifik Gravite 15,6°C/ 15,6°C	Elementler, ppm								
40°C	100°C			Fe	Cr	Cu	Mg	Ni	Pb	Zn	Ca	Ba
134,4	15,7	122	0,9030	538	41	2,5	225	7,0	3125	775	1070	4,9
135,7	16	124	0,9020	350	40	3,5	230	5,0	3250	905	2625	5,0
141,81	16,09	119	0,9080	800	44	2,0	204	3,5	3225	725	675	5,0
155,7	17,6	124	0,9075	700	46	2,0	262	6,5	3375	750	1312	5,0
137	16	123	0,9035	150	54	2,0	405	7,5	5375	812	2250	5,0
137,1	15,9	122	0,9030	912	70	2,5	187	5,0	4375	770	1162	5,0
164,3	17,5	116	0,9100	462	48	2,0	450	4,0	4750	950	1750	6,3
141,81	16,96	130	0,9020	700	53	3,0	225	5,0	4625	938	2375	7,8
149,2	16,59	119	0,9065	650	54	3,0	225	4,0	4500	962	2500	6,3
150,4	16,97	122	0,9080	500	54	2,5	375	4,5	2625	925	2250	6,2
122,6	15,25	129	0,9032	310	35	1,5	245	3,5	3750	820	1650	3,0
142,1	16,39	123	0,9067	320	34	1,5	240	3,5	3800	800	1700	3,5
140,4	15,9	119	0,9062	580	45	2,0	290	3,0	4100	850	2050	3,5
133	15,45	120	0,9057	420	40	1,5	240	3,5	3700	820	1600	3,0
139,5	14,3	100	0,9047	655	50	2,5	410	4,0	5050	960	2650	4,5
148	16,44	118	0,9032	180	24	1,5	185	2,5	3100	745	1150	2,0
118,7	14,68	126	0,9057	195	30	1,5	220	3,0	3450	780	1450	2,5
121,1	14,65	123	0,9047	560	40	1,5	310	3,0	4100	750	1650	3,0
141,4	15,49	113	0,9050	530	42	1,5	315	3,0	4050	780	1750	3,0
142,25	16,1	119	0,9040	520	40	1,5	320	2,5	4050	800	1700	3,0

3.3 Kullanılmış Yağların Atık Olarak Değerlendirilmesi

Kullanılmış motor yağı geri kazanılıp baz yağ olarak kullanılabilirdiği gibi başka yöntemler ile yakıt veya başka ürünlerin üretilmesinde de kullanılabilir. Geri kazanıma veya yakıt olarak

kullanılmaya uygun olmayan atık yağlar ise zararsız hale getirilir. Atık yağ genelde çimento fabrikalarında yakıt olarak kullanılır. Kullanılmış yağın geri kazanımı, çeşitli rafinasyon yöntemleri kullanarak kullanılmış yağların baz yağ olarak geri kazanılmasıdır. Aşağıda diğer atık yağ değerlendirme alternatifleri sıralanmıştır.

- Termal Kıraking: Basınç altında büyük karbon moleküllerinin (30 karbonlu C_xH_y molekülleri) ısı ile küçük karbon molekülleri (10-18 karbonlu C_xH_y molekülleri) haline getirilmesi işlemidir. Bu işlem ile ağır fuel oil, gaz yağı vs. elde edilebilir. Yılda 50.000 ton işleyecek böyle bir tesisin yatırım maliyeti 13 milyon €'dur.
- Gazlaştırma: karbon içeren maddelerin, çoğunlukla H_2 ve CO 'dan oluşan sentez gazına dönüştürülmesi işlemidir. Bu gaz daha sonra elektrik üretiminde veya petrokimya ürünleri üretiminde kullanılabilir. Bu işlem için kullanılan ham maddeler; petrol bazlı bileşikler, gazlar ve kullanılmış yağ gibi atıklardır. Gazlaştırıcıya gönderilen ham madde, oksijen ve buhar ile yüksek basınç ve sıcaklıkta reaksiyona girerek sentez gazını oluşturur. Sentez gazının %85'ini CO ve H_2 ; geri kalanını ise CO_2 ve CH_4 oluşturur. Gazlaştırıcıdaki yüksek sıcaklık ile inorganik maddeler iri taneli kum halini alır. Bu madde ise inşaat sektöründe kullanılabilir. Dünyada 100 tane şirket tarafından uygulanmaktadır. Yalnız çok büyük ölçekli olması halinde karlılık sağlanabildiği için artık fazla tercih edilen bir alternatif değildir. Şekil 3.2 ile gazlaştırma işlemi şematik olarak gösterilmiştir. [10]



Şekil 3.2 Gazlaştırma prosesi [10]

- Prosese tabi tutarak yakma: İki tip prosese mümkündür. İlki, ağır prosesdir. Bu işlemde atık yağın yakılabilir kısmı ile metaller, kül, kir, tortu içeren alt fraksiyonlar ayrıştırılır. Ayrıştırma işlemi için kimyasal (asit/kil, solvent ekstraksiyon gibi) prosesler, sonlandırma

işlemi olmadan) prosesler veya termal prosesler kullanılır. Elde edilen ağır fuel oil denizcilikte kullanılan diesel motorlarında veya ısıtıcılarda kullanılabilir. İkinci proses ise orta ağır procestir. Basit bir temizleme işlemidir. Sadece su ve katı partikülleri ayrıştırmayı amaçlar. Özellikle Belçika ve Fransa'da yol yapımında kireç taşının kurutulmasında yakıt olarak kullanılır. Kömürle çalışan termik santrallerde yanmayı başlatmak amacı ile de kullanılabilir.

- Çimento fabrikalarında yakma: Çimento fabrikalarında yakıt ve elektrik kullanımı değişken giderlerin %70'ini ifade eder. Yakıt olarak; kömür, ağır fuel oil, gazlar ve ikincil sıvı yakıtlar kullanılabilir. İkincil sıvı yakıtlar arasında kullanılmış yağda vardır. Fransa'daki çimento fabrikalarında kullanılan yakıtların %9,4'ünü kullanılmış yağlar oluşturmaktadır.
- Atık imha merkezlerinde yakma: Bu merkezlerde kullanılmış yağlar yakılarak imha edilir.

3.3.1 Avrupa'daki Kullanılmış Yağlara Ait Veriler

Bu kısımda Avrupa'da oluşan kullanılmış yağ miktarı, kullanılmış yağı toplamanın maliyeti, geri kazanım yapan ülkeler ve geri kazanım oranları açıklanacaktır. Avrupa'da kullanılan yağların %35'ini endüstriyel yağlar, %65'ini ise otomotiv yağları oluşturmaktadır. Avrupa'da 1 yılda tüketilen yağ miktarı ise 4.930kt'dur. Bu miktarın yarısı yanma, buharlaşma gibi sebeplerden dolayı kaybolmaktadır. Geriye kalan %50 ise toplanabilir atık yağ miktarıdır. 1999 yılında Avrupa'da 2.405 kt kullanılmış yağ toplanmıştır. Bunun %65'ini, başka bir deyişle yaklaşık 1.600 kt'lik kısmını, kullanılmış motor yağları oluşturmaktadır.

Avrupa'da açığa çıkan kullanılmış yağı toplamada en başarılı ülkeler %85'lik oran sahip olan İngiltere, İrlanda ve Almanyadır. Almanya, aynı zamanda 1.076.149 tonluk tüketimi ile en büyük atık yağ üreticisi konumundadır. Toplanan en yüksek miktarda 460.000 ton ile Almanyadadır.

Çizelge 3.4'de 2000 yılında Avrupa Birliğinde tüketilen yağ miktarı, açığa çıkan kullanılmış yağ miktarı ve toplanan yağ miktarları gösterilmiştir. Kullanılmış yağın toplanması ve lisanslı bir tesise sevk edilmesi de bir maliyettir. İngiltere ve İsveç bu değer 30€/t iken İtalya'da 100€/t'dur. Almanya'da ise bu değer 96€/ya kadar çıkmaktadır. Çizelge 3.5'te 2000 yılına ait toplama maliyetleri ülke bazında gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 2000 yılında Avrupa Birliğinde, ülkeler bazında Tüketilen yağ miktarı, açığa çıkan ve toplanan kullanılmış yağ miktarı ile oranları (TNSC, 2001)

Ülkeler	Tüketim Miktarı (ton)	Toplanabilir Kullanılmış Yağ Miktarı		Toplanan Kullanılmış Yağ Miktarı	
		%	ton	%	ton
Almanya	1.076.149	50%	538.075	85%	460.000
Avusturya	102.400	44%	45.000	74%	33.500
Belçika	173.608	44%	76.388	79%	60.000
Danimarka	71.416	65%	46.420	75%	35.000
Finlandiya	89.194	54%	48.165	80%	38.532
Fransa	888.771	49%	435.498	56%	242.500
Hollanda	154.685	54%	83.530	72%	60.000
İngiltere	803.667	51%	409.870	86%	352.500
İrlanda	38.900	51%	19.839	86%	17.062
İspanya	496.141	45%	223.263	47%	105.000
İsveç	146.847	54%	79.297	80%	63.438
İtalya	681.100	40%	272.440	74%	200.395
Lüksemburg	10.150	50%	5.075	39%	2.000
Portekiz	113.200	55%	62.260	64%	39.620
Yunanistan	88.000	68%	60.000	37%	22.000
Avrupa Birliği	4.934.228	49%	2.405.120	72%	1.731.547

Çizelge 3.5 Çeşitli ülkeler için 2000 yılı kullanılmış yağ toplama maliyetleri (TNSC, 2001)

Ülkeler	Toplama Maliyeti (€/ton)
Almanya	57 - 96
Avusturya	-
Belçika	50
Danimarka	48,1 - 56,4
Finlandiya	53
Fransa	72
Hollanda	61
İngiltere	30,5 - 46
İrlanda	38
İspanya	25 - 38
İsveç	28,9 - 35,8
İtalya	100
Lüksemburg	-
Portekiz	-
Yunanistan	47,2

Şuanda Avrupa sadece 6 ülkede kullanılmış yağ geri kazanımı söz konusudur. Burada ilginç olan nokta yılda 352.000 ton kullanılmış yağ toplayan İngiltere’de herhangi bir geri kazanım tesisi olmamasıdır. Çizelge 3.6’da geri kazanım yapılan ülkeler, geri kazanım oranları, tesis kapasiteleri gösterilmiştir. Geri kazanım oranı; toplanan kullanılmış yağ miktarının geri kazanım tesislerinde işlenen miktarıdır (denklem 3.1).

$$\text{Geri Kazanım Oranı} = \left(\frac{\text{Geri Kazanım Tesisinde İşlenen Miktar}}{\text{Toplanan Atık Yağ Miktarı}} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Çizelge 3.6 Avrupa’daki geri kazanım tesisleri 2000 yılı verileri (TNSC, 2001)

	GKO (Ağırlık %’si)	Geri Kazanılan Miktar (ton)	Tesis Sayısı	Tesislerin Toplam Kapasiteleri (ton)
Almanya	55%	253.000	6	280.000
Belçika	50%	30.000	2	45.000
Fransa	34%	82.000	1	110.000
İspanya	16%	17.000	8	109.000
İtalya **	55%	110.000	6	239.000
Yunanistan*	100%	36.000	1	36.000

3.4 Türkiye’de Atık Yağların Değerlendirilmesi

Şuanda ülkemizde atık yağları geri kazandığını iddia eden bazı şirketler ve bazı kişiler toplamaktadır. Özellikle kullanılmış motor yağlarının geri kazanılması yapılmamaktadır. Bu işi yaptığını iddia edenlerin çoğu; kullanılmış yağı sadece bekletip içindeki tortuları çöktürmek veya kil ile muamele edip renk ve kokusunu düzeltmekten ileri gitmemektedir. Bu yağların tekrar yağ olarak satılması, motorine katılarak ucuz motorin üretilmesi veya inşaatlarda kullanılması söz konusudur.

Türkiye’de atık yağların değerlendirilmesi ile ilgili hususlar Çevre ve Orman Bakanlığının 25353 sayılı ve 21.01.2004 tarihli Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği ile düzenlenmiştir (ÇOB, 2004). Bu yönetmelik atık yağların çevreye zararını engellemek, depolanması,

* Yunanıstandaki tesis geri kazanım için kullanılan yağı Kuzey Afrika ve Suudi Arabistandan ithal etmektedir.

** 2003 yılında İtalyada sadece Viscolube’un geri kazandığı miktar 130.000 olarak gerçekleşmiştir.

taşınması, geri kazanımı ve bertaraf edilmesi (zararsız hale getirilmesi) ile ilgili hususları düzenler. Ayrıca gerekli teknik ve idari standartların oluşturulmasını da amaçlar. Yönetmelik kullanılmış yağları:

- atık yağlar
- atık motor yağları

olmak üzere iki ayrı grupta ele almaktadır. Buna göre atık motor yağları; belirli bir kullanım süresi sonucunda motorlu araçlardan kaynaklanan ve orijinal kullanım amacına uygun olmayan yağlar olarak tanımlanmıştır.

Atık motor yağı üreticileri ve ithalatçılarının çeşitli yükümlülükleri vardır. Bunlar:

- Kullanım sonrası ortaya çıkan motor yağlarını belirtilen kotalar doğrultusunda toplamak,
- Toplanması amacı ile gerekli sistemi kurmak veya kurulmasını sağlamak,
- Uygun geçici depoların belirlenmesini temin etmek,
- Geri kazanım veya bertaraf tesislerini kurmak veya kurdurtmak, kurulu tesislerden yararlanmak,
- Halkın eğitilmesi ve bilinçlendirilmesi ile ilgili gerekli çalışmaları yapmak
- Üretim miktarları, topladıkları miktarlar, geri kazanım ve bertaraf faaliyetleri ile ilgili ve gelecek hedeflerini içeren raporları bakanlığa sunmaktır.

Kullanılmamış yağı toplanmaması durumunda ise 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 15, 20 ve 21. maddelerinde belirtilen cezalar uygulanır. Kullanılmış motor yağı toplanmasına ait kotalar Çizelge 3.7 ile gösterilmiştir. İlk beş yıldan sonraki kota oranları ise yine bakanlık tarafından belirlenecektir.

Çizelge 3.7 Kullanılmış motor yağı toplama kotaları (ÇOB, 2004)

1. yıl	Üretiminin %8'i
2. yıl	Üretiminin %12'si
3. yıl	Üretiminin %20'si
4. yıl	Üretiminin %25'i
5. yıl	Üretiminin %30'u

Yönetmeliğe göre kullanılmış yağa su, solventler, PCB/PCT, toksik ve tehlikeli maddelerin

karıştırılması yasaktır. Buna ek olarak atık yağlar içlerindeki kirleticiler göz önüne alınarak 3 ayrı kategoride sınıflandırılmıştır. Farklı kategorilere ait yağlara farklı işlemler uygulanır ve birbirleri ile karıştırılmaları yasaktır. Aşağıda Çevre ve Orman Bakanlığı tarafında yapılan bu sınıflandırma açıklanmıştır.

- I. Kategori atık yağ: Atık yağlardaki PCB, toplam halojen ve ağır metal gibi kirleticiler Çizelge 3.8’de verilen sınır değerlerin altındadır. Bu kategorideki atık yağlar rafinasyon ve rejenerasyon yolu ile geri kazanıma veya Bakanlıktan lisans almış tesislerde ilave yakıt olarak kullanıma uygun atık yağlardır.
- II. Kategori atık yağ: Atık yağlardaki ağır metaller Çizelge 3.8’de verilen sınır değerlerin altındadır. Klorür ile toplam halojenler 200-2000 ppm, PCB ise 10-50 ppm arasındadır. Bu kategorideki atık yağlar Bakanlıktan lisans almış tesislerde ilave yakıt olarak kullanıma uygun atık yağlardır.
- III. Kategori atık yağ: Atık yağlardaki ağır metaller Çizelge 3.8’de verilen sınır değerlerin üzerindedir. Klorür ile toplam halojenler 2000 ppm’in, PCB ise 50 ppm’in üzerindedir. Rafinasyona uygun olmayan, yakıt olarak kullanılması insan ve çevre sağlığı açısından risk yaratan ve lisanslı tehlikeli atık yakma tesislerinde yakılarak zararsız hale getirilmesi gereken atık yağlardır.

Çizelge 3.8 Kullanılmış yağ kategorileri ve müsaade edilen sınır değerler (ÇOB, 2004)

Kirletici	Müsaade Edilen Sınır Değerler		
	I. Kategori	II. Kategori	III. Kategori
Arsenik, ppm	<5	Maks. 5	>5
Kadmiyum, ppm	<2	Maks. 2	>2
Krom, ppm	<10	Maks. 10	>10
Klorür, ppm	Maks. 200	Maks. 2000	>2000
Kurşun, ppm	<100	Maks. 100	>100
Toplam Halojenler, ppm	Maks. 200	Maks. 2000	>2000
Poliklorlubifeniller (PCB), ppm	Maks. 10	Maks. 50	>50
Parlama Noktası, °C, min.	38	38	-----

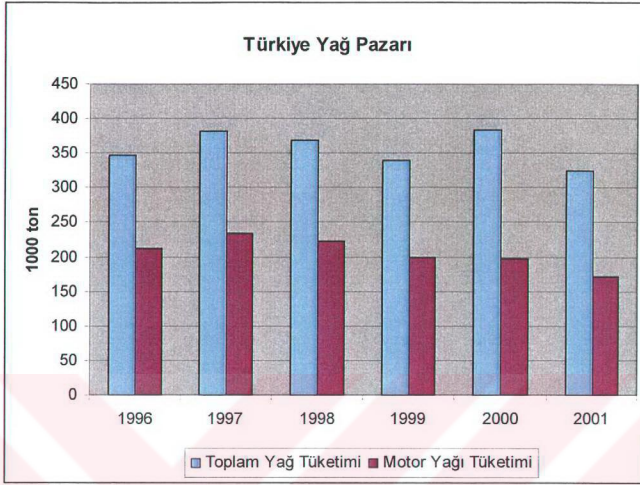
Yönetmelik aynı zamanda kullanılmış yağların taşınmasını ve depolanmasını da düzenler. Aynı araçta, aynı kap içinde taşınacak atık yağların kategorisi aynı olmak zorundadır. I., II., III. kategori yağlar için taşıyıcının ayrı araçlarının bulunması veya aynı araç içinde farklı kategorilerde atık yağın karışmadan taşınmasına uygun teknik donanımın olması gerekir. . Bu tankların içine su, benzin, fuel oil, boya, deterjan, solvent, antifiriz ve motorin gibi herhangi yabancı bir madde karıştırılmaz.

Motor yağı üreticisi, atık motor yağlarının toplanması amacıyla satış yerlerine yakın noktalarda, araç bakım-muayene servis istasyonlarında, akaryakıt satış istasyonlarında ve benzeri yerlerde atık motor yağı geçici depolama noktaları oluşturur. Atık motor yağı geçici depolama tanklarının/konteynırlarının hacmi en az 200 lt ve en fazla 1250 lt olmalı, tanklar/konteynırlar yağmur suyundan korunmalıdır.

3.5 Türkiye'nin Kullanılmış Motor Yağı Potansiyeli

Türkiye'de ortaya çıkacak kullanılmış yağ miktarı hesabında sayfa 31 Çizelge 3.4'e göre tüketilen yağın %50'sinin toplanabilir olacağı kabul edilmiştir. Türkiye'de yağ üreticileri, yabancı ve yerel olsun, özellikle ucuz ve düşük kalitede ürünler ile mücadele etmektedirler. Bu ürünlerin çoğu Türkiye'ye gizlice sokulmaktadır (çoğunlukla Irak üzerinden). Dolayısı ile Türkiye'nin yağ tüketimi yasal olarak görünenden de fazla olacaktır. Türkiye'deki yasal üreticiler iki ayrı dernek altında toplamışlardır. Bunlar PETDER (Petrol Sanayi Derneği) ve ADER'dir (Akaryakıt Dağıtıcıları Derneği). Petrol Ofisi, Shell, BPCastrol, TotalFinaElf veExxonMobil gibi büyük üreticiler PETDER'e üyedir. ADER'e ise daha küçük üreticiler olan OPET, Aytemiz ve Petline gibi üreticiler üyedir. Türkiye'de sadece madeni baz yağ üretimi vardır ve Grup I'e dahil baz yağlar üretilir. Türkiye yağ sektörüne baktığımızda 2001 yılındaki kriz sonrasında sektörün %15 oranında daraldığı ve yıllık yağ satışının 325 t olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bu rakam 2000 yılı için 384kt'du. PFC tarafından yapılan Pazar araştırmasına göre yağ satışları 1994 yılında 295 kt civarında iken bu değer 1997 yılında 381 kt'a ulaşmıştır. Pazarda 1998 ve 1999 yıllarında tekrar düşüş yaşanmış ve 2000 yılında pazar 384 kt'luk büyüklüğe ulaşmıştır (Şekil 3.3). Motor yağı tüketimi de benzer bir seyir göstermiştir. 2001 yılında motor yağı pazarında 171,1 kt'luk satış yapılmıştır. Motor yağları, toplam yağ tüketiminin, %53~%62'sini oluşturmaktadır. PETDER üyesi üreticilerin motor yağı satış miktarı 2001 yılı için 141 kt, 2003 yılı için ise 155 kt olarak açıklanmıştır. Bu da 2003 yılında satışların % 9 arttığını gösterir [19]. PETDER üyelerinin sektörün %82'sini oluşturduğu göz önüne alındığında 2003 yılı toplam motor yağı satışlarının 190 kt olarak

gerçekleştiği ortaya çıkar (PFC, 2002).



Şekil 3.3 Türkiye yağ pazarı (PFC, 2002)

PETDER üyelerinin Pazar payının değişmediği kabul edilerek 2001, 2002 ve 2003 yılı satış miktarları hesaplanmış ve Çizelge 3.9'da gösterilmiştir. 2004 yılı sonrasında ise Türkiye'de, özellikle motor yağı pazarında büyüme öngörülmektedir. 2005 yılı için beklenen büyüme %0,2'dir (PFC, 2002). 2006 ile 2010 yılları arasında ise (ekonomik büyümenin ivmelenmesi ile) büyümenin %2,8 civarında olacağı öngörülmektedir. 2005 yılı ve sonrası için tahmin edilen değerler Çizelge 3.9 ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 2000 yılı sonrası Türkiye yağ pazarı

	2000	2001	2002*	2003*	2005**	2010**
Motor Yağı Tüketimi	197 kt	171,1 kt	181,5 kt	190 kt	196 kt	205 kt

* 2002 ve 2003 yılı motor yağı tüketim değerleri, PETDER üyelerinin %82'lik satış oranına sahip olduğu esasına göre hesaplanmıştır.

** 2005 ve 2010 yılı tüketim değerleri, PFC şirketi tarafından yapılan pazar araştırması sonucunda öngörülen değerlerdir.

Bu bilgiler ışığında Türkiye’de yaklaşık olarak 200 kt’luk motor yağı tüketimi olduğu anlaşılır. Türkiye’nin kullanılmış motor yağı potansiyeli 100 kt/yıl’dır. Toplanması istenen miktar ise ilk yıl %8’dir. Bu da 16 kt’a karşılık gelir. Beş yıl sonunda toplanması öngörülen miktar ise üretimin %30’u yani 60 kt’dur. Pazarın %18,75’ini PFC’ye (2002) göre kaçak satışların oluşturduğu düşünülür ise 1 yılda oluşacak kullanılmış motor yağı miktarı 123 kt olur. Sonuç olarak hükümet, ilk beş yıllık süreç sonrasında kullanılmış yağ toplama oranını, üretimin %50’sine çekebilir.

3.6 Kullanılmış Yağların İlgili Yönetmeliğe Göre Geri Kazanılabiliirliği

Çevre ve Orman Bakanlığı sadece Kategori I kullanılmış yağların geri kazanımına izin vermektedir. Türkiye’de ve Suudi Arabistan’dan oluşan kullanılmış motor yağları ile Kategori I’in yağlardan beklenen özellikler ve Çizelge 3.1’de Avrupa Komisyonu tarafından belirtilen kirletici değerleri Çizelge 3.10’da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın yapılırken değerlendirme kriterlerinin ortalama değerleri alınmıştır. Bu işlem “Kesilmiş Ortalama” yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntem Ek 5’te açıklanmıştır.

Çizelge 3.10 Kullanılmış yağ kirletici değerlerinin karşılaştırılması

Kirletici	I. Kategori Sınır Değerleri	Suudi Arabistan Verileri	İstanbul Verileri	Avrupa Komisyonu Verileri
Arsenik, ppm	<5			0,5-67
Kadmiyum, ppm	<2	-	-	1-22
Krom, ppm	<10	43,89	125,91	2-89
Klorür, ppm	Maks. 200	-	-	184-1500
Kurşun, ppm	<100	3910	2724	8-1200
Toplam Halojenler, ppm	Maks. 200	-	-	-
Poliklorlubifeniller (PCB), ppm	Maks. 10	-	-	0,5-50
Parlama Noktası (°C)	MİN. 38	323,3	-	-

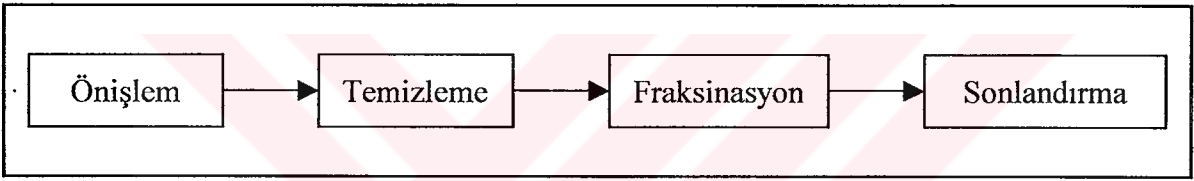
En çok dikkat çeken nokta kurşun değerindeki aşırı farktır. Bu fark kurşunlu benzin kullanımından dolayı oluşmaktadır. Yönetmelik kurşunlu benzin kullanımının sonlanacağı öngörülerek hazırlanmıştır. Mevcut verilere bakıldığında, Çevre ve Orman Bakanlığının hazırladığı yönetmeliğinin çok ağır olduğu görülür. Mevcut bu kısıtlamalarla Avrupada bile geri kazanım yapılması çok zordur. Bu sebeple yönetmeliğin tekrar gözden geçirilmesi

kesinlikle gerekir. Yağın geri kazanılması, hem yakıt olarak kullanılmasından, hem de zararsız hale getirilmesinden daha fazla değer üretir. Yönetmeliğin geri kazanım teknolojilerini teşvik edici yapıda olması yerinde olacaktır.



4. KULLANILMIŞ MOTOR YAĞI GERİ KAZANIM TEKNOLOJİLERİ

Bu kısımda geri kazanım sistemleri, avantajları ve dezavantajları ele alınacaktır. Buna ek olarak sistemlerde uygulanan ana işlemler ve çalışma prensipleri ile incelenmiştir. Şirketler tarafından uygulanmakta olan güncel uygulama örnekleri verilecektir. Bunun sebebi şirketlerin benzer teknolojileri kullanarak farklı sistemler yaratabilmeleridir. Örneğin bir sistem sadece vakum distilasyonu kullanırken, bir başka sistem solvent ekstraksiyonu prosesini kullanabilir, bir başkası ise her iki tekniği de kullanabilir. Şirketlerin dışında deneysel çalışmalar ve ekonomikliğin sağlanamaması nedeni ile terk edilen sistemler de mevcuttur. Dolayısı ile sistemlerden örnekler verilirken, uygulanan ve uygulanmayan sistemler olmak üzere iki başlık altında incelenecektir. Geri kazanım için daha çok motor yağlarının tercih edilmesi ise yağ sektörünün %65'lik bir kısmını bu yağların oluşturmasıdır. Bir geri kazanım sistemi belli aşamalardan oluşur bunlar Şekil 4.1 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Geri kazanım sistemleri işlem aşamaları

Önişlem (su giderme) ile kullanılmış yağın içinde mevcut olan su, yakıt fraksiyonları ve tortular giderilir. Temizleme işleminin bir diğer adı ise asfalt gidermedir. Bu işlemde kullanılmış yağın içinde mevcut bulunan ağır metaller, polimerler, katkı maddeleri ve bozunma sonucunda oluşabilecek diğer ürünler giderilir. Fraksinyasyon işlemi, distilasyon ile yağın kaynama noktasına göre çeşitli fraksiyonlara ayrılmasıdır. Bu işlem daha çok elde edilmek istenen ürüne göre yapılandırılır. Fraksiyonlara ayrılan yağ ise renk, koku, oksidasyon stabilitesinin iyileştirilmesi, yağda kalmış olabilecek metallerin, organik asitlerin ve kükürt, nitojen, klorür içeren bileşiklerin konsantrasyonunun düşürülmesi, ve PAH'ların giderilmesi için son bir işleme tabii tutulur. Bu işlemde genellikle kil ile muamele veya hidrojen ile sonlandırma tercih edilir. Bu aşama ürün kalitesini belirleyici rol oynar. Hidrojen ile sonlandırma işleminde uygulanacak basınç ve sıcaklığa göre ürün kalitesi değişebilir. Başka bir deyiş ile, ilk 3 aşama sonrasında uygulanan sonlandırma işlemine göre Grup I veya Grup II baz yağ elde etmek mümkündür. Çizelge 4.1 Temel Geri Kazanım Teknolojileri, işlem aşamaları, verimleri, avantaj ve dezavantajları gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Temel geri kazanım sistemleri (TNSC, 2001)

Teknoloji	Geri Kazanım İşlemleri*				Tipik Tesis Kapasitesi	Verim (%)	Avantajları	Dezavantajları
	Su Giderme	Asfalt Giderme	Fraksinasyon	Sonlandırma				
Mevcut Sistemler								
Asit - Kil	(1) ·Atmosferik Distilasyon	(2) ·Sülfürik Asit ile temas ·Kil ile temas	(3) ·Distilasyon ile fraksiyonlara ayırma ·Filtrasyon		Genelde 2 ~ 10 kt/yıl arasında değişen ufak kapasiteli tesislerdir.	65	Basit ve kontrollü kolay işlemlerden oluşur.	· Düşük ürün kalitesi. · Madeni baz yağlara göre 4~17 kat fazla PAH içerirler. · Koyu bir renge sahiptir. · Asit tortuları ve kil çevreye zarar verir.
Distilasyon - Kil	(1) Atmosferik Distilasyon	(2) Kil ile temas				50	Asit-Kil prosesine göre daha az atık kil oluşur.	·Düşük ürün kalitesi ·Düşük verim
Distilasyon - Kimyasal İşlem veya Solvent Ekstraksiyon	(1) Vakum Distilasyon (2 aşamalı)	(2) Vakum Distilasyon		(3) Kimyasal İşlem veya Solvent Ekstraksiyon	Genelde 25 kt/yıl kapasiteli orta büyüklükteki tesislerdir.	65 - 70	Bütün PAH'lar giderilmiştir.	

* İşlemlerin sırası (1), (2), (3), (4) rakamları ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Temel geri kazanım sistemleri

Teknoloji	Geri Kazanım İşlemleri				Tipik Tesis Kapasitesi	Verim (%)	Avantajları	Dezavantajları
	Su Giderme	Asfalt Giderme	Fraksinasyon	Sonlandırma				
TDA + PDA	(1) Atmosferik Distilasyon	(2) Vakum Distilasyon Sıvı Propan	(3) Hidrojen veya kil ile muamele		74-79	Yüksek Verim Yüksek Ürün Kalitesi	Pahalı bir sistem	
	(2) Atmosferik Distilasyon	(1) Sıvı Propan	(3) Vakum Distilasyon		70-79	Yüksek Verim Düşük yatırım maliyeti Düşük işletme maliyeti		
TFE (İnce Film Evaporasyonu) - Hidrojen ile muamele	(1) Atmosferik Distilasyon (buna ek olarak kimyasal bir önışlem uygulanabilir.)	(2) TFE	(4) Vakum Distilasyon	(3) Hidrojen ile muamele	72	Yüksek ürün kalitesi		
TDA	(1) Atmosferik Distilasyon + Kimyasal	(2) TDA		(3) Hidrojen veya kil ile muamele	74	Yüksek Verim Yüksek Ürün Kalitesi	Pahalı bir sistem	

Çizelge 4.1 Temel geri kazanım sistemleri

Teknoloji	Geri Kazanım İşlemleri				Tipik Tesis Kapasitesi	Beklenen Verim (%)	Avantajları	Dezavantajları
	Su Giderme	Asfalt Giderme	Fraksinasyon	Sonlandırma				
Araştırma Aşamasındaki Sistemler								
UOP Hidrojen ile Direkt Temas	(3) Atmosferik Distilasyon	(1) Hidrojen ile yüksek sıcaklıkta asfalt giderme	(4) Vakum Distilasyon	(2) Hidrojen ile muamele			Laboratuvar aşamasındadır	60.000 ton/yıl kapasiteli bir tesis için sadece hidrojen ile temas ünitesi 10 milyon \$'dır.
ENTRA	(2) Atmosferik Distilasyon	(1) Borumsu Reaktör				Yüksek		
Superkritik Ekstraksiyon	(1) Atmosferik Distilasyon	(2) Superkritik asfalt giderme	(3) Superkritik fraksinasyon			72-75	Düşük yatırım ve işletme maliyeti olması bekleniyor.	

4.1 Geri Kazanım İşlemleri

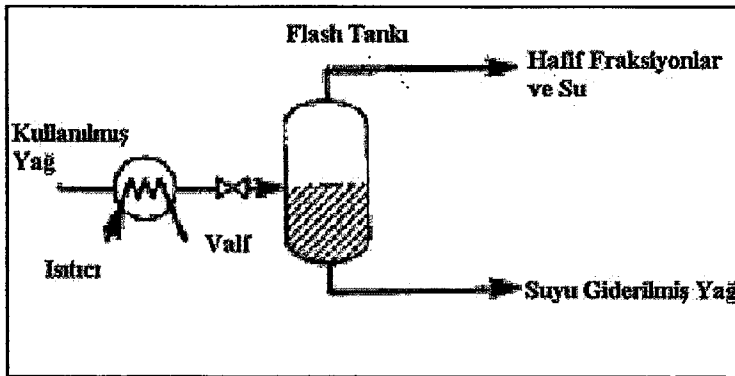
Geri kazanım sırasında uygulanan temel işlemleri dört gruba ayırdık. Bunlar Su Giderme, Asfalt Giderme, Fraksinyasyon ve Sonlandırma işlemleridir. Buna ek olarak geri kazanım tesisine gelen yağ, geri kazanıma uygun olduğu tespit edildikten sonra bir filtrasyon işlemine tabii tutulabilir. Filtre veya süzgeç kullanılabilir.

4.1.1 Su Giderme

Su giderme işleminde; su, hafif hidrokarbonlar ve yakıt fraksiyonları giderilir. Bu işlemi daha iyi anlayabilmek için öncelikle distilasyonun tanımını bilmek gerekir. Distilasyon bir karışımın buharlaştırılması sonucu oluşan ve buhar fazında birden fazla komponente sahip olan karışımın, bir veya daha fazla bileşenin saf halde elde edilmesi için uygulanan operasyonlardır. Su giderme işlemi en basit distilasyon tipidir. Genellikle atmosferik basınçta gerçekleşir. Sistemi tasarlayanlar tarafından öngörüldüğü takdirde vakum ile de yapılabilir.

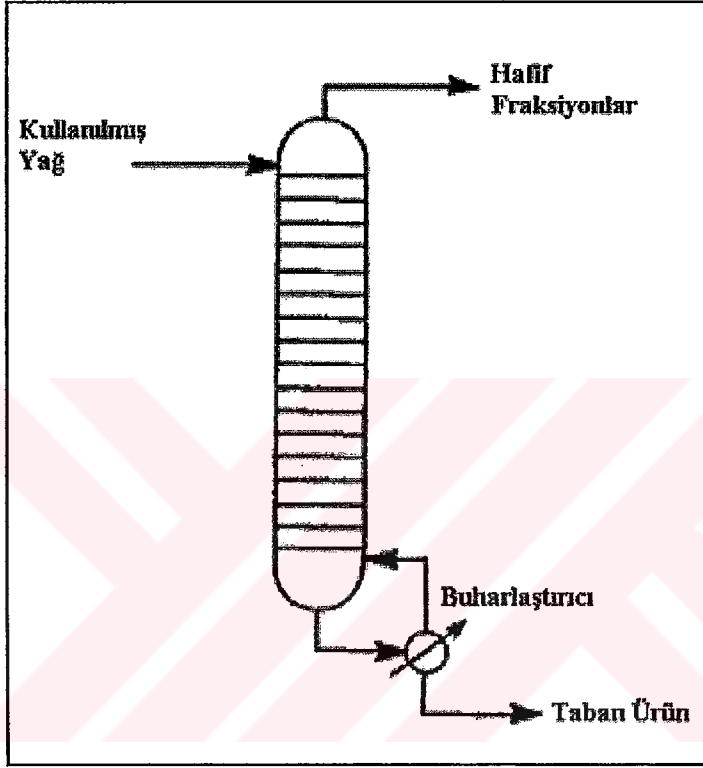
4.1.1.1 Atmosferik Distilasyon

Geri kazanım endüstrisinde su giderme işlemi anlatılırken İngilizce olan “to flash” terimi kullanılır ve işlem “flash tank” veya “flash drum” adı verilen distilasyon kulelerinde gerçekleşir. “to flash” terimi ısıtılan bir sıvının buharlaştırılması işlemidir. “Flash tank” ise ısıtılmış bir karışımın sıvı ve gaz fazlarının birbirinden ayrıştırıldığı kuledir. Şekil 4.2 ile basit su giderme işleminde kullanılacak bir distilasyon kulesi gösterilmiştir. Isıtılan yağ (kısılma valfi olabilir de, olmayabilir de) distilasyon kulesine gönderilir. Isıtma işlemi sonrasında buhar fazına geçmiş olan yakıt fraksiyonları ve yağ ayrışır. Bu işlem için 140°C’lik sıcaklık yeterlidir.



Şekil 4.2 Distilasyon kulesi (Perry ve Green, 1999)

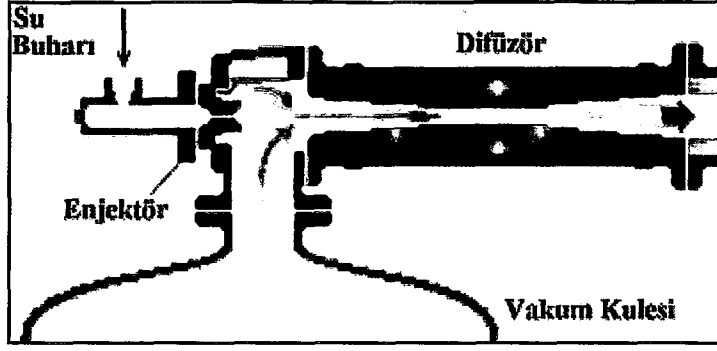
Su Giderme işlemi Asfalt Giderme işleminden sonra da yapılabilir. Bu işlem Sıyırma Kulelerinde gerçekleştirilir. Sıyırma Kulesi denmesinin sebebi ise, distilasyon işleminde karışım kuleye tek bir noktadan giriyor ise bu noktanın altındaki kısmına “Sıyırma” üstündeki kısmına ise “Rektifikasyon” denmesidir. Isıtılan kullanılmış yağ kulenin üst kısmından kuleye girer. Buharlaşmış olan hafif fraksiyonlar kulenin üstünden baş ürün olarak alınır. Yağ ise bir sonraki sisteme gönderilir. Şekil 4.3’te Sıyırma Kulesi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Distilasyon (sıyırma) kulesi (Perry ve Green, 1999)

4.1.1.2 Vakum Distilasyon

Bir diğer alternatif ise Vakum distilasyondur. Distilasyon işlemi vakum altında gerçekleştirilir. Vakum uygulanması ile sıvıların kaynama sıcaklığı düşer. Ayrıştırma işlemi kolaylaşır. Vakum sayesinde sıvıya verilmesi gereken ısı miktarı azaldığı gibi yüksek sıcaklarda meydana gelebilecek koklaşmadan da korunmuş olur. Vakum, ejektörler kullanılarak yaratılır. Yüksek basınçlı su buharı bir enjektörden (memeden) geçirilir ve bu sırada buharın hızı 1200m/s mertebelerine ulaşır. Yüksek hıza sahip su buharı, kuledeki buharlaşmış fazları emerek vakum oluşturur. Bu karışım difüzörden geçerken artan kesit alanı ile beraber hızını kaybeder; kondensere gider ve yoğunlaşır. Ejektör kullanılarak oluşturulan vakumun çalışma prensibi Şekil 4.4 ile gösterilmiştir.



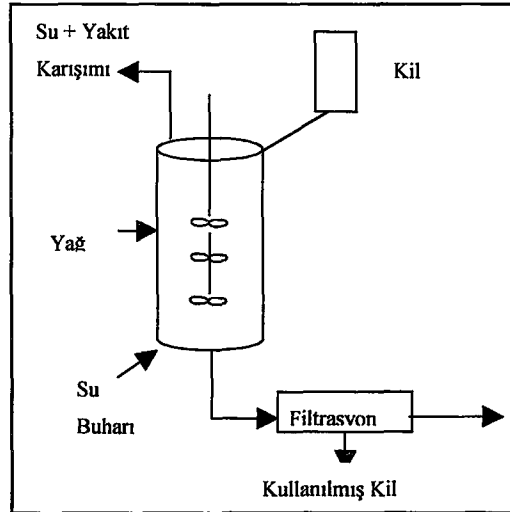
Şekil 4.4 Ejektör ile vakum oluşturulması

4.1.2 Asfalt Giderme

Asfalt gidermek, başka bir deyişle, kullanılmış motor yağının içindeki metaller, katkı maddeleri ve diğer kirleticilerin yağdan ayrıştırıldığı işlemidir. Günümüzdeki uygulamalarda bu işlem için dört ayrı sistem uygulanmaktadır. Bunlar; Asit ve kil ile temas, Vakum Distilasyon, İnce Film Evaporasyonu ve Solvent Ekstraksiyondur.

4.1.2.1 Asit ve Kil ile Temas

Asit ile temas, kirleticileri uzaklaştırmak için beslemeyi sülfürik asitle (%96) karıştırmayı kapsar. Kullanılan asit ağırlıkça %9,5 oranındadır. Metal kalıntıları gibi organik türler, beslemenin dışında asılı kalıp çözünmeyen sülfatlar oluşturur. Daha sonra ürün, bir kille temas ettirilerek nötralize olur ve bu nötralizasyon süresince rengi ve kokusu da iyileşir.



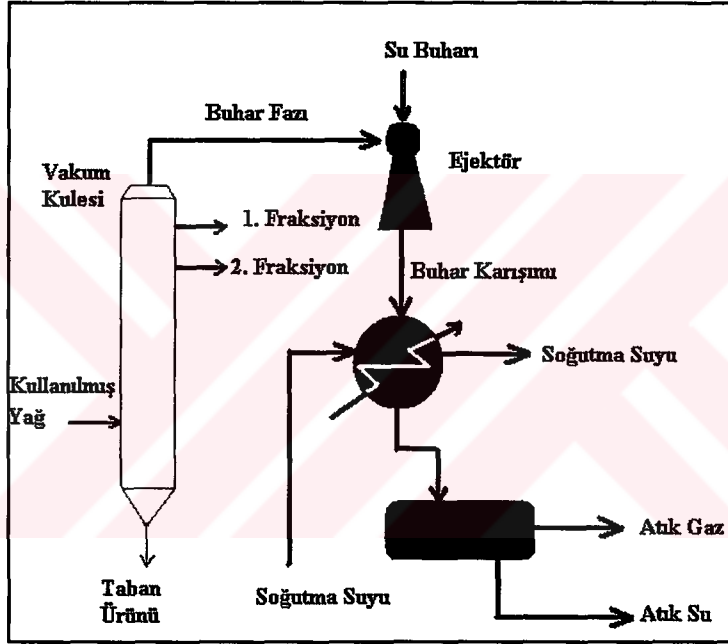
Şekil 4.5 Kil ile temas

Kil ile temas işlemi bir reaktörde gerçekleşir; genellikle özel bir tasarımdır. Kullanılmış yağ

ve kil ile beraber bir reaktörde karıştırılır. Bu sırada reaktöre buhar gönderilir. 2 saat sonunda reaktördeki sıcaklık 198°C , 4,7 saat sonunda ise 232°C olur. Daha sonra ise filtre edilir (Şekil 4.5 Kil ile temas). Ağırlıkça %4.9 oranında kil kullanılır.

4.1.2.2 Vakum Distilasyon

Ejektörler yardımı ile yaratılan vakum sayesinde, yağ fraksiyonlara ayrıştırılır. Basınç 5, 10, 15 mm Hg arasında değişen değerlerde olabilir. Başka bir deyişle, basınç 0,0067 bar ile 0,02 bar arasında değişen değerlerde uygulanır. Sıcaklık ise 350°C ile 365°C değerleri arasındadır. Şekil 4.6 vakum distilasyon işlemini şematik olarak göstermektedir. Şekil 4.7 ise Bir Vakum Distilasyon kulesinin resmidir.

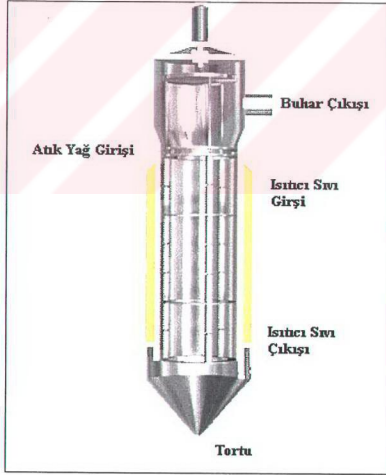


Şekil 4.6 Vakum distilasyon işlemi

Vakum kulesinin tabanından elde edilen asfaltik tortular, solvent ekstraksiyon işlemine tabii tutularak sistemin verimi artırılabilir. Bunun yanında bu asfaltik tortular yol yapımında kullanılabilir.



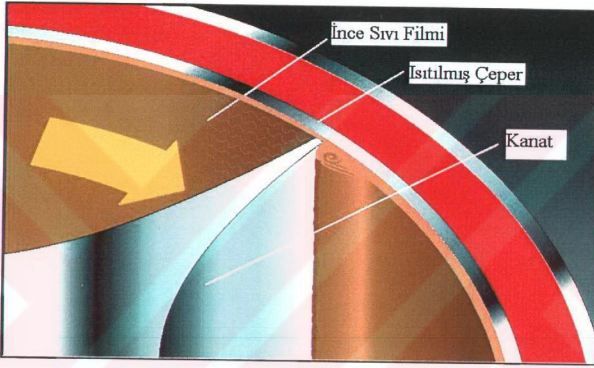
Şekil 4.7 Vakum distilasyon kulesi.



Şekil 4.8 İnce film evaporatörü

4.1.2.3 İnce Film Evaporasyonu (TFE)

Bu işlemde aslında bir distilasyon işlemidir. Tek farkı distilasyon kulesinin aksine hareketli parçalardan oluşmasıdır. Bir rotor ve bu rotor üzerinde ise kanatlar mevcuttur. Distile edilmek istenen ürün kuleye gönderilir. Kanatlar ile kulenin iç yüzeyine ince bir film oluşturacak şekilde yayılır. Bu şekilde buharlaştırma işlemi hızlandırılmış olur. Yüksek vakum altında gerçekleştirilir. Yağ fraksiyonları (kaynama noktası 370°C ile 550°C arasında değişir) çok hızlı bir şekilde buharlaşır ve asfaltik tortular alt kısımdan boşaltılır. Isı transferi, yani buharlaşma, saniyeler içerisinde gerçekleşir böylece koklaşma, bozunma ihtimali minimuma inmiş olur. Şekil 4.8 bir ince film evaporatörünü şematik olarak göstermektedir.



Şekil 4.9 İnce film evaporatörü çalışma prensibi

4.1.2.4 Solvent Ekstraksiyonu

Bu işlemin bir diğer adı da sıvı-sıvı ekstraksiyondur. Seçilen solvent sadece yağ içinde çözünmektedir. Kullanılmış yağın içindeki diğer bileşiklerle ise kesinlikle karışmamaktadır. Sıvı propan ve kullanılmış yağ ekstraktör tankında karıştırılırlar, daha sonra dinlendirme tankına alınırlar. Karıştırma işlemi ya hareketli bir karıştırıcı ile yapılır, ya da, ekstraktör tankının içine yüksek basınçta propan gazı verilmesi sureti ile gerçekleştirilir. Dinlendirme sonrasında propanın içinde çözünmeyen bileşikler çökelirken, propan ve yağ karışımı üst kısımdan alınır. Propan ve yağ karışımı ayrıştırılmak üzere iki aşamalı distilasyon işlemine tabii tutulur. İlk aşama yüksek basınçta gerçekleşir (15 ~ 18,5 bar seviyelerinde). Propanın büyük bir çoğunluğu buharlaşır ve sonrasında yoğunlaştırılarak geri kazanılır ya da gaz halinde alınır ve propan-yağ karışımının karıştırılmasında kullanılır. Bu proses iki amaçla kullanılır. Birincisi, asfalt gidermedir ve Interline Resources şirketi tarafında patenti alınmıştır. İkincisi

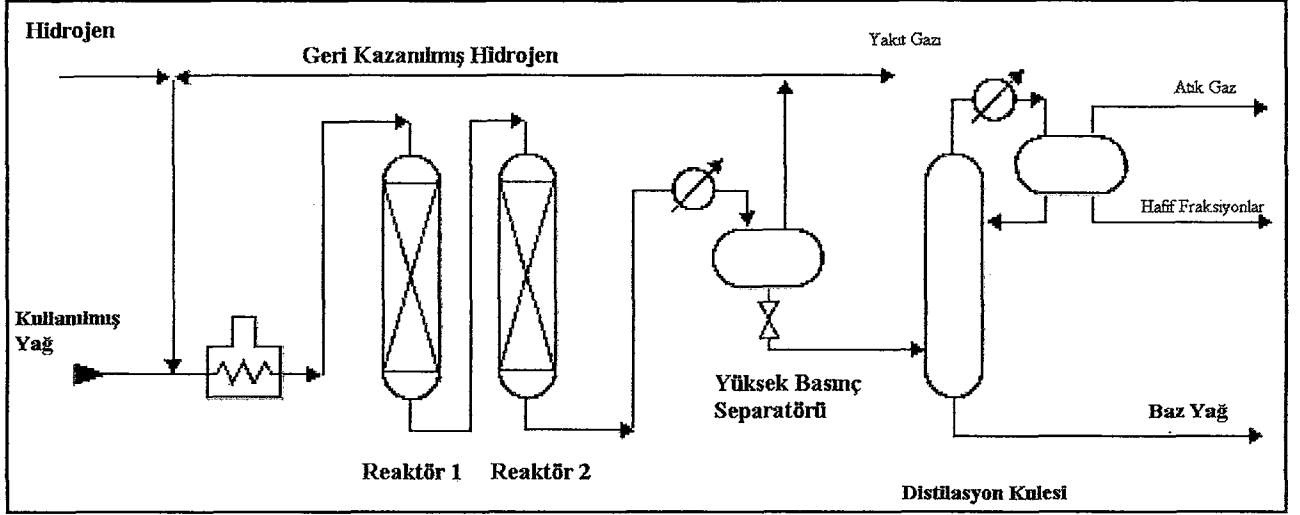
ise Viscolube tarafından, Vakum distilasyon sonucunda oluşan tortuları ekstraksiyon prosesine tabii tutarak verimi artırmak amacı ile uygulanan işlemdir. Sonuç olarak Interline tarafından kullanılan proses tam olarak bir asfalt giderme prosesidir. Bu sistemin gerçekleştiği ortama ait bilgiler gizlidir ve bu sistem Interline Resources şirketi adına patentlidir.

4.1.3 Fraksinasyon

Bu işlem vakum distilasyon ile gerçekleştirilir. Vakum distilasyon sonucunda elde edilen fraksiyonlar, bu işlemin uygulandığı sisteme ve elde edilmek istenen ürünlere bağlı olarak, bir sonlandırma işlemine tabii tutulabilir. 350°C ve 0,0067~0,0133 bar sıcaklık ve basınç değerleri uygulanır (Bölüm 4.1.2.2'de açıklanmıştır).

4.1.4 Sonlandırma

Sonlandırma işlemi yağın kalitesini artırmak amacı ile yapılır. Başka bir deyiş ile, yağın renk ve kokusunu iyileştirir, oksidasyon stabilitesini artırır, kükürt, nitrojen, klor konsantrasyonunu düşürür. Bunlara ek olarak, yağın içinde kalmış olabilecek metaller, organik asitleri giderir ve Viskozite indeksini artırır. Günümüzde bu işlem yağın hidrojen ile muamele edilmesi ile yapılmaktadır. Her ne kadar kil ile de yapılabilir olsa bile, daha etkili ve çevreye daha az zararlı olduğu için Hidrojen ile muamele tercih edilmektedir. Kullanılan hidrojen gazı miktarı ağırlıkça %0,3 mertebelerindedir. Yağ H₂ ile karıştırılır, 270-350°C mertebelerine ısıtılır. H₂ gazının basıncı 55-75 atm arasındaki değerlerde değişir. Hatta 105 atm seviyelerinde de olabilir. İlk reaktörde alüminyum oksit (Al₂O₃) yataklar vardır ve bu yataklar kalmış olabilecek metalleri (çinko, kurşun vs.) giderir. İkinci reaktörde ise başka katalizörler yardımı ile rafinasyon sonlanır. Elde edilen karışım yüksek basınç separatörüne gönderilir. Hidrojen ve diğer gazlar ayrıştırılır. Geri kazanılan hidrojen gazı, tamamlayıcı hidrojen gazı ile beraber bir kompresörden geçirilerek kullanılmış yağ ile karıştırılır. Hidrojenden arındırılmış yağ son bir distilasyon işlemine tabii tutularak baz yağ içinde kalmış olabilecek hafif fraksiyonlar ayrıştırılır. Bu işlem opsiyoneldir. Sistemin sıcaklık ve basınç değerleri sistemin tasarımına kullanılan katalizörlere göre değişiklik gösterebilir. Bazı tasarımlarda fraksinasyondan önce hidrojen ile muamele yapılabilir. Bu durumda her zaman aynı koşullarda hidrojen ile muamele gerçekleşir. Fraksinasyondan sonra hidrojen ile muamele yapıldığında ise her bir fraksiyona ayrı ayrı sıcaklık ve basınçlarda hidrojen ile muamele ettirilebilir. Bu da ürün kalitesini artırır ve ürün kalitesinin kontrolünü sağlar. Viscolube şirketi tarafından çeşitli baz yağ fraksiyonlarına farklı sıcaklıklarda katalizörler ile reaksiyona sokarak etkileri ölçülmüştür (Çizelge 4.2).



Şekil 4.10 Hidrojen ile muamele

Çizelge 4.2 Hidrojen ile muamelenin etkileri

Baz Yağ Tipi	Spindle Baz Yağ	Hafif*	Ağır**	Hafif Baz Yağ	Hafif*	Ağır**	Ağır Baz Yağ	Hafif*	Ağır**
40°C KV (cSt)	26,91	23,8	21,19	56,52	49,85	38,18	117,2	97,86	70,08
100°C KV (cSt)	4,76	4,5	4,2	7,78	7,32	6,37	12,24	11	9,1
VI	93	103	100	102	107	117	94	97	105
Renk	6,5	L 0,5	L 0,5	7,5	L 1	L 0,5	>8	L 2	L 0,5
Asfaltanlar (Ağırlık %'si)	0,0105	-	-	0,0092	-	-	<0,01	-	-
Azot (ppm)	280	49	<1	312	57	<1	307	137	<1
Kükürt (ppm)	0,412	0,1025	0,0005	0,526	0,163	0,0008	0,728	0,273	0,002
Aromatikler (Ağırlık %'si)	12,11	10,72	8,72	11,63	10,25	8,48	11,94	10,22	8,18
Parafinik (Ağırlık %'si)	71,20	72,06	72,76	72,66	73,42	75,09	72,68	73,75	75,57
Naftenik (Ağırlık %'si)	16,70	17,22	18,52	15,70	16,32	16,43	15,38	16,03	16,25

* Hafif Hidrojen ile Muamele: İlk katalizör 300°C, ikinci katalizör 280°C'de uygulanmıştır. H₂ basıncı ise 105 atm'dir.

** Ağır Hidrojen ile Muamele: Her iki katalizörde 340°C'de uygulanmıştır. H₂ basıncı ise 105 atm'dir.

Çizelge 4.2’de de görüleceği üzere, hidrojen ile muamele sonunda VI indeksleri iyileşmiş, kükürt ve nitrojen konsantrasyonları düşmüştür. Hatta Ağır Muamele yapıldığında Kükürt konsantrasyonu her tip baz yağda %0,03’ün altına düşmüştür. API Grup II’ye girebilecek baz yağlar üretilmiştir. Sonuç olarak hidrojen ile muamele ürün kalitesini belirlemedeki önemli etkenlerden biridir.

4.2 Günümüzde Uygulanmayan ve Ar-Ge Yapılan Teknolojiler

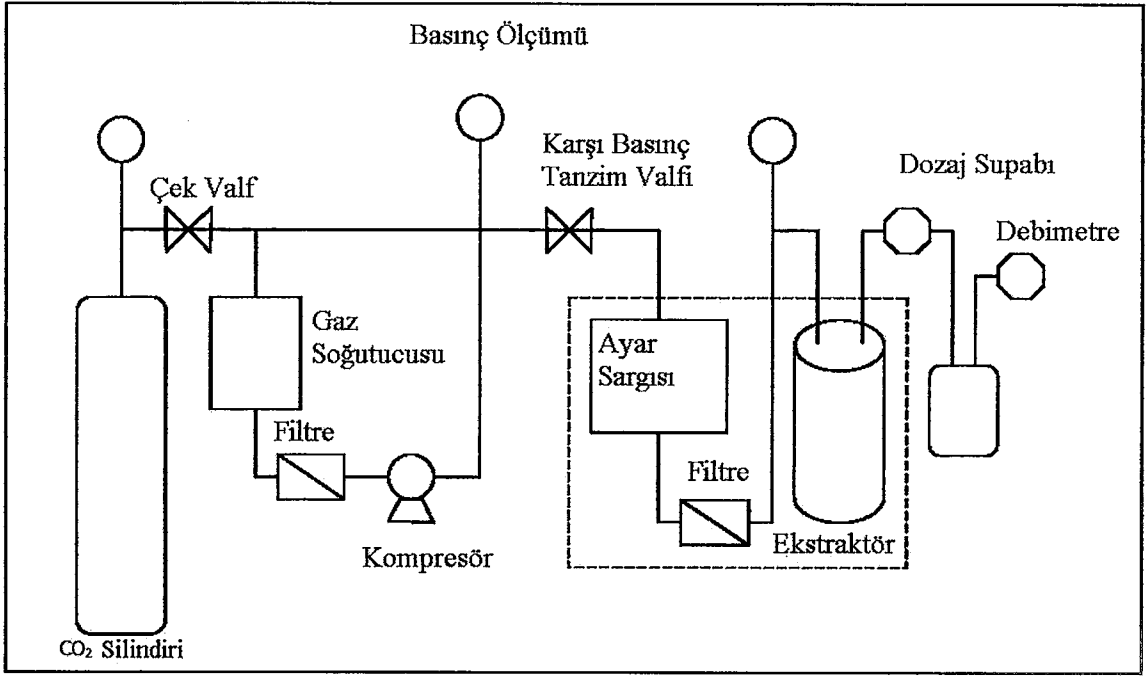
Günümüzde uygulamaya geçmeyi bekleyen, deney aşamasında olan sistemler vardır. Buna ek olarak uygulanmaktan vazgeçilmiş sistemlerde mevcuttur. Bu bölümde bu sistemlere yer verilecektir.

4.2.1 Süperkritik CO₂ Ekstraksiyonu

Süperkritik CO₂ ekstraksiyonu deneysel bir çalışmadır. Bu deney Süperkritik Sıvı Ekstraksiyon ünitesi kullanarak gerçekleştirilir. Bu ünitenin şematik şekli Şekil 4.11 ile gösterilmiştir.

Süperkritik ekstraksiyon kullanılmış yağın süperkritik akışkan ile temas ettirilmesi esasında dayanır. Süperkritik akışkan içinde çözünen maddeler ile beraber beslemeden ayrılır. Ekstrakt (bu durumda baz yağ) süperkritik akışkanda sıcaklık ve/veya basınç değişiklikleri ile ayrıştırılır. Ayrıştırma işleminden sonra ekstrakt bir tankta toplanır; süperkritik akışkan ise geri kazanılır. Süperkritik akışkan, basınç ve sıcaklık değerleri kritik değerlerden yüksek olan bileşiklerdir. Kritik sıcaklığın üzerinde saf, gaz bileşik uygulanan basınç ne olursa olsun sıvılaştırılmaz. Kritik basınç kritik sıcaklıktaki buhar basıncıdır. Süperkritik ortamda tek bir faz mevcuttur. Bu akışkan ne gazdır ne de sıvı. CO₂’in kritik sıcaklığı 31,1°C ve 73,8 bardır. Bu yöntemin tercih edilmesinin bir diğer nedeni ise CO₂’in ucuz olmasıdır.

Kullanılmış yağ ekstraktöre yerleştirilir. %99,9 saflıkta CO₂ ise silindirden gelmektedir. Soğutma ve filtrasyondan sonra CO₂ bir kompresörden geçirilir. Bu kompresöre 100 bar ile 300 bar arasındaki değerlere kadar sıkıştırma yeteneğine sahiptir. Kompresör tarafından sağlanan basınç, karşı basınç tanzim valfi ile ayarlanır. Sıkıştırılmış gaz bir ayar sargısından geçerek sıcaklığı ayarlanır. Daha sonra ise ekstraktöre gönderilir. Kesikli çizgiler içinde kalan alan termal su banyosuna batırılmıştır. CO₂ ekstraktörün için 1 saat boyunca süzülme üzere bırakılır (statik ekstraksiyon). Daha sonra 4 saat boyunca 0,3 Nm³/h debide dinamik ekstraksiyona tabii tutulur. Son olarak ise ekstrakt yüklü gaz bir dozaj supabından geçirilir, CO₂’in basıncı düşürülür, ve ayrıştırılmış ekstrakt bir tankta toplanır.

Şekil 4.11 Süperkritik CO₂ ekstraksiyonu

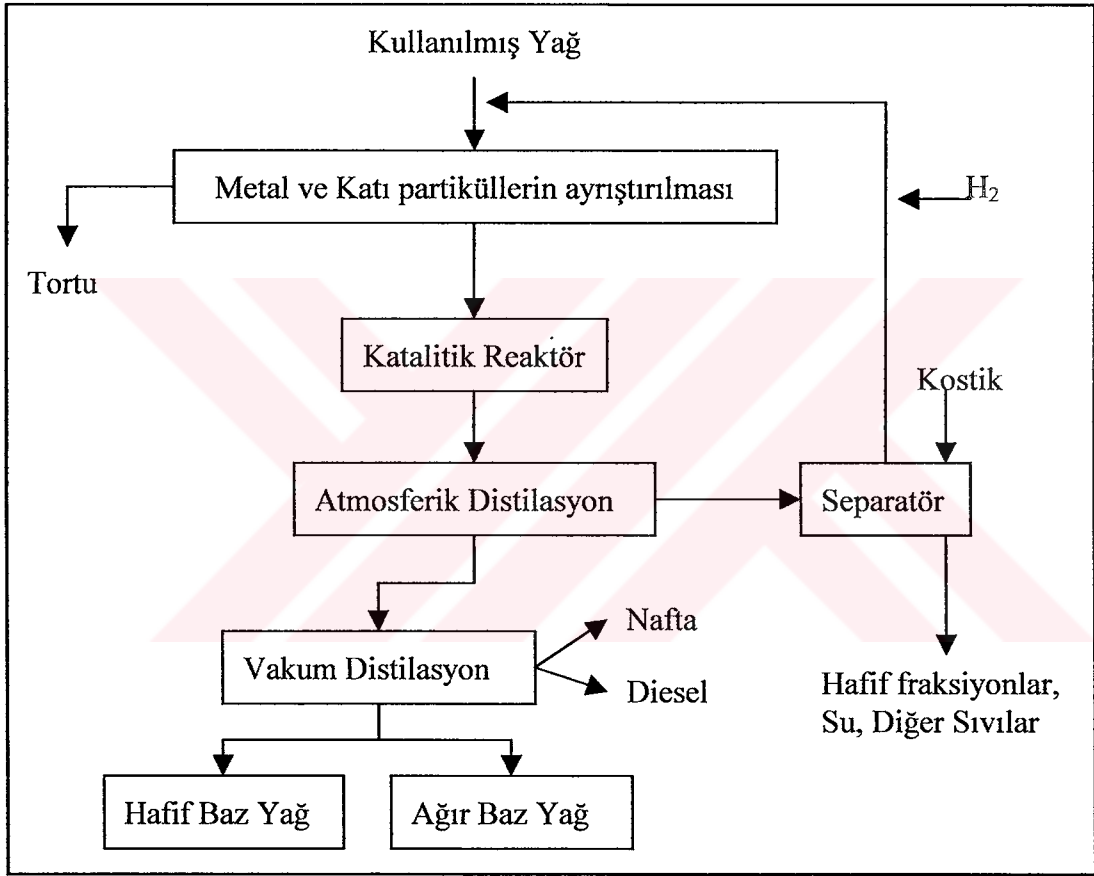
Yapılan deneyler sonucunda 60°C ve 300 bar değerlerinde en verimli sonuçlar elde edilmiştir. İki tip yağ üzerinde yapılan deneyde; Mobil SAE 20W-50 ve Helix Super SAE 20W-50 yağları kullanılmıştır; sırası ile %75,95 ve %72,28 verim ile geri kazanım gerçekleşmiştir. Çizelge 4.3 süperkritik ekstraksiyonun kullanılmış yağ üzerindeki etkilerini göstermektedir.

Çizelge 4.3 Süperkritik ekstraksiyonun etkileri

Yağın Özellikleri	Kullanılmış Yağ-1	Geri Kazanılmış Baz Yağ - 1	Kullanılmış Yağ-2	Geri Kazanılmış Baz Yağ -2
Kinematik Viskozite, cSt				
40°C	0,71	49,81	0,71	55,47
100°C	-	6,83	-	8,83
Alevlenme Noktası, °C	140	265,6	140	243,3
Zn, ppm	480	53,3	480	-
Cu, ppm	177	0	177	0
Cd, ppm	3	0	3	0

4.2.2 UOP Hidrojen ile Direkt Temas Prosesi

Bu yeni teknoloji kullanılmış yağın hidrojenle zengin, ısıtılmış bir ortamda işlenmesi esasında dayanır. Bir başka yararı ise zararlı fraksiyonların oluşumunu en aza indirmesidir. Bu sistemin bir diğer adı ise "Hylube" dur. Sistem, ekipmanların bozulmasına yol açan polimerik ve karbonlu ara ürünlerin oluşmasını engelleyen indirgeyici bir ortamdır. Bu işlem sonucunda baz yağlar ve baz yağlarla beraber hafif fraksiyonlar elde edilir. Şekil 4.12'de sistemin akış şeması görülmektedir. Metaller ve katı partiküllerin ayrıştırılması UOP adına tescilli bir sistem ile gerçekleştirilir. (Kajdas, 2000)



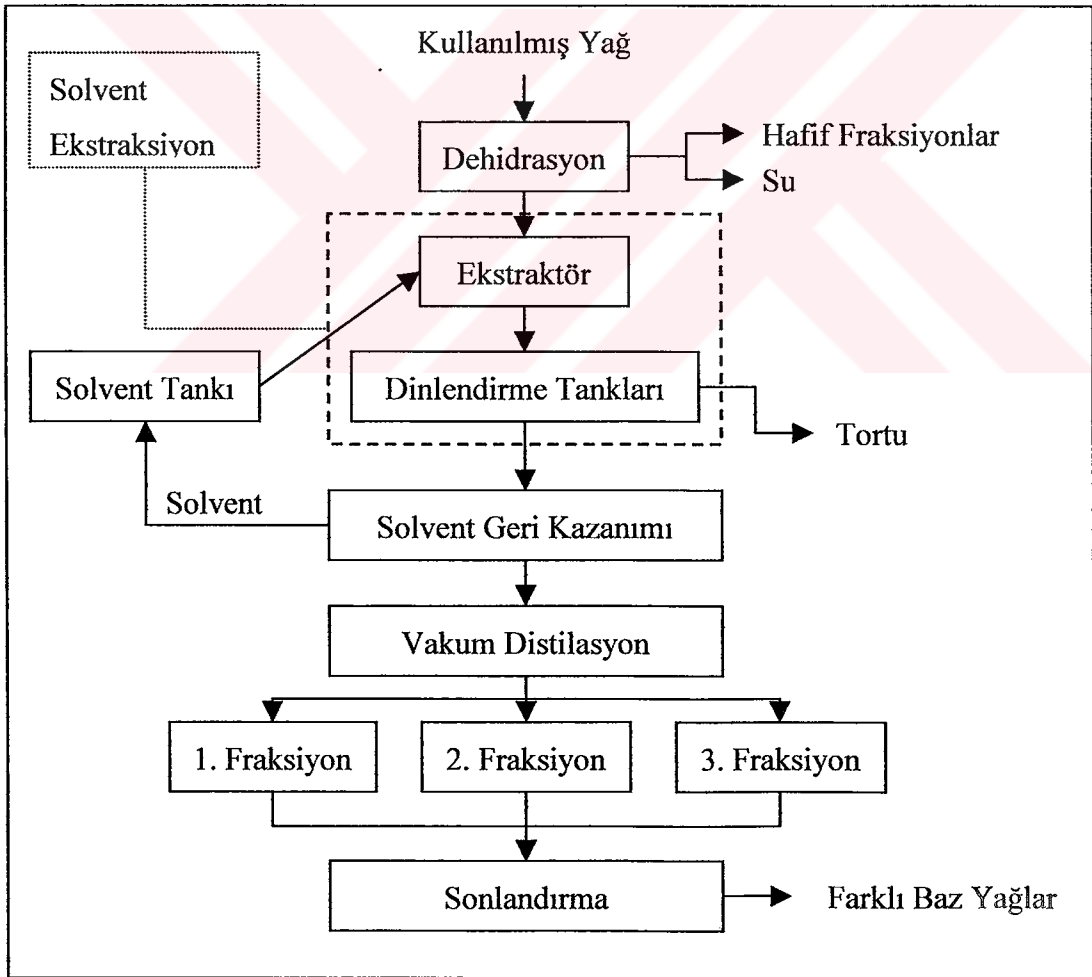
Şekil 4.12 UOP akış şeması

Sıcak hidrojen gazı ile karıştırılan kullanılmış yağ metal ve katı partikül separatörüne gönderilir. Hidrokarbon karışımı, sıvı fazdaki kirleticilerle beraber sabit yataklı reaktöre girer. Buradan çıkan besleme ise atmosferik distilasyona tabii tutulur. Burada baz yağ ve hafif fraksiyonlar ayrışır. Hafif fraksiyonların içinde hafif hidrokarbonlar, hidrojen gazı, su buharı ve reaktörde oluşmuş olan asit gazları vardır. Bu korozyon akımının nötralizasyonu 3 fazlı separatörde kostik verilmesi ile gerçekleşir. Burada hidrojen gazı geri kazanılır. Atmosferik distilasyon ile elde edilen baz yağ ise Vakum distilasyon ile fraksiyonlarına ayrıştırılır.

Fraksiyonlara ayırma işlemi sırasında nafta ve diesel yakıtı elde edilir. Son olarak ise fraksinasyon sonucunda baz yağ elde edilir. Bu sistemde yağın içinde mevcut kükürdün %98'nin giderildiği gözlenmiştir. Yılda 60.000 ton işleyecek bir tesisin atmosferik ve vakum distilasyon işlemleri dışındaki ünitlerinin maliyeti 10 milyon \$ olarak tahmin edilmektedir. Sonuç olarak bu sistem yüksek yatırım maliyeti gerektirecektir.

4.2.3 BERC Solvent Ekstraksiyon Prosesi

Bartsville Energy Research Center tarafından geliştirilen bu proses, zamanın geri kazanımın daha ucuz , çevreye daha zararlı yöntemlerle kaliteli ürün elde edilebileceğini göstermek üzere yapılan deneysel bir çalışmadır. Amaç yeni bir teknik geliştirmektir. Bu çalışmada BERC ve DOE (ABD Enerji Bakanlığı) ortaklaşa çalışmışlardır. Sistem 5 aşamadan oluşur. Bunlar sırası ile; dehidrasyon, solvent ekstraksiyon, solvent geri kazanımı, fraksiyonel distilasyon ve sonlandırma işlemidir (Şekil 4.13). (Wishman vd., 1978)



Şekil 4.13 BERC solvent ekstraksiyon prosesi

Kullanılmış yağ iki adet Flash Kulesinde su ve diğer hafif hidrokarbonlarda arındırılır. İlk kule atmosferik basınç ve 148°C'de çalışmakta, ikinci kule ise 204°C sıcaklık ve 0,27 bar vakum altında çalışmaktadır. Suyun uzaklaştırılmasının sebebi; çözücü ile atık yağ çökmesi safhasında yağın güvenli bir şekilde korunabilmesi için suyun ve hafif hidrokarbonların kullanılmış yağdan uzaklaştırılması gerekir. Kullanılmış motor karter yağlama yağlarında genel olarak yakıt karışımı söz konusu olduğu için, %5 oranında hafif hidrokarbon bulunmaktadır. Bu hidrokarbonlar motor yağının kaynama noktasının altında buharlaşır (371°C). Dolayısı ile ilk olarak su ve ardından hafif hidrokarbonlar uzaklaştırılır.

Su ve hafif hidrokarbonlar uzaklaştırıldıktan sonra kullanılmış yağ karıştırma tanklarına gönderilir ve burada solvent ile karıştırılır. Elde edilen karışım dinlendirme tanklarında bekletilerek kullanılmış yağ içindeki kirleticilerin solvent ile tepkimeye girerek bir çökelti oluşturması sağlanır. Tankların alt kısımlarından alınan çökelti asfalt ve türevleri olarak kullanılabilir. Solvent sistemi olarak çeşitli karışımlar kullanılmıştır. Solvent sistemi olarak 1:2:1 (2 propanol/ 1bütanol/ 1MEK) solvent sistemi ve 3:1 yağ çözücü oranı kullanılmıştır.

Tortu oluşumu tamamlandıktan sonra solvent yağ karışımı, solvent geri kazanım ünitesine gönderilir. Bu ünite bir distilasyon kulesidir. 204°C sıcaklık ve 0,33 bar vakum altında solvent ile yağı birbirinde ayırır. Geri kazanılan solvent, solvent tankına gönderilir.

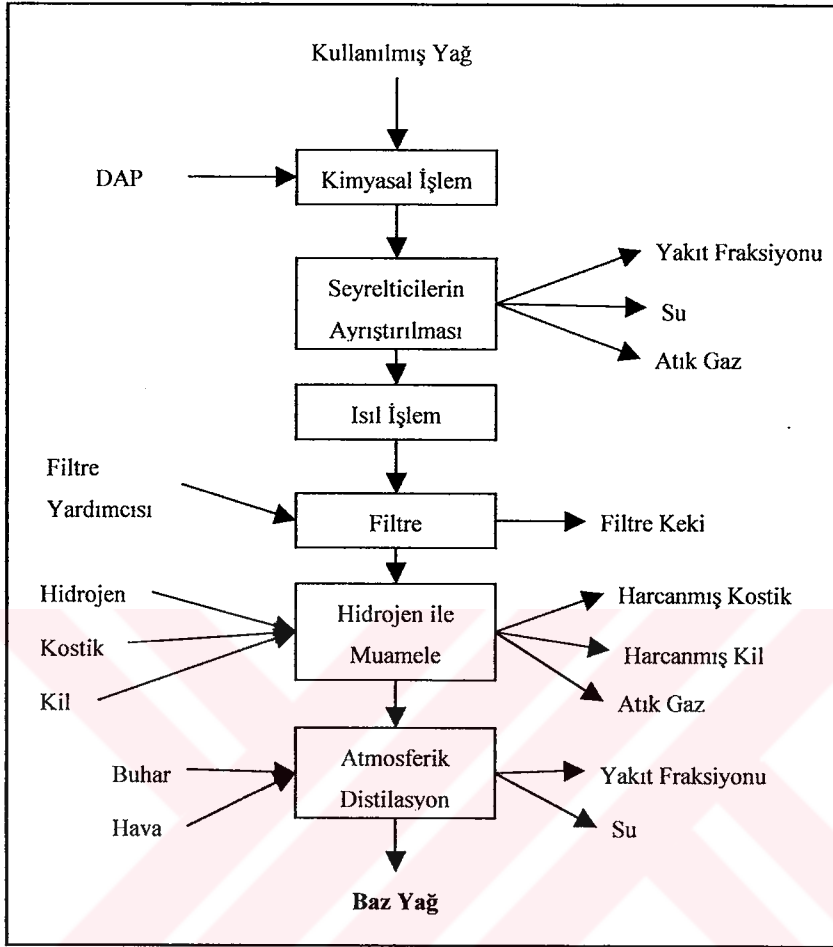
Elde edilen yağ bir distilasyon kulesinde vakum altında fraksiyonlarına ayrıştırılır. Bu işlem sırasında sıcaklık 371°C - 426°C mertebelerindedir. Kullanılmış yağlama yağının distilasyonundan elde edilen kısımlar genellikle koyu kırmızı veya turuncu renge ve keskin veya bozuk kokuya sahiptir. Renk ve koku iyileştirmelerine ulaşmak için kil ile muamele veya hidrojen ile muamele edilmesi gerekir.

Kil ile muamele, kullanılmış yağlarda bulunan organo-metalillerin, oksitlenmiş ve sülfonize bileşiklerin giderilmesini sağlar. Tipik bir kil işleminde 26 galon distile edilmiş kullanılmış yağ ve 13 pound 20 filtrol derece kil tanka yüklenir. 2 saat ve 390°F sıcaklıkla 0,2 lb/gal/hr oranında buhar enjekte edilir. 4,7 saat sonra sıcaklık 450°F derecededir ve 5,9 saat sonra yağ dinlendirilir. Ardından filtre edilir. Baz yağ elde edilir. Ek 3'de BERC Solvent Ekstraksiyon prosesi ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

4.2.4 PROP Prosesi

PROP (Phillips Yağ Geri Kazanım Kafinyasyon Prosesi) atık yağlama yağlarını orijinal haline çeviren Phillips Petroleum Firması tarafından geliştirilmiş, yağların geri kazanım

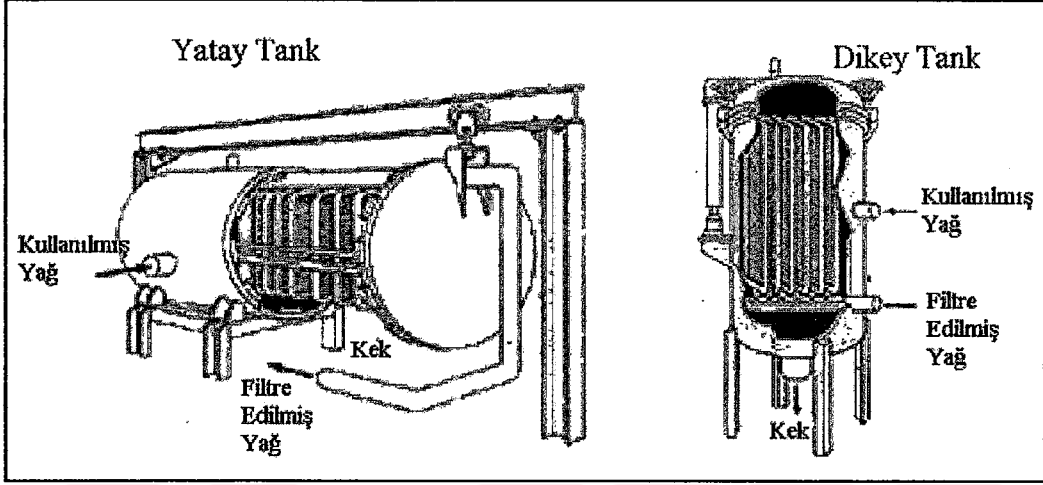
teknolojisi (Şekil 4.14). PROP geri kazanım proseslerini çevre açısından sorgulamakta, asit ve/veya çözücü kullanmadan yapmaktadır. (Linnard ve Henton, 1979)



Şekil 4.14 PROP prosesi akış şeması

Atık yağ ilk etapta sulu diammonyum fosfat eriyiği ile temas ettirilir. Bunu izleyen reaksiyonlar sonucunda karakteristik olarak suda veya yağda çözünürlüğü çok düşük olan metalik fosfatlar ortaya çıkar. Demetalizasyon işlemi (diammonyum fosfat ile reaksiyona sokma işlemi) reaktörlerde gerçekleştirilir. Reaktörlerde sıcaklık 300°F ve 20 psig'i geçmez. Buna ek olarak fosfat oluşumunu artırmak için reaktörlerde sıcaklık artırılır. Atık yağın içindeki su ve yakıt kısmının önemli bir bölümü işlemin ikinci (seyrelticilerin ayrıştırılması) safhasında ayrılır. Reaktörlerin üst kısımlarından alınan buharlaşmış kısım yoğunlaştırılır ve sonrasında distilasyon ile su ve yakıt olarak ayrıştırılır (2.safha). Reaktörlerin alt kısımlarından alınan atık yağ ısıtılabilir ve yağın ısıtılması kükürt ve hidrojenin SO₂, H₂S ve NH₃ halinde kısmen giderilmesi ile sonuçlanır. 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

tamamlanmıştır. Sıcaklık çevrimi bu fosforlu bileşimin önemli bir bölümünün istenilen oranda termal olarak bozulmasını sağlar ve ince, dağılmış haldeki katı maddelerin büyük bölümünün toplanarak bir sonraki safhada filtre edilmesine hazırlanmış olur. Filtre olarak dikey levha filtre kullanılır (Şekil 4.15). Süzme vasıtasının eklenmesi bu filtrasyonu sağlar.



Şekil 4.15 Dikey levhali filtre örnekleri

Ortaya çıkan metalden arındırılmış ve suyu giderilmiş yağın içinde bulunan kirletici maddelerin yüzde 99'u veya fazlası şimdi giderilmiş durumdadır ve hidrojen ile muamele için hazır haldedir. Bu yağ ısıtılır, yeniden sirküle eden hidrojenle karıştırılır, bir koruyucu kil yataktan geçirilerek konvansiyonel Ni-Mo katalizör üzerinde hidrojen ile muamele edilir (bu işlem bir reaktörde gerçekleşir). Koruyucu yatak inorganik madde kalıntılarını ayırır, sülfonik asitlerin ayrışmasını kolaylaştırır. Hidrojen ile muamele istenmeyen kükürt, azot, oksijen ve klor bileşiklerini giderir ve renkte istenilen gelişmenin elde edilmesini sağlar. Son bir temizleme safhasıyla geri kalan yakıt kalıntıları ayrılarak, yeniden arıtılmış yağın yanma noktasının kontrolünün sağlanır ve kalabilecek nem giderilir. Aynı zamanda geri kazanılan hidrojen H_2S , NH_2 ve HCl 'nin ayrılması için su ile yıkanır ve kostikle ovulur. Ürün motor yağlarının ve diğer yağlayıcıların harmanlanmasında kullanılmaya uygun, yeniden arıtılmış baz yağdır ve petrol kökenli baz yağ şeklinde pazarlanabilir. Prosese ait ayrıntılı şemalar EK-2'de verilmiştir. Bu proses günümüzde uygulanmamaktadır. Şirket yetkilileri bu konuda herhangi bir açıklama yapmamışlardır. İşleme baktığımız hem yeni geri-kazanım tekniklerine göre eski kaldığı görülmekte, hem de işlem aşamasındaki fazlalık dikkat çekmektedir. Örneğin; sonlandırma işlemi olarak sadece hidrojen ile muamele değil, kil ile muamelede vardır. Bu teknoloji günümüzde kullanılmamaktadır. Bir başka olası sebep ise şirketin petrol ve petrol ürünleri fiyatlarındaki dalgalanmalardan dolayı mali zorluklar yaşamış olması

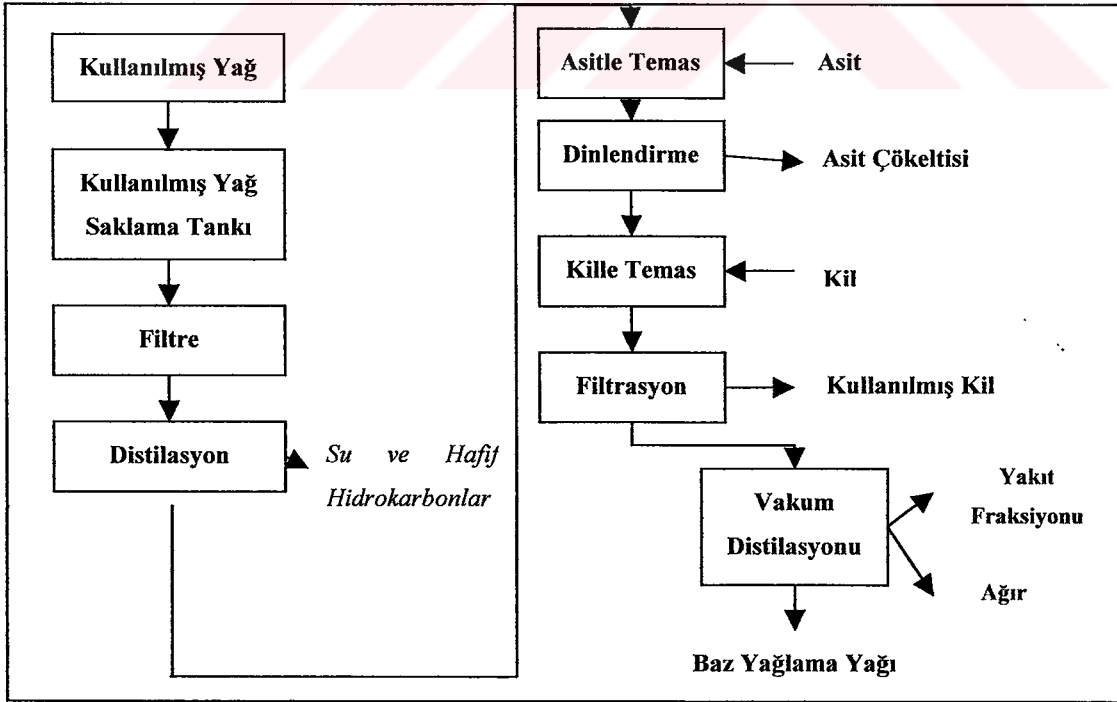
olasılığdır. On yıl önce petrol fiyatlarının şimdiki fiyatların yarı olduğu düşünüldüğünde; bir geri kazanım prosesinin on yıl 2 kat daha ekonomik olması gerektiği açıktır.

4.3 Günümüzde Uygulanmakta Olan Sistemler

Bu kısımda günümüzde uygulanmakta olan sistemlerden örnekler verilecektir. Bu güncel uygulamalar bu işte uzmanlaşmış şirketlerden alınan bilgiler doğrultusunda anlatılacaktır.

4.3.1 Asit Kil Prosesi

Bu proses kimyasal ön işlem safhasına dayanmaktadır ve çoğu kirleticiyi uzaklaştırmak için beslemeyi sülfirik asitle karıştırmayı kapsamaktadır. Şekil 4.16'da böyle bir prosesin akım diyagramı gösterilmiştir. Bu sistem daha çok doğu asya ülkelerinde tercih edilir. Bu prosesi kullanan tesislerin yıllık kullanılmış yağ işleme kapasiteleri 2~10kt arasında değişir. Gelişmiş ülkelerde ise, işlem sonucunda oluşan asitik tortuların nötralizasyonun gerekliliği, büyük miktarlarda tortu oluşumu ve bu tortuların ikincil kullanımının olmaması; buna ek olarak büyük yığınlar halinde kil tortusunun oluşumu bu sistemin uygulanmamasındaki en büyük nedendir. Ayrıca bu proses sonucunda elde edilen ürün kalitesi ve sistemin verimi (%63) düşüktür. 1 ton kullanılmış yağın rafinasyonu sonucunda yaklaşık 621kg baz yağ, 70kg gaz yağı elde edilir.



Şekil 4.16 Asit-Kil prosesi

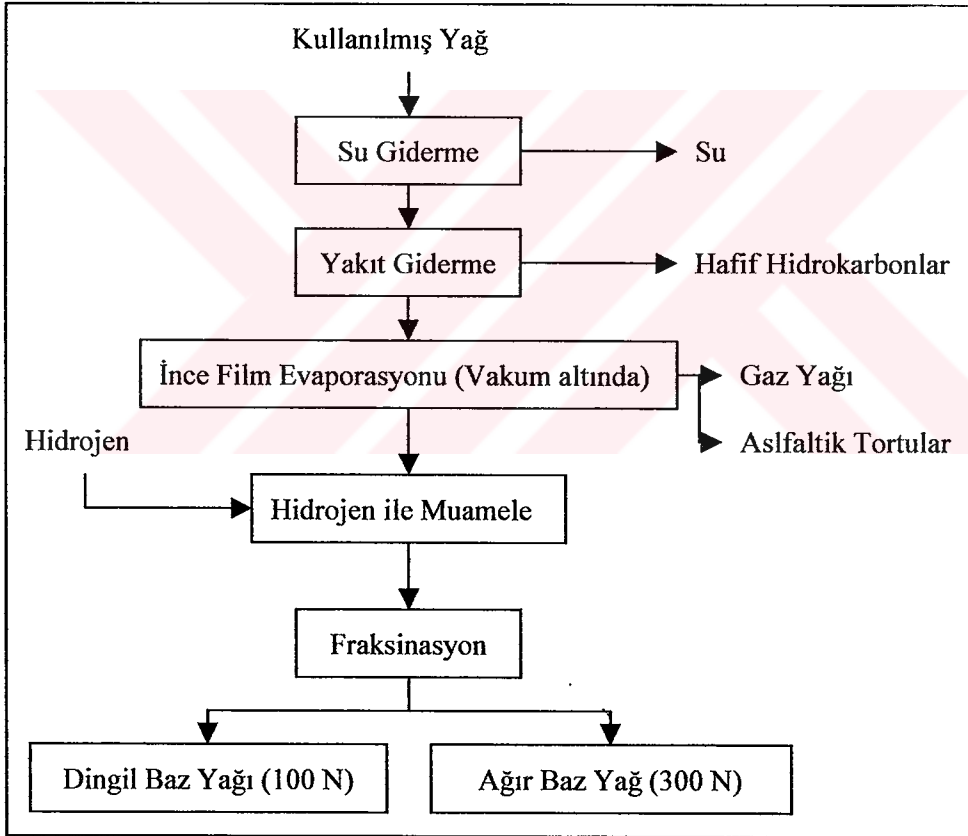
Saklama tanklarında depolanan kullanılmış yağ, içindeki büyük katı atıklardan arındırılmak için filtreden geçirilir. Filtre edilmiş kullanılmış yağ sülfirik asit ile işleme tabi tutulmadan önce sülfirik asidin seyrelmesini engellemek için sudan ve hafif hidrokarbonlardan arındırılmaktadır. Bu işlem bir distilasyon kolonunda gerçekleşir. Su ve hafif hidrokarbonlardan arındırılmış yağ asit ile karıştırılır. Asit olarak Sülfirik asit kullanılır. Saflığı ise %97 mertebesindedir. Asitle karıştırılmış yağ dinlendirilmek üzere Dinlendirme Tankına gönderilir. Dinlenme sırasında yağın içindeki metaller, kirleticiler ve katkı maddeleri asit ile tepkimeye girerek yağ içinde çözünmeyen sülfatları oluşturur. Bu sülfatlar tankın dibine çöker ve asidik bir çökelti oluşur. Yağ'a karıştırılan asit miktarı yağın özelliklerine göre değişmekle birlikte genelde ağırlıkça %9,5 civarındadır (Ali, 1995). Asit ile muameleden sonra oluşan tortular çok asidiktir ve yüksek miktarda PAH, sülfirik asit ve kükürt bileşikleri içerirler. Dinlendirme tankından alınan yağ; renk, koku, nötralize etmek ve oksidasyon stabilitesini kazandırmak amacı ile kil (aktive edilmiş kil) ile temas ettirilir. Kil ile muamel sırasında ağırlıkça %4.9 oranında kil kullanılır. Bu işlemden sonra yağ Vakum Distilasyon ile çeşitli kısımlara (Hafif Baz Yağ, Dingil Yağı, Ağır Baz Yağ gibi) ayrıştırılır. İşelmin vakum altında gerçekleşmesinin sebebi; kaynama sıcaklığını düşürerek, hem enerji tasarrufu, hem de yüksek sıcaklıktan dolayı yağda meydana gelebilecek bozunmayı (koklaşmayı) önlemektir. Bu prosten gelen katı atık ürünleri, zehirli atık karakteristiği gösteren asit çamuru ve kullanılmış kildir. Bu yüzden bu atıkların yok edilmesinde önemli problemler çıkabilir. Bu proses günümüzde terkedilmekte olan bir türdür.

4.3.2 CEP Prosesi

CEP prosesi ABD Kaliforniya'daki özel bir kimyasal mühendislik şirketi olan Chemical Engineering Partners'a aittir. Şekil 4.18'de CEP prosesinin basitleştirilmiş blok diyagramı görülmektedir. 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 yağ ürünleridir. Tesise gelen kullanılmış yağ öncelikle kimyasal bir önışleme tabi tutulur. Tesise kabul edilen kullanılmış yağlar, kimyasal bir önışlemeden geçirilir. Şirket yetkilileri bu işlem hakkında bir açıklama yapmamaktadırlar. Büyük bir ihtimalle ileriki aşamalarda sistemde korozyon neden olabilecek maddelerin zararsız hale getirilmesi için yapılan bir işlemdir. Bu prosesin ilk adımında su ve yakıt bileşenleri kullanılmış yağdan uzaklaştırılır. Kullanılmış yağ stok'unun %10'u su ve %3'ü de yakıtlar (hafif hidrokarbonlar)dır. Suyun giderilmesi işlemi dehidrasyon olarak geçer ve bir distilasyon kolonu ile gerçekleştirilir. İkinci adım yani Yakıt Giderme adımı yine bir

distilasyon işlemidir ve işlemde Diesel yakıtı yağ'dan ayrıştırılır. Kullanılmış yağ içindeki Diesel oranının %7 civarında olduğu gözlenmiştir. Diesel yakıtı istenirse tesiste kullanılabilir veya endüstriye satılabilir. (Ali vd., 1995) [9]

Üçüncü adım ise Evaporasyondur. Bu adımda bir ince film evaporatörü ile tozlar, metaller, katkı maddeleri ve diğer kirleticiler tortu şeklinde yağdan ayrıştırılır. İnce film evaporatörlerinde ortada bir rotor ve bu rotora bağlı kanatlar vardır. Bu kanatlar yardımı ile atık yağ sıcak yüzeyle etkin bir şekilde temas ettirilir. Böylece yağın hızlı bir şekilde buharlaşması ve kirleticilerden ayrışması sağlanır. Kaynama noktası yaklaşık olarak 370°C~550°C arasında değişen bütün yağlar buharlaşır. İşlem vakum altında da gerçekleştirilir. Vakum 0,01 bar seviyelerindedir. Ek 4'de bu işlem için kullanılacak bir ünitenin şekli vardır.



Şekil 4.18 CEP prosesi akış şeması

Ürün kalitesini artırmak için yağ; hidrojen gazı ile karıştırılır ve katalizör ile bir reaktörde muamele edilir. Bu işlem yağın içindeki kükürt ve diğer oksidasyon ürünlerini giderir. Bu proste hidrojen gazının basıncı 55-75 bar arasında değişen değerlerdedir. Reaktörlerdeki sıcaklık ise 250-350°C arasında değişir. Hidrojen gazı tüketimi ise ağırlıkça %0,3'tür. Başka

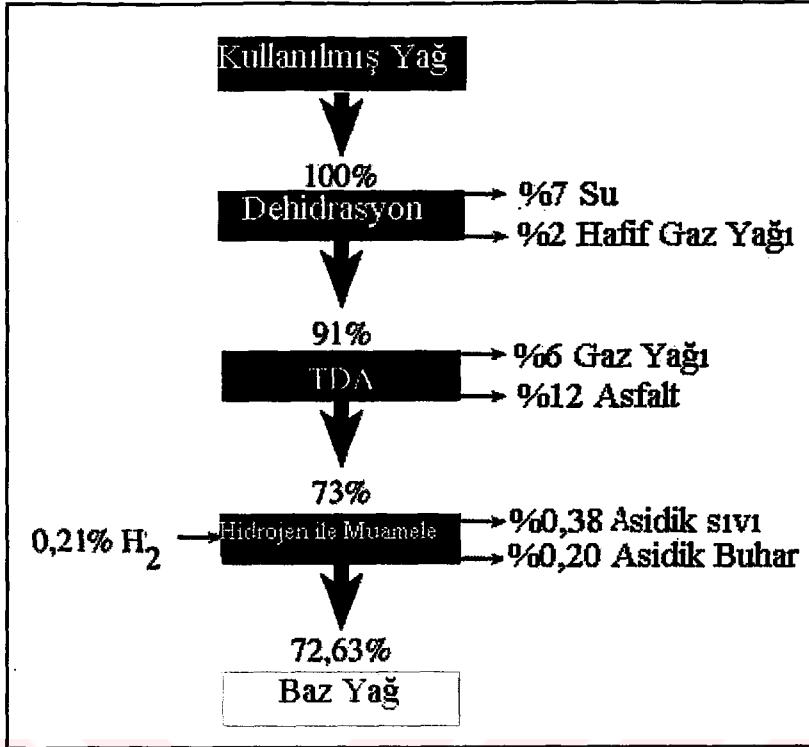
bir deyiş ile 1 ton işlemek için 3kg hidrojen gazı kullanılır. Proses sonunda işleme sokulan atık (kullanılmış) yağın %72'si baz yağ olarak çekilir. Bu oran atık yağdaki su, hafif hidrokarbon ve Diesel miktarına göre değişmektedir. Son olarak ise elde edilen ürün fraksiyonlarına ayrıştırılır. Bu işlemde vakum altında gerçekleştirilir. Bu prosesle elde edilen ürünlere ait özellikler Çizelge 4.4 ile gösterilmiştir. Bu prosesde 1 ton baz yağ elde etmek için 667kg buhar, 3,76kg katalizör, 116kg fuel oil kullanılır. CEP prosesinin göze çarpan kısımları devamlı operasyon, düşük bakım, uzun katalizör kullanım süresi, düşürülmüş korozyon ve geliştirilmiş teknolojisidir. Bu teknoloji Amerikada Evergreen şirketi, Endonezyada WGI şirketi ve Sidney/Avustralyadaki bir şirket tarafından kullanılmaktadır. CEP şimdilerde 120N ve 150N üretmeyi planlamaktadır.

Çizelge 4.4 CEP prosesi ürün özellikleri

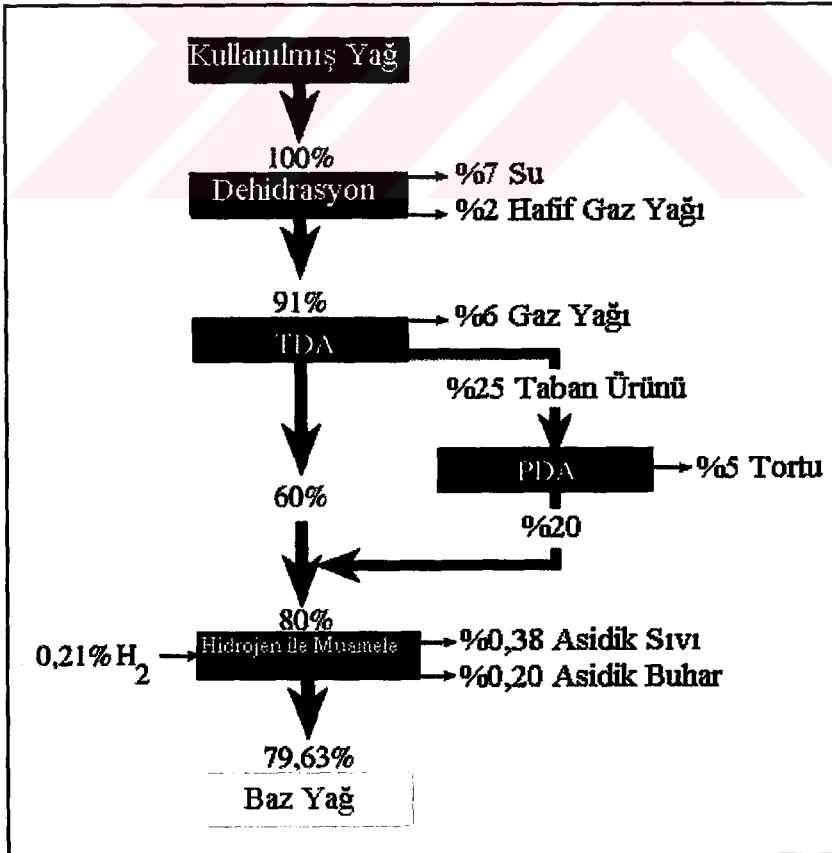
Ürün Özellikleri	Dingil Yağı (100N)	Ağır Baz Yağ (300N)
Kinematik Viskozite, cSt		
40°C	20,1	54
100°C	4,15	7,4
VI	90	95
Alevlenme Noktası, °C	365	435
Akma Noktası, °C	10	15
TAN, mgKOH/gr	<0,01	<0,01
Kükürt, Ağırlık %'si	0,05	0,07
Kül, Ağırlık %'si	<0,001	<0,001

4.3.3 Viscolube Prosesi

Viscolube, İtalya'nın ve Avrupa'nın en büyük geri kazanım şirketlerinden biridir. TDA teknolojisini geliştirmiştir. Buna ek olarak IFP ile (hidrojen ile muamele teknolojisinde en iyi şirketlerden biri) ortak olarak TDA ve PDA teknolojilerini birleştirerek yeni bir sistem oluşturmuştur. TDA sistemi; suyun giderilmesi, asfaltın giderilmesi ve fraksinasyon ile sonlandırma işleminden oluşur (Şekil 4.19). TDA ve PDA'nın beraber kullanıldığı sistemde amaç vakum distilasyon sonucunda oluşan asfaltik tortuların propan ile muamele edilerek, bu tortularda baz yağ elde edilmesidir. Böylece, elde edilen baz yağ miktarı artar, yani verim artar (Şekil 4.20). [25]



Şekil 4.19 TDA prosesi



Şekil 4.20 TDA+PDA prosesi

4.3.3.1 Dehidrasyon

Bu kısımda hafif fraksiyonlar ve su giderilir. Ayrıca kullanılmış yağ, daha sonraki işlemlerde ekipmana gelecek zararları önlemek amacı ile bir katkı maddesi ile karıştırılır.

Depolama tanklarında bulunan kullanılmış yağ önce filtre edilir. Daha sonra P-301 pompası ile E-301 ısıtıcısına pompalanır. Burada yağın sıcaklığı 90°C mertebesine yükselir. Pompalar basınç kontrol sistemi ve güvenlik valfi ile donatılmışlardır. Sıcaklığın sabit kalması ise sıcaklık kontrolü ile sağlanır. İlk ısıtmadan sonra kullanılmış yağ MX-301 mekanik karıştırıcısına gönderilir. Bu karıştırıcıda P-302 pompası ile pompalanan katkı maddesi ile karıştırılır.

Kullanılmış yağ, katkı maddesi karışımı E-302 ısıtıcısına gönderilir ve 140°C'ye ısıtılır. Böylece su ve hafif fraksiyonlar (hafif gaz yağı, solventler) buharlaşır. E-302 ısıtıcısından çıkan karışımı T-301 distilasyon kulesine gönderilir. Kulenin üst kısmından su ve hafif hidrokarbonlardan oluşan buhar alınır. E-303 kondenserine gönderilir ve yoğuşturulur. Yoğuşturulan bu karışım ise V-302 separatörüne gönderilir. Kule vakum altında çalışır. Sudan ayrıştırılan gaz yağı P-304 pompası ile saklama tankına gönderilir. Atık gazlar ve su buharı J-301 ejektörü tarafından emilir. V-302 separatörüne gönderilir. T-301 kulesinden elde edilen suyu giderilmiş yağ P-303 pompası ile ara dinlendirme tankına gönderilir. Bu işlemler Şekil 4.21 ile ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

4.3.3.2 TDA

Suyu giderilmiş yağ bir vakum distilasyon kolonunda fraksiyonlara ayrıştırılır. Bu sırada asfaltik tortular kolonun alt kısmında taban ürünü olarak alınır. Gaz yağı kolonun en üst kısmından elde edilir.

Bir önceki aşamada TK-401 dinlendirme tankına gönderilen yağ bir süre bekletilir. Böylece katkı maddesi reaksiyona girer ve bir çökelti oluşturur. Bu çökelti P-415 pompası ile saklama ünitesine gönderilir.

Dinlendirme ve çökelti oluşturma işlemi sayesinde bu aşamadan sonraki ünitelerde (ısıtıcı ve distilasyon kulesi) meydana gelebilecek arızalar engellenmiş olur. Serbest yüzey P-401 pompası ile emilir ve PH-401 ısıtıcısına (fırınına) gönderilir. 350°C mertebesine ısıtılır. Isıtılan yağ C-401 kulesine gönderilir. Bu kule 15 mmHg (0,02 bar) basınç altında çalışmaktadır. Metaller, kirleticiler, asfaltik maddeler kulenin tabanında kalır. Aynı zamanda yağ 3 fraksiyona ayrıştırılır. Bu fraksiyon T-402 sıyrıcılarına gönderilir. Elde edilen ürünler

soğutulur. Vakum kulesinin alt kısmında oluşan çökelti P-402 pompası ile saklama tankına gönderilir. P-404, P406 ve P-411 pompaları riflaks oluştururlar, vakum kulesine gönderirler. Böylece meydana gelebilecek bozunmalar engellenmiş olur. Kulenin en üst kısmında elde edilen gaz yağının bir kısmı P-408 pompası ile riflaks olarak kuleye geri gönderilir. Bir kısmı E-404 ısı değiştiricisinde soğutulur ve yoğuşturucu sıvı olarak kullanılır. Fazlası ise depolama tankına gönderilir. C-401 kulesindeki vakum 3 aşamalı buhar ejektörü grubu ile sağlanır. E-405/406/407 ısı değiştiricileri kulenin üst kısmından gelen buharların yoğuşmasını sağlar. Yoğuşan karışım CS-401 tankında ayrıştırılır. Ayrışan su P-409 pompası ile su işleme birimine gönderilir. P-410 pompasında ayrıştırılan gaz yağın depolama tankına gönderir. Bu işlemler Şekil 4.22 ile ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

4.3.3.3 Hidrojen ile Muamele

TDA işleminden elde edilen fraksiyonlar hidrojen gazı ve katalizörler ile muamele edilirler. Baz yağın içinde mevcut olan organik asitler, kükürt, klor, nitrojen içeren bileşikler giderilir. Yağın rengi iyileştirilir, kokusu giderilir, termal stabilitesi artırılır ve sağlığa zararlı polinükleer aromatikler giderilir. Ayrıca VI'inde de artış gözükür. Bu işlem sırasında hidrojen gazının basıncı 105 bar'dır.

Elde edilen fraksiyonlar P-101 pompası ile H-101 ısıtıcısına gönderilir. Bu sırada hidrojen gazı ile karıştırılır (K-101 kompresörü yardımı ile). H-101 ısıtıcısında yağ 300°C'ye ısıtılır. Demetalizasyon reaktörleri R-101 A veya B'ye gönderilir. R-101 reaktörlerindeki katalizörler ile metaller ayrıştırılır. R-102 reaktörlerinde rafinasyon işlemi tamamlanır. R-102 reaktöründen elde edilen karışım V-101 separatörüne gönderilir.

V-101 separatöründe buhar ve sıvı fazları ayrıştırılır. Buhar fazı amonyak solüsyonu ve su ile karıştırılır. T-101 yıkama kulesine gönderilir. Bu kulede gazlar yoğuşturulur. Amonyak solüsyonu ile klorür, halojen asit bileşikler, hidrojen kükürt nötralize olur. Su ise amonyak tuzlarını eritmek için kullanılır. Gazlar soğutulmuş suyun sirkülasyonu ile yıkanılır. Su sirkülasyonu P-102 pompası ile sağlanır. Suyu ise E-101 hava soğutucusu soğutur. Su sirkülasyonu ile gazın sıcaklığı 50°C'ye düşürülür. Böylece geri kazanım kompresörü K-102'ye gönderilir. K-102 ile sıkıştırılan gazın bir kısmı R-102 reaktörünün giriş sıcaklığını kontrol etmede kullanılır. Geri kalan kısmı ise H-101'de ısıtılacak olan yağa karışır. V-101'den elde edilen sıvı ve T-101'den elde edilen hidrokarbonlar T-102 kulesine gönderiliyor. T-102 kulesinde buhar ile distilasyon yapılır. Buhar sayesinde mevcut olan ısı transfer yüzeyi ortadan kaldırılmış olur. Bu kule E-102 kondenseri, V-104 riflaks tankı ve P-105 riflaks tankı

ile donatılmıştır. Riflaks tankından H₂S içeren bir distilat (sıvı+buhar) çekilir. T-102 kulesinin alt kısmından ise sonlandırılmış ürün elde edilir. Yoğuşan buhar riflaks tankı V-104'te hafif hidrokarbonlardan ayrışır. Bu asidik su H₂S ile doyurulur. T-102 taban ürünleri T-103 kurutucusuna gönderilir. Bu kolonun üzerinde bir ejektör sistemi, E-104 kondenseri vardır. Kulenin alt kısmında elde edilen ve P106 pompası ile pompalanan taban ürünleri V-105 separatöründen gelen ve P-107 ile pompalanan hidrokarbonlar ile karıştırılır ve E-103 (havalı soğutucu) ile soğutularak bitmiş ürün elde edilir. Bu işlemler Şekil 4.23 ile ayrıntılı olarak gösterilmiştir

4.3.3.4 PDA

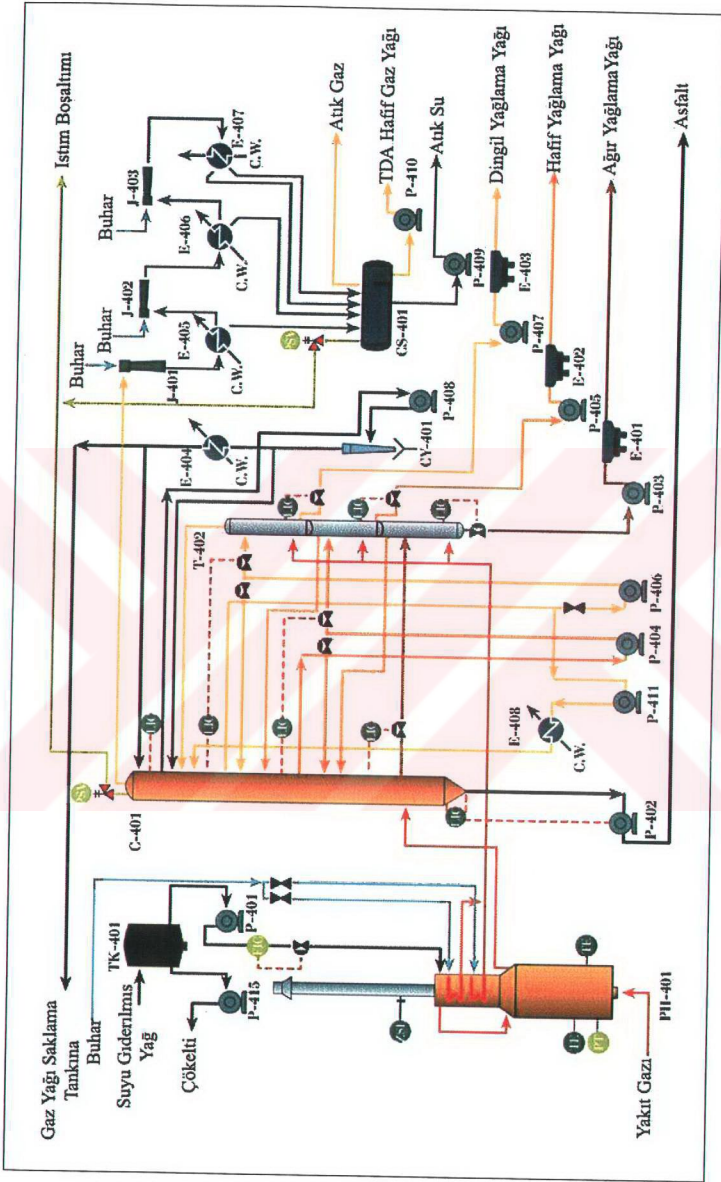
TDA işleminden elde edilen tortu propan ile muamele edilerek içindeki yağ geri kazanılır böylece verim artmış olur. Oluşan tortu miktarı azalmış olur.

Vakum distilasyon sonucunda elde edilmiş olan tortular E-201 ile 120°C mertebesine soğutulur. Eğer tortular tanklardan geliyorsa (soğuksa) bu işlem uygulanmaz. B-203 tankındaki propan P-205 pompası ile pompalanır ve P-202 pompasından gelen tortular ile karıştırılır. E-202'de ısıtılan propan, tortular ile Z-201 statik karıştırıcıda karıştırılır. Ekstraktör C-201'e gönderilir.

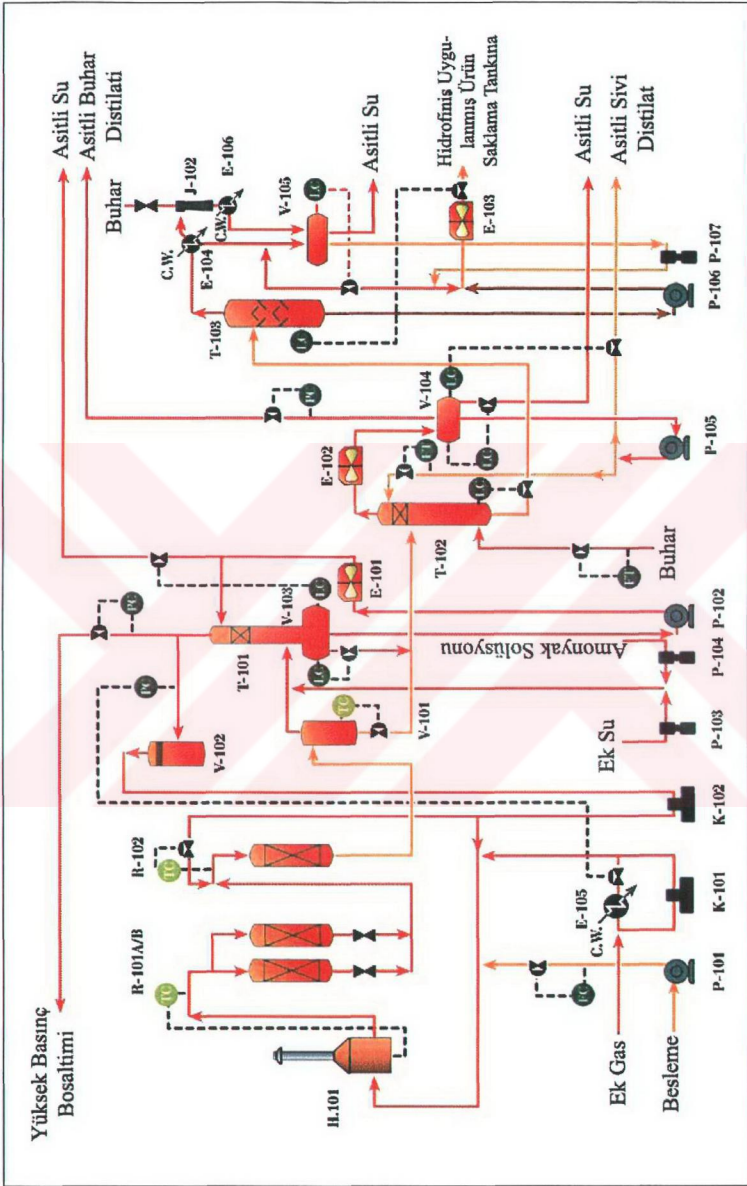
Ekstraktörde iki faz oluşur. Ağır faz tortu ve propan karışımıdır. Bu faz Z-202 karıştırıcısında bir fluksant (akıtıcı madde) yağ ile karıştırılır. C-203 kulesine girmeden önce bu karışım E-206 ile ısıtılır. Bu kulede aşırı ısıtılmış buhar tortunun içine hapsolmuş propanı ayrıştırır. Buharlar E-207'de soğutulduktan sonra B-204 yıkayıcısına gönderilir. Hafif faz yağ ile propan karışımıdır. Bu faz B-201 separatörüne gönderilir. E-204 ile ısıtılır. Oluşan propan buharları E-205 ile yoğuşturularak B-203 propan tankına gönderilir.

Elde edilen yağ hala propan içermektedir. Yüksek basınç separatörü B-201'den düşük basınç C-202 kulesine gönderilir. Buradan düşük basınçlı aşırı ısıtılmış buhar ile yağın içinde kalmış olan buhar ayrıştırılır. Elde edilen yağ P204 pompası ile depolama tankına gönderilir.

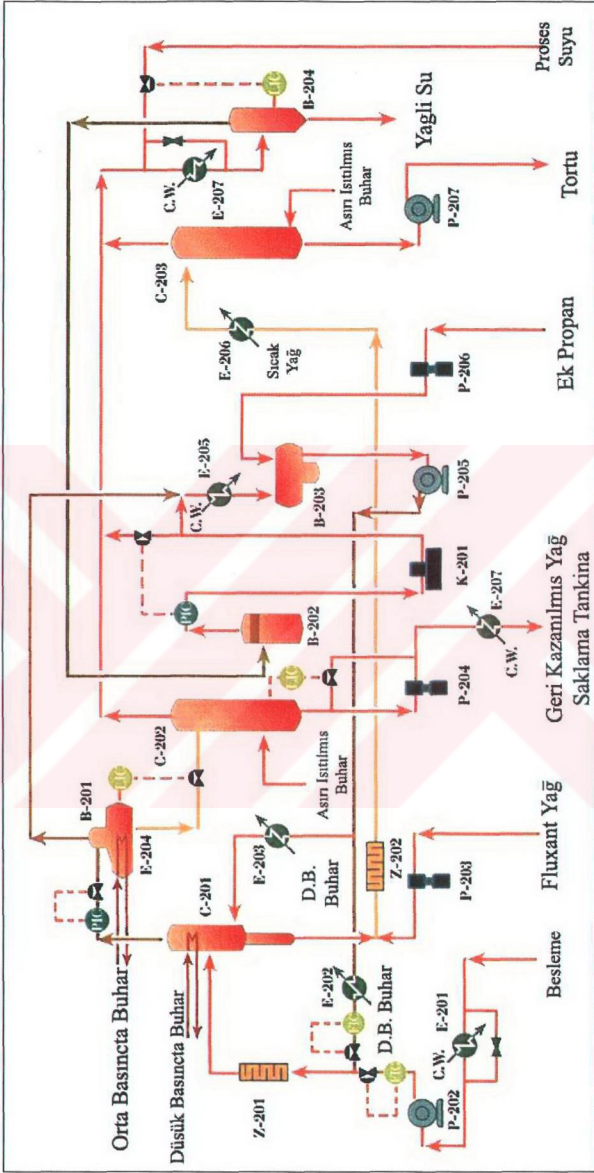
C-202'den elde edilen su ve propan buharları, C-203'ten gelen tepir ürünleri ile beraber B-204 yıkayıcısına gönderilir. B-204 yıkayıcısına gelmeden önce ise E-207 ısı değiştiricisinden geçirilir. Buradan sadece su yoğuşur. Elde edilen propan K-201 kompresöründe sıkıştırıldıktan sonra E-205 kondenseriinde yoğuşturularak B-203 tankına gönderilir. Bu işlemler Şekil 4.24 ile ayrıntılı olarak gösterilmiştir



Şekil 4.22 Viscolube TDA işlemi



Şekil 4.23 Viscolube hidrojen ile muamele işlemi



Şekil 4.24 Viscolube PDA işlemi

4.3.3.5 Viscolube Prosesi ile Elde Edilen Baz Yağ Özellikleri

Bu işlemler sonucunda 110N, 150N, 400N, 500N ve BR olarak adlandırılan baz yağ tipleri elde edilir. Buna ek olarak bölüm 4.1.4'te Viscolube tarafından elde edilmiş ürün özellikleri verilmiştir. Viscolube şirketini diğerlerinden ayıran en önemli özelliği ise API Grup II baz yağ üretebiliyor olmasıdır. Çizelge 4.5'te Viscolube tarafında üretilen baz yağların özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 4.5 Viscolube baz yağ özellikleri

Ürün Özellikleri	110N	150N	400N	500N	BR
Kinematik Viskozite, cSt					
40°C	25~28	30~32	56~60	95~101	320~330
100°C	4,8	5,3	8,0	11,1	25
VI	100	100	98	98	98
Alevlenme Noktası, °C	210	220	236	246	260
Akma Noktası, °C	-9	-9	-9	-9	-9
PNA* Ağırlık %'si	1,2	0,36	0,35	0,32	0,2

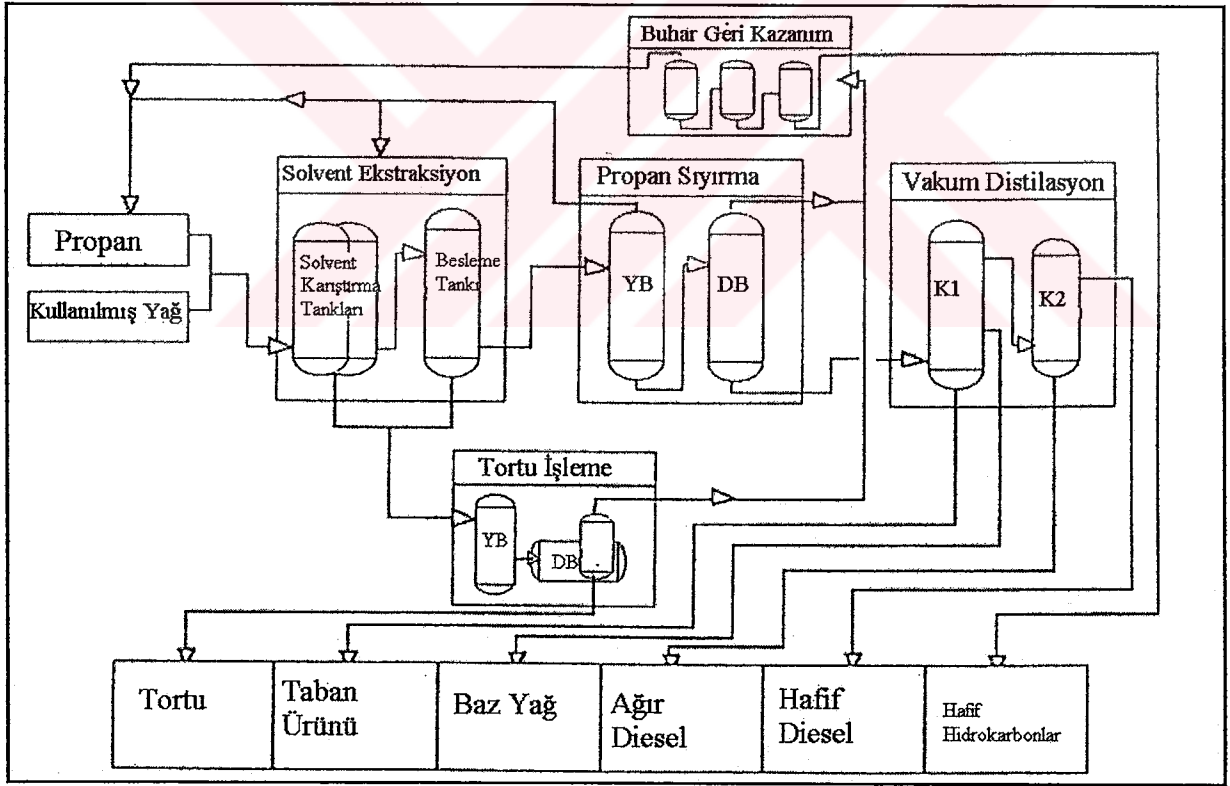
4.3.4 Interline Resources Solvent Ekstraksiyon Prosesi

Bu proses sıvı propan ile ekstraksiyon işlemine dayanmaktadır. Kuzey Amerika, Utah'da; İngiltere'de, İspanyada ve Güney Kore'de bu prosesi kullanan tesisler bulunmaktadır. Kullanılmış yağ içinde asılı kalmış olan katıları, kirleticileri, ve asfaltik hidrokarbonları ayırtırmak için solvent ekstraksiyonuna maruz bırakılarak çoğunlukla yağlama yağı içeren ağır hidrokarbonlardan oluşan bir ekstrat elde edilir. Yağ içeren karışımdaki solvent yağdan ayrıştırılır. Vakum distilasyon sırasında renkte bozunmaya sebep olan naftenik asitler ile tepkimeye girmesi için kostik enjekte edilir. Distilasyon sonucunda diesel fraksiyonu, SN150, SN300 ve SN500 elde edilir. Kulenin altında kalan çökeltiler ve ekstraksiyon çökeltilerinden fuel oil elde edilir. İspanya tesisinden %70 oranında baz yağ, %5 su, %1 benzin, %6 diesel, %18'de asfalt elde edilmektedir. İnternet sitesinde ise bu oranlar %74 baz yağ, %5 su, %3 yakıt, %18 asfalt olarak bildirilmiştir. Şekil 4.25'te işlemler blok diyagram olarak

* PNA: Poli Nükleer Aromatik

gösterilmiştir. Atık yağ ve solvent propan eşzamanlı olarak solvent ekstraksiyon tanklarına pompalanır. Ekstraksiyon sonucunda oluşan çökelti (bu çökelti propan da içerir) içindeki propanı ayırıştırmak üzere çökelti işleme ünitesine gönderilir ve çökelti depolanır. Atık yağ-propan karışımı solüsyon tankına alındıktan sonra propan ayırıştırılır, sonrasında da vakum distilasyon uygulanır. (Kayam, 2001) [11, 12]

Propan sıyırma işlemi (i) yüksek basınçta, (ii) düşük basınçta olmak üzere iki aşamada gerçekleşir. Ekstrakt ısıtılır ve yaklaşık 15 bar basınçta buharlaştırılır (propanın büyük bir kısmı geri kazanılmış olur). Geriye kalan karışım atmosferik basınçta başka bir tankta tekrar ısıtılarak, geriye kalan propan, hafif hidrokarbonlar ve su buharlaştırılır, ayırıştırılır. Yağ iki aşamalı bir ünite ile vakum distilasyon yapılır. Isıtılan yağ yüksek vakumun sağlandığı vakum kulesine gönderilir. Bu kulede atık yağ diesel yakıtı, yağlama yağı ve çökelti olarak ayırışır. Hem yağ hem de diesel yakıtı ikinci kulede tekrar distile edilir. Elde edilen ürünler soğutulur ve ayrı ayrı saklanır.



Şekil 4.25 Interline prosesi

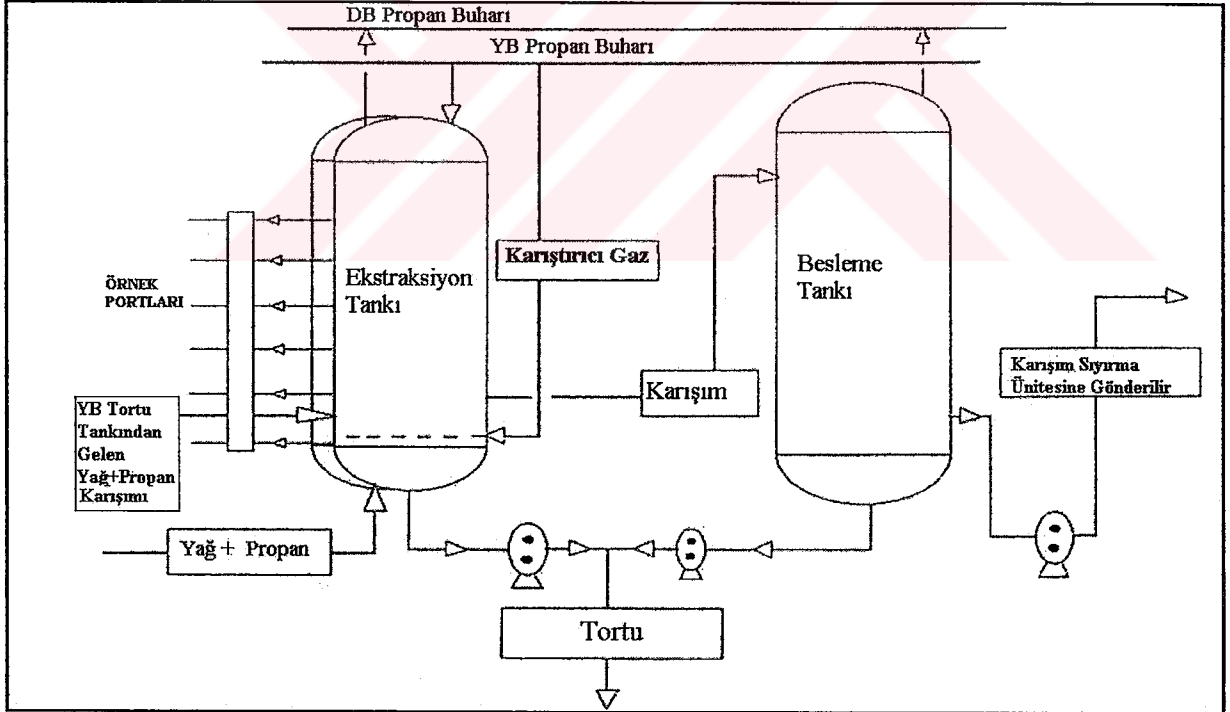
4.3.4.1 Solvent Ekstraksiyon

Atık yağ tortulardan kurtulmak için propan ile karıştırılır. Bu karışım bu sistemin en önemli işlemidir. Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Atık yağın propan ile ekstraksiyonudur. Atık yağ ve

propan, ekstraksiyon tankının altından verilen propan gazı ile belli oranlarda karıştırılır. Yağ propanın içinde çözünür ve yağ dışındakiler bir çökelti oluşturur. Çökelti tankın alt kısmında birikir. Yağ-propan çözeltisine çeşitli işlemler uygulanır. Bunlar:

- Toplu yükleme: Önceden belirlenen miktarda yağ ve propan tank'a gönderilir.
- Süzme: Tankın altından verilen propan buharı ile tam karıştırma sağlanır. Bu işlem sırasında yağ propanın içinde çözünür ve yağ-propan çözeltisi oluşur. Çözünmeyen maddeler ise tortu (çamur) fazını oluşturur.
- Dinlendirme: yağ-propan çözeltisi bir süre dinlendirilir. Tortular tankın dibinde birikir. Çökelen tortular bu evrede dışarı pompalanır.
- Transfer: Yağ-propan çözeltisi, propan buharı yukarıdan çıkacak şekilde basınç ile yer değiştirilerek solüsyon besleme tankına transfer olur. Tankın içindeki solüsyon akış yönünde diğer ünitelere sürekli pompalanır.

Yağ-propan karışımı bir işlemler topluluğu olduğu için art arda dizilmiş 2 adet tank kullanılır; böylece birinde bir işlem yapılırken diğerinde de başka bir işlem yapılır.

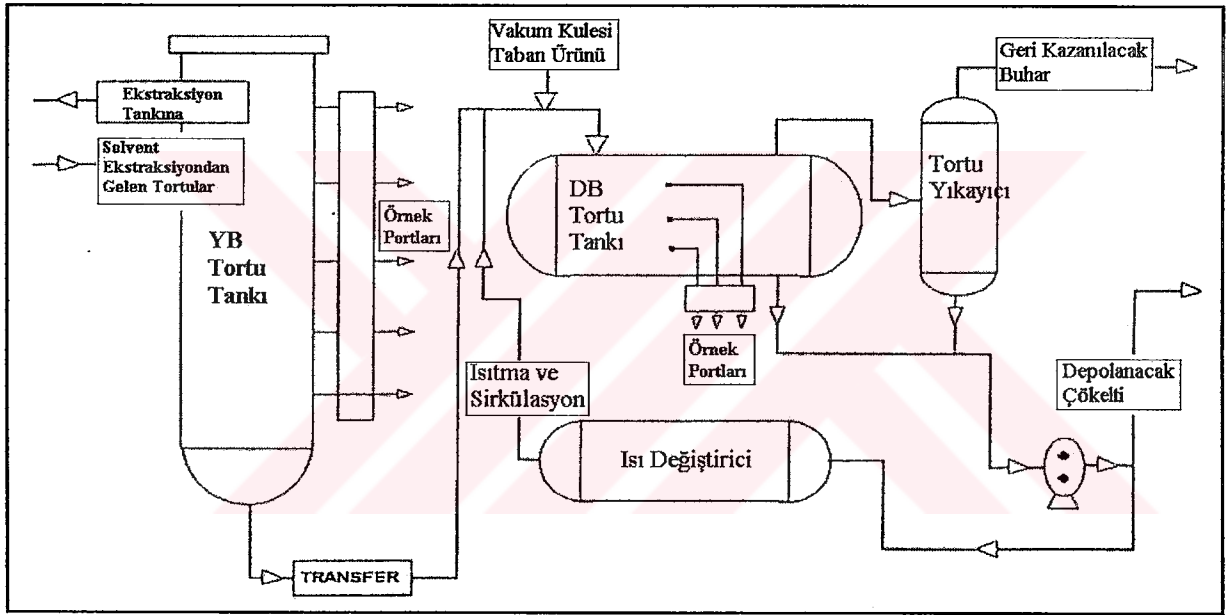


Şekil 4.26 Solvent ekstraksiyon işlemi

4.3.4.2 Tortu (Çökelti) İşleme:

Ekstraksiyon sonucunda oluşan çökelti içindeki propan ayrıştırılır. Propandan ayrıştırılmış çökelti yakıt yapmak üzere depolanır. Bu ünite gerçekleştirilen işlemler Şekil 4.27 ile

gösterilmiştir. Ekstarksiyon sırasında oluşan tortu, içinde kalmış olan yağ-propan karışımından ayırmak için, başka bir tanka (yüksek basınçlı tortu tankı) pompalanır. Tortunun içinde kısılıp kalmış propanın bir kısmı da bu aşamada kaçar, ayrıştırılmış propan ve propan-yağ çözeltisi taşma borusundan yağ-propan tankına geri gider. Bu tanktaki tortu atmosferik basınca yakın bir basınçta tutulan, ısısı artırılmış bir diğer tanka (düşük basınç tortu tankına) transfer edilir. Distilasyon kulesinde oluşan tortular (çökeltiler) da tortuyu karıştırarak seyreltmek için bu tanka transfer edilir. Tortunun içinde kısılmış olan propanın nerdeyse tümü giderilir ve sıvı formunda tortu karışımı geriye kalır. Buhardaki herhangi bir tortu yıkayıcıdan geçer ve tortudan arındırılmış buhar, Buhar Geri Kazanım Ünitesine gönderilir. Bu ünite de propan geri kazanılır.



Şekil 4.27 Çökelti işleme

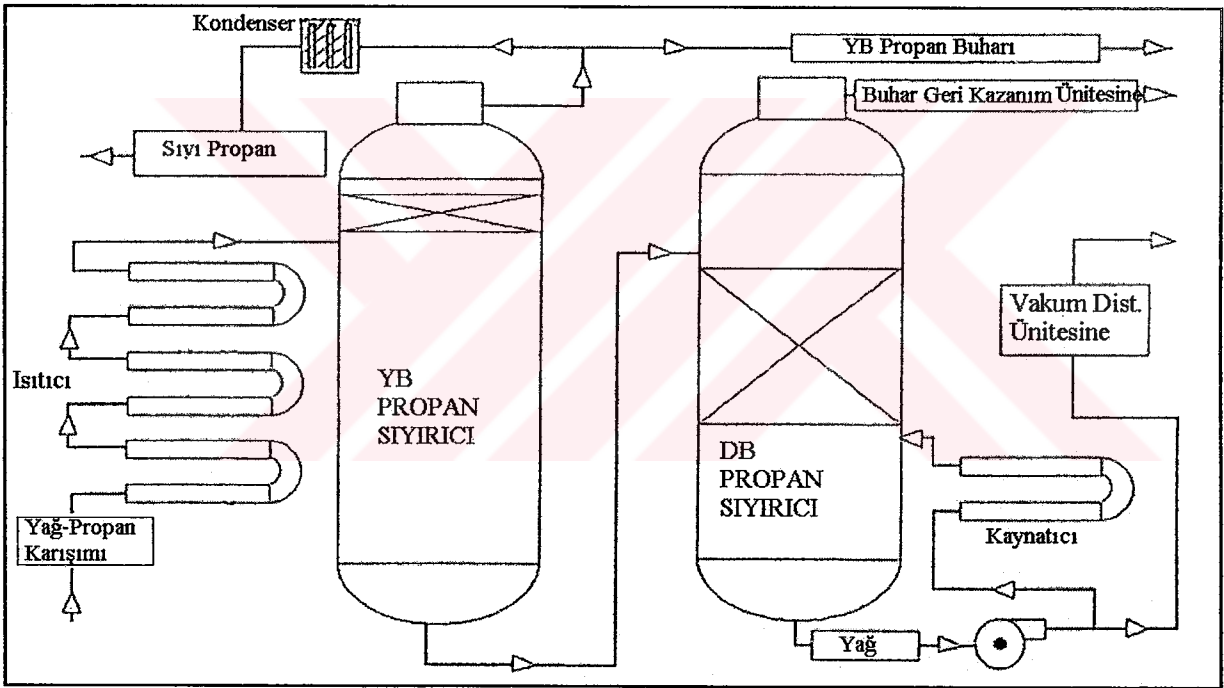
4.3.4.3 Solvent Sıyırma:

Temiz yağ elde etmek için yağın içindeki propan sıyırılır. Bu ünite de propanın yanı sıra su ve bazı hidrokarbonlar da yağdan ayrıştırılır. Atık yağ propan karışımı kostik soda ile kimyasal işleme tabi tutulur. Kostik solüsyonu propan sıyırma safhasında, yüksek basınçta sıyırma işleminden önce sıyırıcı ısı değiştiricilerinde verilir. Kostik naftenik asitler ile tepkimeye girer. Kostik soda solüsyonu ile yağın içindeki naftenik asitler nötralize olur. Belirli bir güçteki kostik, solvent sıyırma sırasında, istenen oranda yağa karıştırılır. Kostik distilasyon sonrası oluşacak bazı yağların rengini iyileştirir.

Solvent sıyırma, ekstraksiyon için kullanılan propanın geri kazanıldığı ünite dir. Şekil 4.28'de

şematik olarak gösterilmiştir. Propan sıyırma iki aşamada gerçekleşir. İlk olarak yüksek basınçta, ikinci olarak ise düşük basınçta gerçekleşir.

- Yüksek Basınçta Propan Sıyırma: Yağ propan karışımı, solüsyon besleme tankından dışarı pompalanır ve bir seri ısı değiştiriciden geçer; ısıtılır. Basıncın 15,17 bar ile 18,61 bar arasında tutulduğu bir tankta buharlaştırılır. Propan-yağ çözeltisinin içindeki propan buharlaşır ve hava fanları ile yoğuşturulur. Açığa çıkan propan buharının bir kısmı propan ve yağı karıştırmak için kullanılır.
- Düşük Basınçta Propan Sıyırma: Yüksek basınç sıyırma ünitesinden çıkan sıvılar neredeyse atmosferik basınçtaki bu üniteye gelir. Bu tankın içindeki sıvıların sıcaklığı alt kısmında bulunan bir kazan ile yüksek tutulur. Geriye kalan propan, su ve hafif hidrokarbonlar buharlaşır; Buhar Geri Kazanım Ünitesine gönderilir. Yağ bir sonraki aşamaya gönderilir.

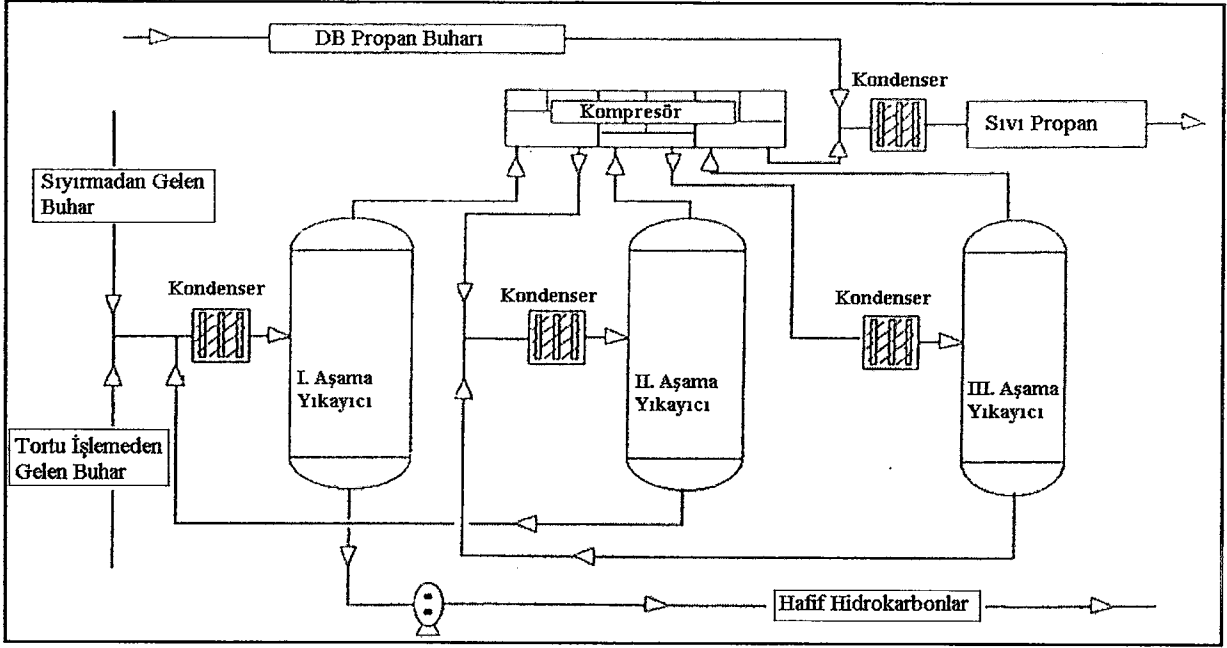


Şekil 4.28 Propan sıyırma

4.3.4.4 Buhar Geri Kazanımı

Solvent sıyırma işleminden elde edilen düşük basınçlı propan ve hafif hidrokarbonlar çeşitli işlemler ile birbirlerinde ayrıştırılırlar. Bütün buharlar VRU ünitesi ile geri kazanılır. Buharların büyük bir çoğunluğu propan içerir, propanın yanı sıra hafif hidrokarbonlar ve su da mevcuttur. VRU içinde soğutucular ve flash tankları olan 3 aşamalı buhar kompresörüdür. Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Hafif hidrokarbonlar yıkayıcılarda sıvılaşır ve propandan ayrışır. Sıkıştırılmış propan buharı üniteden çıkar ve hava fanları ile soğutularak depolama tankına

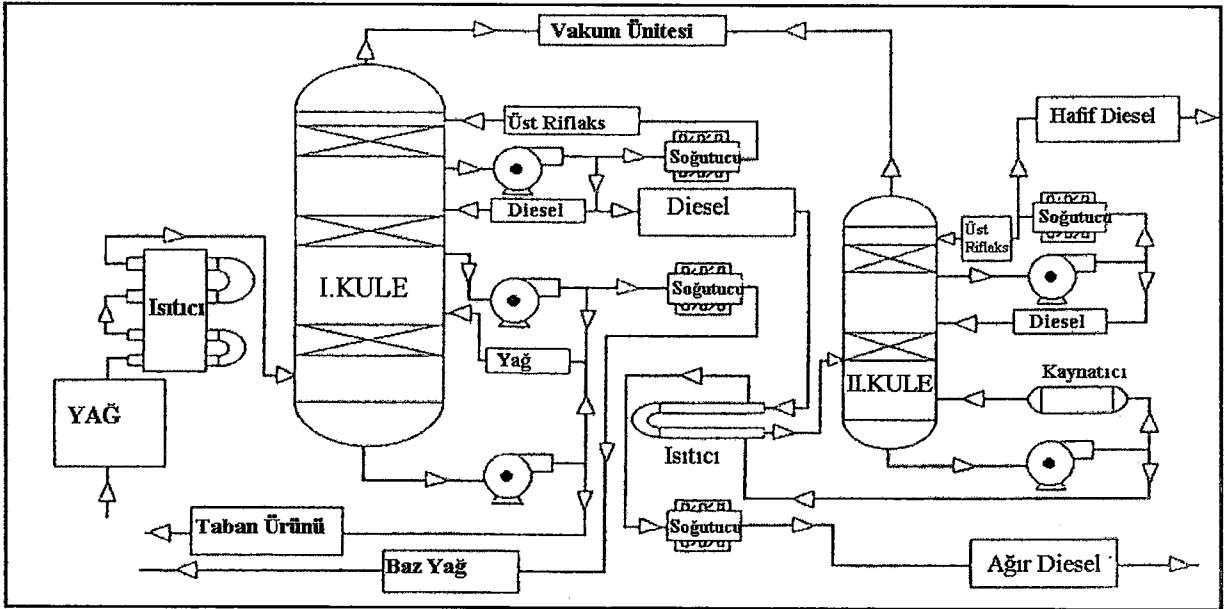
gönderilir.



Şekil 4.29 Buhar geri kazanım ünitesi

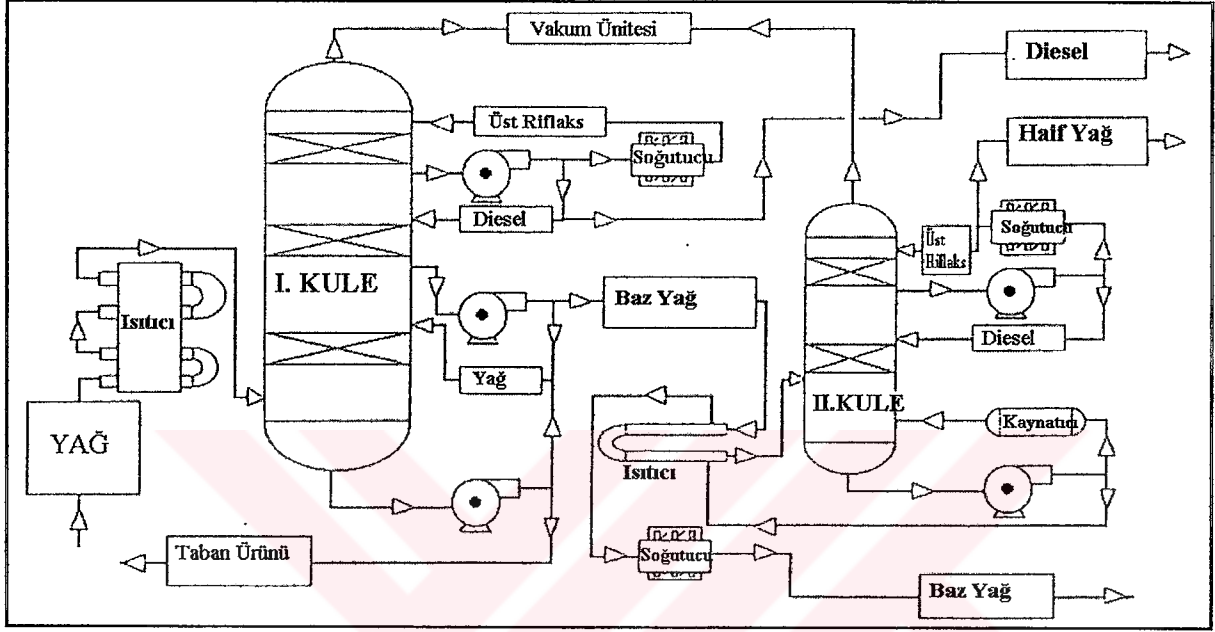
4.3.4.5 Distilasyon

Yağ vakum iki aşamalı bir vakum distilasyon ile diesel yakıtı, baz yağlar ve çökeltiye ayrıştırılır. Distilasyon çok önemlidir çünkü ürün kalitesini ve miktarını belirler. Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32 ile gösterilmiştir.

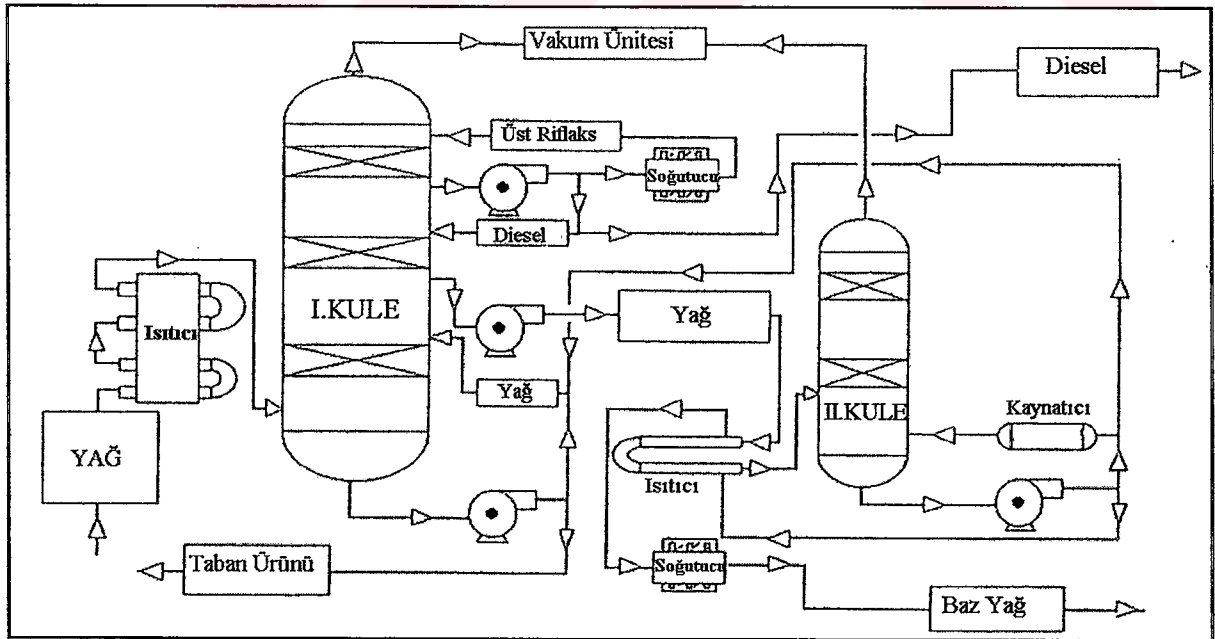


Şekil 4.30 II. Kulede dizel distilasyonu

Yağ içindeki çeşitli hidrokarbon fraksiyonları distilasyon ile istenilen şekilde ayrıştırılır. Yağ 354°C ile 365°C'ye ısıtılır ve vakum distilasyon kulesine (kule 1) gönderilir. Kule 1'de yüksek vakum (kulenin tepesindeki mutlak basınç 0,0133 bar ~ 0,0067 bar arasında) uygulanır.



Şekil 4.31 II. Kulede yağın tekrar distilasyonu



Şekil 4.32 I.Kule için gerekli yağ riflaksının II. kuleden alınması

Yağ; diesel, baz yağ ve ağır fraksiyonlar olarak ayrışır. İstenen ürün özelliğine göre ya diesel yada yağ fraksiyonu ikinci bir kulede damıtılır; hafif ve ağır fraksiyonlara ayrıştırılır. Ürünlerin özellikleri (viskozite, renk vs.), vakum, sıcaklık, geri akış (riflaks) parametreleri kontrol edilerek sağlanır.

4.3.4.6 Interline Resources Baz Yağ Özellikleri

Aşağıdaki çizelgeler incelendiğinde elde edilen ürünlerde özellik kükürt oranının yüksekliği dikkati çekmektedir. Bunun sebebi Interline şirketinin elde edilen baz yağa herhangi bir sonlandırma işlemi uygulamamasıdır.

Çizelge 4.6 Interline Resources baz yağ özellikleri

Ürün Özellikleri	SN150	SN350	SN350*	SN500
Kinematik Viskozite, cSt	Min.30,0	Min.62,6	62,9	Min.80,0
KV 40°C	Min.5,0	Min.8,8	8,34	Min.10,5
KV 100°C				
VI	Min.95	Min.95	102	Min.95
Alevlenme noktası, °C	200	228	254	228
Kül, Ağırlık %'si	0,003	0,003	-	0,003
Kükürt, Ağırlık %'si	Maks. 0,7	1,0	0,035	1,0
Renk	Maks. 3,5	4,0	-	4,5
Akma Noktası, °C	-3	-3	-9	-3
Yoğunluk, 15°C gm/c ³	0,88 – 0,90	0,885 – 0,895	0,8766	0,885 – 0,895

4.3.5 Geri Kazanım ile Üretilen Baz Yağların Karşılaştırılması

Geri kazanım prosesleri ile elde edilen baz yağların özelliklerini, daha doğrusu baz yağ

* Interline şirketinin İspanyadaki tesisinde üretilen SN350'nin özellikleri. Özellikle kükürt konsantrasyonunun düşüklüğü dikkat çekici. Ayrıca şirket, Ca, Mg, Zn değerlerini Oppm olarak açıklıyor.

pazarında satılan ürünlerle benzer özellikler sahip olup olmadıklarını anlamak için karşılaştırma yapılmıştır (Çizelge 4.7). Benzer özelliklere sahip olmaları kullanılmış yağdan elde edilen baz yağların pazarlanabilir olması açısından çok önemlidir. Karşılaştırma için 150N veya Hafif Baz yağ olarak adlandırılan baz yağ tipi seçilmiştir. Bunun sebebi motor yağı yapımında en çok bu tip madeni yağın kullanılmasıdır.

Çizelge 4.7 Farklı üreticilere ait baz yağların karşılaştırılması

Özellik	TÜPRAŞ Light Neutral	Exxon Mobil AP/E Core 150	CEP 100N*	Viscolube 150N	Interline SN150
Kinematik Viskozite, cSt					
KV 40°C (cSt)	-	30,76	20,1	30~32	30,0 min.
KV 100°C (cSt)	5,2-5,7	-	4,15	5,3	5,0 min.
VI	100	101	90	100	95 min.
Alevlenme noktası, °C	220	220	365	220	200
Akma Noktası, °C	-12	-13	10	-9	-3
Kül, Ağırlık %'si	-	-	0,05	-	0,003
Kükürt, Ağırlık %'si	-	-	<0,001	0,0008	0,7 maks.

Baz yağların özellikleri karşılaştırıldığında Interline Resources şirketinin ürettiği yağın kükürt oranının, 1996 yılında açıklanan değerlere bakıldığında, yüksekliği dikkati çekmektedir.

Çizelge 4.6'da İspanya rafinerisinin Temmuz 2004 itibari ile ürettiği SN350 baz yağın verileri vardır ve kükürt oranının sadece 350ppm olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle Interline da oldukça kaliteli ürünler üretebilmektedir.

Viscolube ise geri kazanım ile elde edilmiş baz yağlar içinde en iyi özelliklere sahip olandır. Sadece Viscolube'un ürettiği ürünler API Grup II'ye girebilecek özelliktedir. CEP'in ürün özellikleri Çizelge 4.8'te 100N'e denk baz yağlar ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma CEP'in ürünlerinin madenilere benzer olup olmadığını anlamak açısından önemlidir.

* CEP firması 150N'e denk gelen baz yağın özelliklerini açıkladığı için karşılaştırmada bu ürün kullanılmıştır.

Çizelge 4.8 100N baz yağların CEP 100N baz yağ ile karşılaştırılması

Özellik	TÜPRAŞ Spindle Oil	Exxon Mobil AP/E Core 100	CEP 100N	Viscolube 150N
Kinematik Viskozite, cSt				
KV 40°C	-	19,96 cSt	20,1	25~28
KV 100°C	3,3-4,0	-	4,15	4,8
VI	95	99	90	100
Alevlenme noktası, °C	180°C	216°C	365	210
Akma Noktası, °C	-15°C	-18°C	10	-9
Kül, Ağırlık %'si	-	-	0,05	-
Kükürt, Ağırlık %'si		-	<0,001	0,0005

CEP'in ürettiği baz yağ Viskozite değerleri bakımından diğer ürünlere benzemektedir. Kükürt oranı da oldukça düşüktür. Sonuç olarak, geri kazanım prosesleri ile petrolden elde edilen baz yağlara yakın özelliklere sahip baz yağlar, hatta zaman zaman daha iyi baz yağlar üretilmesi mümkündür.

5. KULLANILMIŞ MOTOR YAĞI GERİ KAZANIM PROSESLERİNİN EKONOMİK YÖNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Baz yağ elde etmek için kullanılan sistemler ekonomik yönden değerlendirilmeye alınmıştır. Bu sistemler; Asit-Kil Prosesi, CEP Prosesi, Viscolube Prosesi ve Interline Prosesidir. Değerlendirmede sistemlerin gelir ve giderleri, kâr oranları, geri ödeme süreleri, baz yağ maliyetleri hesaplanmıştır.

5.1 Ekonomik Değerlendirme Prosedürü

- Sabit Yatırım Gideri, Ali vd. (1995) ve TNSC'de (2001) kapasiteye bağlı olarak belirtilen değerlerin eşitlik (5.1) ile belirlenen kapasite değerine uyarlanması ile belirlenecektir. Birden fazla değer var ise eşitlik (5.2) ile bu değerlerin ortalaması alınmıştır. İki ayrı tesis kapasitesi belirlenmiştir. İlk tesis kapasitesi yağ üreticileri tarafından toplanacak yıllık ortalama değer olan 40kt'dur. İkinci tesis kapasitesi ise Türkiye'de oluşan toplam kullanılmış yağ miktarı olan 100kt'dur.

$$SYG = SYG_k \times \frac{ITK}{KBTK} \quad (5.1)$$

$$SYG_{Ort} = \frac{(SYG_1 + SYG_2 + \dots + SYG_n)}{n} \quad (5.2)$$

- Döner Sermaye Yatırım Gideri, şirketin ilk üretime geçtiği zaman belirli bir süre hammadde alabilecek, maaşlarını, enerji tüketimini karşılayabilecek olması demektir. Hesaplarda tesisin ilk yıl kapasitesinin %60'ını kullanacağı kabul edilmiştir. Döner Sermaye Gideri %60 kapasite kullanarak üretim yapılacak bir yılda 3 aylık cirodur. Döner sermaye gideri tesisin 1. yıl kapasite kullanım oranı, tesisin yıllık kapasitesi, 1 ton baz yağın vergiler hariç bedeli, 3 aylık süre dikkate alınarak (5.3) eşitliği ile hesaplanmıştır. 1 ton baz yağın vergiler hariç bedeli [23]'ten 428\$ olarak alınmıştır.

$$DSYG = KKO \times Tesis \text{ Kapasitesi} \times Baz \text{ Yağ Değeri} \times Süre \quad (5.3)$$

- Borç Anapara ve Faiz Ödeme Planı, borç alınan miktarın eşit taksitler halinde geri ödenmesi ve her sene kalan borç miktarı üzerinden faiz ödenmesidir. Borç Anapara eşitlik (5.4) ile hesaplanmıştır. Anapara Taksiti eşitlik (5.5) ile gösterilmiştir. Faiz Tutarı ise eşitlik (5.6) ile gösterilmiştir. Tesis yatırımı için gerekli miktarın tamamının borç alınması ve alınan borcun 10 yılda %6 faiz oranı ile ödenmesi öngörülmüştür. Geri ödemenin tesisin işletmeye gireceği yıl (2006) başlayacağı kabul edilmiştir.

$$BorçAnapara = SYG + DSYG \quad (5.4)$$

$$\text{Anapara Taksidi} = \frac{\text{Borç Anapara}}{\text{Borç Ödeme Süresi}} \quad (5.5)$$

$$\text{Faiz Tutarı} = (\text{Kalan Borç} - \text{Anapara Taksidi}) \times \text{Faiz Oranı} \quad (5.6)$$

- Amortisman Değeri, Amortisman Tabi Değerin Amortisman Oranı ile çarpılması ile bulunur. Amortisman Tabi Değer eşitlik (5.7), Amortisman Oranı eşitlik (5.8) ve Amortisman Değeri eşitlik (5.9) ile hesaplanmıştır. Amortisman Süresi 15 yıl seçilmiştir.

$$\text{Amortisman Tabi Değer} = \text{SYG} - \text{Arsa Değeri} \quad (5.7)$$

$$\text{Amortisman Oranı} = \frac{1}{\text{Amortisman Süresi}} \quad (5.8)$$

$$\text{Amortisman Değeri} = \text{Amortisman Tabi Değer} \times \text{Amortisman Oranı} \quad (5.9)$$

- Hammadde Gideri, 1 ton baz yağ üretmek için gerekli kullanılmış yağın maliyetidir. Eşitlik (5.10) kullanılarak hesaplanmıştır. İki ayrı senaryo üzerinde çalışılmıştır. İlk senaryoda tesislere gerekli kullanılmış yağın tamamının yağ üreticileri tarafından sağlanacağı ve hammadde giderinin sıfır olacağı kabul edilmiştir. İkinci senaryoda ise 1 ton kullanılmış yağın geri kazanım tesisine 30\$'a mal olacağı kabul edilmiştir.

$$\text{Hammadde Gideri} = 1 \text{ ton Kullanılmış Yağ Bedeli} \times \left(\frac{1}{\text{Tesis Verimi}} \right) \quad (5.10)$$

- Yardımcı madde ve malzeme giderleri ve enerji giderleri ait tüketim miktarları Ali vd. (1995), TNSC (2001), Interline (2004) ve [25]'ten elde edilmiştir. Tüketilen malzemelerin ve enerjinin birim değerine KDV ve ÖTV dahil edilmemiştir. Bunun sebebi baz yağ üretildiğinde bu vergilerin mahsup yolu ile düşülecek olmasıdır. Buhar firmalar tarafından bir tüketim kalemi olarak gösterilmiş ve birim fiyatı Ali vd.'den (1995) 4,63\$/ton olarak alınmıştır. Hidrojen fiyatı Doty (2004) göre 7,3\$/kg'dır. Propanın fiyatı ise Karbogaz A.Ş.'den 1,16\$/kg olarak alınmıştır. Su fiyatı İSKİ'den alınmıştır ve yurtdışındaki fiyatlara göre 3-4 kata daha pahalı olduğu gözlenmiştir. Gaz yağı, fuel oil, diesel, benzin, asfalt değerleri [23]'ten alınmıştır.
- Personel ve İşçi Giderleri, bir şirkette bulunması gereken kadrolar göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Fabrika kısmının 3 vardiya ile çalışacağı ve çalışan sayısının toplam 9 kişi olacağı kabul edilmiştir.
- Bakım ve Onarım Giderleri, 40kt kullanılmış yağ işleyecek bir tesis için 330.000\$/yıl, 100kt'luk bir tesis için ise 825.000\$/yıldır. (Interline, 2004)
- Genel Giderler, Sabit Sermaye Giderinin %1'i olarak belirlenmiştir.

- Satış Giderleri, üretilen her 1 ton baz yağ için 20\$ olarak kabul edilmiştir.
- İşletme Gideri hammadde, yardımcı madde ve malzeme, enerji, personel ve işçi, bakım ve onarım, genel ve satış giderlerinin toplamıdır. İşletme giderleri hesaplanırken her bir tesisin verimi ve kapasite kullanım oranları göz önünde bulundurulmuştur; çünkü tüketilecek madde miktarı bu değere göre değişir. Eşitlik (5.11) ile gösterilmiştir. Tesis verimleri Asit-Kil için %65, CEP için %72, Interline için %74, Viscolube için %77 olarak alınmıştır. Kapasite Kullanım Oranının ilk yıl %60'dan başlayıp ve her yıl %10 artarak %90'a çıkması öngörülmüştür.

$$\text{Üretilcek Baz Yağ Miktarı} = \text{Tesis Kapasitesi} \times \text{Tesis Verimi} \times \text{KKO} \quad (5.11)$$

- Tesis Yıllık Net Kârı eşitlik (5.12) ve (5.13) kullanılarak hesaplanmıştır. Ciro 1 yıl boyunca yapılacak satışlardan elde edilen gelirdir. Gelir eşitlik (5.14) ile hesaplanmıştır. Kurumlar vergisi oranı %35'dir.

$$\text{Brüt Kâr} = \text{Gelir} - \text{İşletme Gideri} - \text{Faiz} - \text{Amortisman Değeri} \quad (5.12)$$

$$\text{Eğer, Brüt Kâr} \leq 0 \Rightarrow \text{Net Kâr} = \text{Brüt Kâr} \quad (5.13)$$

$$\text{Eğer, Brüt Kâr} > 0 \Rightarrow \text{Net Kâr} = 0,65 \times \text{Brüt Kâr}$$

$$\text{Gelir} = \text{Tesis Kapasitesi} \times \text{KKO} \times 428\$ \quad (5.14)$$

- Geri Ödeme Süresi (GÖS), bir proje değerlendirme aracıdır. Tesisin Net Kârları toplamının İlk Yatırım Tutarına (İYT) eşit olduğu yıl sayısıdır ve eşitlik (5.16) ile hesaplanmıştır. İlk Yatırım Tutarı eşitlik (5.15) ile hesaplanmıştır. Geri ödeme süresi olarak borç geri ödeme süresi olan 10 yıl seçilmiştir.

$$\text{İYT} = \text{SYG} + \text{DSYG} \quad (5.15)$$

$$\text{İYT} = \sum_{i=1}^n \text{Net Kâr} \Rightarrow \text{GÖS} = n \quad (5.16)$$

- 1 ton Baz Yağ Maliyeti eşitlik (5.17) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Baz Yağ Maliyeti} = \left[\frac{(\text{İşletme Gideri} + \text{Faiz Gideri} + \text{Amortisman})}{\text{Üretim Miktarı}} \right] \quad (5.17)$$

- Kâr Oranı, tesisin Net Kâr'ının Ciroya olan oranıdır ve eşitlik (5.18) ile gösterilmiştir.

$$\text{Kâr Oranı} = \frac{\text{Net Kâr}}{\text{Ciro}} \quad (5.18)$$

5.2 Geri Kazanım Tesisi Sabit Sermaye Yatırım Gideri

Çizelge 5.1 Tesislerin sabit sermaye yatırım giderleri

Tesis Tipi	Asit-Kil	CEP	Interline	Viscolube
SYG (1000\$)				
40kt/yıl	25.152	20.396	14.630	22.400
100kt/yıl	62.880	50.990	36.575	56.000

5.3 Geri Kazanım Tesisi Döner Sermaye Yatırım Gideri

Çizelge 5.2 Döner Sermaye Yatırım Gideri

Kapasite	Döner Sermaye Yatırım Gideri (1000\$)
40kt/yıl	2.568
100kt/yıl	6.420

5.4 Geri Kazanım Tesisi Borç Anapara ve Faiz Ödeme Planı

Çizelge 5.3 100kt/yıl kapasiteli Asit-Kil tesisinin ödeme planı

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anapara Taksiti (1000\$)	6.430	6.430	6.430	6.430	6.430	6.430	6.430	6.430	6.430	6.430
%6 Faiz (1000\$)	4.158	3.772	3.386	3.000	2.614	2.229	1.843	1.457	1.071	685
Toplam (1000\$)	10.588	10.202	9.816	9.430	9.044	8.659	8.273	7.887	7.501	7.115

Çizelge 5.4 40kt/yıl kapasiteli Asit-Kil tesisinin ödeme planı

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anapara Taksiti (1000\$)	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522
%6 Faiz (1000\$)	1.663	1.511	1.360	1.209	1.057	906	755	603	452	301
Toplam (1000\$)	4.185	4.033	3.882	3.731	3.579	3.428	3.277	3.125	2.974	2.823

Çizelge 5.5 100kt/yıl kapasiteli CEP tesisinin ödeme planı

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anapara Taksiti (1000\$)	5.241	5.241	5.241	5.241	5.241	5.241	5.241	5.241	5.241	5.241
%6 Faiz (1000\$)	3.444	3.130	2.815	2.501	2.186	1.872	1.557	1.243	928	614
Toplam (1000\$)	8.685	8.371	8.056	7.742	7.427	7.113	6.798	6.484	6.169	5.855

Çizelge 5.6 40kt/yıl kapasiteli CEP tesisi ödeme planı

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anapara Taksiti (1000\$)	2.046	2.046	2.046	2.046	2.046	2.046	2.046	2.046	2.046	2.046
%6 Faiz (1000\$)	1.377	1.255	1.132	1.009	886	763	641	518	395	272
Toplam (1000\$)	3.424	3.301	3.178	3.055	2.933	2.810	2.687	2.564	2.441	2.319

Çizelge 5.7 100kt/yıl kapasiteli Interline tesisi ödeme planı

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anapara Taksiti (1000\$)	3.799	3.799	3.799	3.799	3.799	3.799	3.799	3.799	3.799	3.799
%6 Faiz (1000\$)	2.579	2.351	2.123	1.895	1.667	1.439	1.211	983	755	527
Toplam (1000\$)	6.379	6.151	5.923	5.695	5.467	5.239	5.011	4.783	4.555	4.327

Çizelge 5.8 40kt/yıl kapasiteli Interline tesisi ödeme planı

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anapara Taksiti (1000\$)	1.469	1.469	1.469	1.469	1.469	1.469	1.469	1.469	1.469	1.469
%6 Faiz (1000\$)	1.031	943	855	767	679	590	502	414	326	238
Toplam (1000\$)	2.501	2.413	2.325	2.237	2.148	2.060	1.972	1.884	1.796	1.707

Çizelge 5.9 100kt/yıl kapasiteli Viscolube tesisi ödeme planı

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anapara Taksiti (1000\$)	5.742	5.742	5.742	5.742	5.742	5.742	5.742	5.742	5.742	5.742
%6 Faiz (1000\$)	3.745	3.400	3.056	2.711	2.367	2.022	1.678	1.333	989	644
Toplam (1000\$)	9.487	9.142	8.798	8.453	8.109	7.764	7.420	7.075	6.731	6.386

Çizelge 5.10 40kt/yıl kapasiteli Viscolube tesisi ödeme planı

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anapara Taksiti (1000\$)	2.246	2.246	2.246	2.246	2.246	2.246	2.246	2.246	2.246	2.246
%6 Faiz (1000\$)	1.498	1.363	1.228	1.093	958	824	689	554	419	284
Toplam (1000\$)	3.744	3.610	3.475	3.340	3.205	3.070	2.936	2.801	2.666	2.531

5.5 Geri Kazanım Tesisi Yıllık Amortisman Değeri

Çizelge 5.11 Geri kazanım tesisleri yıllık amortisman değerleri

Tesis Tipi	Asit-Kil	CEP	Interline	Viscolube
Yıllık Amortisman (1000\$)				
40kt/yıl	1.510	1.193	808	1.326
100kt/yıl	3.858	3.066	2.105	3.400

5.6 Geri Kazanım Tesisi Hammadde Giderleri

Çizelge 5.12 Geri kazanım tesisleri hammadde giderleri

	Asit-Kil	CEP	Interline	Viscolube
Yağ Maliyetinin Üreticiler Tarafından Karşılanması Durumu (\$)	0	0	0	0
1 ton Kullanılmış Yağın 30\$'a Alınması Durumu (\$)	46,15	41,67	40,54	38,96

5.7 Geri Kazanım Tesisi Yardımcı Madde ve Malzeme Giderleri

Çizelge 5.13 Asit-Kil prosesi yardımcı madde ve malzeme giderleri (Ali vd., 1995)

		Tüketim miktarı	birim fiyat (\$)	Gider
Malzeme	asit(ton)	0,095	160	\$15,20
	kil(ton)	0,049	673	\$32,98
	kireç(ton)	0,214	316	\$67,62
	amonya suyu (ton)	0,008	387	\$3,10
Toplam Gider:				\$118,90

Çizelge 5.14 CEP prosesi yardımcı madde ve malzeme giderleri (Ali vd., 1995)

		Tüketim miktarı	Birim fiyat (\$)	Gider
Malzeme	katalizör (kg)	3,76	3,41	\$12,82
	hidrojen (ton)	0,003	7300	\$22,50
	buhar (ton)	0,667	4,63	\$3,09
Toplam Gider:				\$38,41

Çizelge 5.14 Viscolube prosesi yardımcı madde ve malzeme giderleri [25]

		Tüketim miktarı	Birim fiyat (\$)	Gider
Malzeme	propan (kg)	0,8	1,16	\$0,93
	katalizör (kg)	0,25	3,41	\$0,85
	hidrojen (ton)	0,0021	7300	\$15,75
	buhar (ton)	0,812	4,63	\$3,76
Toplam Gider:				\$21,29

Çizelge 5.15 Interline prosesi yardımcı madde ve malzeme giderleri (Interline, 2004)

		Tüketim miktarı	Birim fiyat (\$)	Gider
Malzeme	Kostik (ton)	0	0	\$15,86
	propan (kg)	5	1,16	\$5,80
Toplam Gider:				\$21,66

5.8 Geri Kazanım Tesisi Enerji Giderleri

Çizelge 5.16 Asit-Kil prosesi enerji giderleri (Ali vd.,1995)

		Tüketim miktarı	Birim fiyat (\$)	Gider
Ara Ürünler	gaz yağı (ton)	-0,06	390	-\$23,40
Enerji Giderleri	fuel oil (ton)	0,075	164	\$12,30
	Proses suyu (ton)	20	2,86	\$57,20
	elektrik (kWh)	20	0,08	\$1,60
Toplam Gider:				\$48,10

Çizelge 5.17 CEP prosesi enerji giderleri (Ali vd.,1995)

		Tüketim miktarı	Birim fiyat (\$)	Gider
Ara Ürünler	gaz yağı (ton)	-0,135	390	-\$52,65
Enerji Giderleri	fuel oil (ton)	0,116	110	\$12,76
	proses suyu (ton)	27	2,86	\$77,22
	elektrik (kWh)	30	0,08	\$2,40
Toplam Gider:				\$39,73

Çizelge 5.18 Viscolube prosesi enerji giderleri [25]

		Tüketim miktarı	Birim fiyat (\$)	Gider
Ara Ürünler	gaz yağı (ton)	-0,06	390	-\$23,40
Enerji Giderleri	fuel oil (ton)	0,057	164	\$9,35
	proses suyu (ton)	10,4	2,86	\$29,74
	elektrik (kw/h)	46,5	0,08	\$3,86
Toplam Gider:				\$19,55

Çizelge 5.19 Interline prosesi enerji giderleri (Interline, 2004)

		Tüketim miktarı	Birim fiyat (\$)	Gider
Ara Ürünler	Diesel (ton)	-0,03	382	-\$11,46
Enerji Giderleri	Fuel oil (ton)	0,138	164	\$22,63
	Proses suyu (ton)	0,55	2,86	\$1,57
	Su işleme	-	-	\$1,49
	elektrik (kw/h)	115	0,083	\$9,55
Toplam Gider:				\$23,78

5.9 Geri Kazanım Tesisi İşçilik ve Personel Giderleri

Çizelge 5.20 İşçilik ve personel giderleri

Pozisyon	Çalışan Sayısı	Aylık Maaş	Pozisyon Aylık Toplam Maaş Gideri
Genel Müdür	1	\$4.000	\$4.000
Mali ve İdari İşler Müdürü	1	\$2.000	\$2.000
Satış & Pazarlama Müdürü	1	\$2.000	\$2.000
Fabrika Müdürü	1	\$2.000	\$2.000
Satın Alma	1	\$1.500	\$1.500
Mali ve İdari İşler	4	\$1.000	\$4.000
Pazarlama	1	\$1.300	\$1.300
Satış	2	\$1.300	\$2.600
Üretim	9	\$1.000	\$9.000
Hizmet Personeli	3	\$600	\$1.800
Fabrika Güvenliği	5	\$500	\$2.500
Aylık Toplam İşçilik ve Personel Gideri:			\$32.700
Yıllık Toplam İşçilik ve Personel Gideri:			\$392.400

5.14 Geri Kazanım Tesisi Yıllık Net Kârı

Çizelge 5.39 Asit-Kil tesisi net kârı (100kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	16.692	19.474	22.256	25.038	25.038	25.038	25.038	25.038	25.038	25.038
İşletme Gideri	-9.139	-10.354	-11.570	-12.785	-12.785	-12.785	-12.785	-12.785	-12.785	-12.785
Faizler	-4.158	-3.772	-3.386	-3.000	-2.614	-2.229	-1.843	-1.457	-1.071	-685
Amortisman	-3.858	-3.858	-3.858	-3.858	-3.858	-3.858	-3.858	-3.858	-3.858	-3.858
Brüt Kâr	-463	1.488	3.440	5.393	5.778	6.164	6.550	6.936	7.322	7.707
Kurumlar Vergisi	0	-520	-1.204	-1.887	-2.022	-2.157	-2.292	-2.427	-2.562	-2.697
Net Kâr	-463	967	2.236	3.505	3.756	4.007	4.257	4.508	4.759	5.010

Çizelge 5.40 Asit-Kil tesisi net kârı (100kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	16.692	19.474	22.256	25.038	25.038	25.038	25.038	25.038	25.038	25.038
İşletme Gideri	-10.939	-12.454	-13.970	-15.485	-15.485	-15.485	-15.485	-15.485	-15.485	-15.485
Faizler	-4.158	-3.772	-3.386	-3.000	-2.614	-2.229	-1.843	-1.457	-1.071	-685
Amortisman	-3.858	-3.858	-3.858	-3.858	-3.858	-3.858	-3.858	-3.858	-3.858	-3.858
Brüt Kâr	-2.263	-611	1.040	2.693	3.078	3.464	3.850	4.236	4.622	5.007
Kurumlar Vergisi	0	0	-364	-942	-1.077	-1.212	-1.347	-1.482	-1.617	-1.752
Net Kâr	-2.263	-611	676	1.750	2.001	2.252	2.502	2.753	3.004	3.255

Çizelge 5.41 Asit-Kil tesisi net kârı (40kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	6.676	7.789	8.902	10.015	10.015	10.015	10.015	10.015	10.015	10.015
İşletme Gideri	-3.891	-4.377	-4.863	-5.349	-5.349	-5.349	-5.349	-5.349	-5.349	-5.349
Faizler	-1.663	-1.511	-1.360	-1.209	-1.057	-906	-755	-603	-452	-301
Amortisman	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510
Brüt Kâr	-387	390	1.168	1.946	2.097	2.248	2.400	2.551	2.702	2.854
Kurumlar Vergisi	0	-136	408	681	734	787	840	892	945	998
Net Kâr	387	253	759	1.264	1.363	1.461	1.560	1.658	1.756	1.855

Çizelge 5.42 Asit-Kil tesisi net kârı (40kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	6.676	7.789	8.902	10.015	10.015	10.015	10.015	10.015	10.015	10.015
İşletme Gideri	-4.611	-5.217	-5.823	-6.429	-6.429	-6.429	-6.429	-6.429	-6.429	-6.429
Faizler	-1.663	-1.511	-1.360	-1.209	-1.057	-906	-755	-603	-452	-301
Amortisman	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510
Brüt Kâr	-1.107	-449	208	866	1.017	1.168	1.320	1.471	1.622	1.774
Kurumlar Vergisi	0	0	-72	-303	-356	-409	-462	-514	-567	-620
Net Kâr	-1.107	-449	135	562	661	759	858	956	1.054	1.153

Çizelge 5.43 CEP tesisi net kârı (100kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	18.489	21.571	24.652	27.734	27.734	27.734	27.734	27.734	27.734	27.734
İşletme Gideri	-5.966	-6.673	-7.380	-8.086	-8.086	-8.086	-8.086	-8.086	-8.086	-8.086
Faizler	-3.444	-3.130	-2.815	-2.501	-2.186	-1.872	-1.557	-1.243	-928	-614
Amortisman	-3.066	-3.066	-3.066	-3.066	-3.066	-3.066	-3.066	-3.066	-3.066	-3.066
Brüt Kâr	6.012	8.701	11.390	14.080	14.394	14.709	15.023	15.338	15.652	15.967
Kurumlar Vergisi	-2.104	-3.045	-3.986	-4.928	-5.038	-5.148	-5.258	-5.368	-5.478	-5.588
Net Kâr	3.907	5.655	7.404	9.152	9.356	9.561	9.765	9.969	10.174	10.378

Çizelge 5.44 CEP tesisi net kârı (100kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	18.489	21.571	24.652	27.734	27.734	27.734	27.734	27.734	27.734	27.734
İşletme Gideri	-7.766	-8.773	-9.780	-10.786	-10.786	-10.786	-10.786	-10.786	-10.786	-10.786
Faizler	-3.444	-3.130	-2.815	-2.501	-2.186	-1.872	-1.557	-1.243	-928	-614
Amortisman	-3.066	-3.066	-3.066	-3.066	-3.066	-3.066	-3.066	-3.066	-3.066	-3.066
Brüt Kâr	4.212	6.601	8.990	11.380	11.694	12.009	12.323	12.638	12.952	13.267
Kurumlar Vergisi	-1.474	-2.310	-3.146	-3.983	-4.093	-4.203	-4.313	-4.423	-4.533	-4.643
Net Kâr	2.737	4.290	5.844	7.397	7.601	7.806	8.010	8.214	8.419	8.623

Çizelge 5.45 CEP tesisi net kârı (40kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	7.395	8.628	9.861	11.093	11.093	11.093	11.093	11.093	11.093	11.093
İşletme Gideri	-2.622	-2.904	-3.187	-3.470	-3.470	-3.470	-3.470	-3.470	-3.470	-3.470
Faizler	-1.377	-1.255	-1.132	-1.009	-886	-763	-641	-518	-395	-272
Amortisman	-1.193	-1.193	-1.193	-1.193	-1.193	-1.193	-1.193	-1.193	-1.193	-1.193
Brüt Kâr	2.202	3.275	4.348	5.421	5.543	5.666	5.789	5.912	6.034	6.157
Kurumlar Vergisi	-770	-1.146	-1.521	-1.897	-1.940	-1.983	-2.026	-2.069	-2.112	-2.155
Net Kâr	1.431	2.129	2.826	3.523	3.603	3.683	3.763	3.842	3.922	4.002

Çizelge 5.46 CEP tesisi net kârı (40kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	7.395	8.628	9.861	11.093	11.093	11.093	11.093	11.093	11.093	11.093
İşletme Gideri	-3.342	-3.744	-4.147	-4.550	-4.550	-4.550	-4.550	-4.550	-4.550	-4.550
Faizler	-1.377	-1.255	-1.132	-1.009	-886	-763	-641	-518	-395	-272
Amortisman	-1.193	-1.193	-1.193	-1.193	-1.193	-1.193	-1.193	-1.193	-1.193	-1.193
Brüt Kâr	1.482	2.435	3.388	4.341	4.463	4.586	4.709	4.832	4.954	5.077
Kurumlar Vergisi	-518	-852	-1.185	-1.519	-1.562	-1.605	-1.648	-1.691	-1.734	-1.777
Net Kâr	963	1.583	2.202	2.821	2.901	2.981	3.061	3.140	3.220	3.300

Çizelge 5.47 Interline tesisi net kârı (100kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	19.003	22.170	25.337	28.504	28.504	28.504	28.504	28.504	28.504	28.504
İşletme Gideri	-4.488	-4.972	-5.457	-5.941	-5.941	-5.941	-5.941	-5.941	-5.941	-5.941
Faizler	-2.579	-2.351	-2.123	-1.895	-1.667	-1.439	-1.211	-983	-755	-527
Amortisman	-2.105	-2.105	-2.105	-2.105	-2.105	-2.105	-2.105	-2.105	-2.105	-2.105
Brüt Kâr	9.829	12.740	15.651	18.562	18.790	19.018	19.246	19.474	19.702	19.930
Kurumlar Vergisi	-3.440	-4.459	-5.478	-6.496	-6.576	-6.656	-6.736	-6.816	-6.895	-6.975
Net Kâr	6.389	8.281	10.173	12.065	12.213	12.362	12.510	12.658	12.806	12.954

Çizelge 5.48 Interline tesisi net kârı (100kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	19.003	22.170	25.337	28.504	28.504	28.504	28.504	28.504	28.504	28.504
İşletme Gideri	-6.288	-7.072	-7.857	-8.641	-8.641	-8.641	-8.641	-8.641	-8.641	-8.641
Faizler	-2.579	-2.351	-2.123	-1.895	-1.667	-1.439	-1.211	-983	-755	-527
Amortisman	-2.105	-2.105	-2.105	-2.105	-2.105	-2.105	-2.105	-2.105	-2.105	-2.105
Brüt Kâr	8.029	10.640	13.251	15.862	16.090	16.318	16.546	16.774	17.002	17.230
Kurumlar Vergisi	-2.810	-3.724	-4.638	-5.551	-5.631	-5.711	-5.791	-5.871	-5.950	-6.030
Net Kâr	5.219	6.916	8.613	10.310	10.458	10.607	10.755	10.903	11.051	11.199

Çizelge 5.49 Interline tesisi net kârı (40kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	7.601	8.868	10.135	11.401	11.401	11.401	11.401	11.401	11.401	11.401
İşletme Gideri	-2.030	-2.224	-2.418	-2.612	-2.612	-2.612	-2.612	-2.612	-2.612	-2.612
Faizler	-1.031	-943	-855	-767	-679	-590	-502	-414	-326	-238
Amortisman	-808	-808	-808	-808	-808	-808	-808	-808	-808	-808
Brüt Kâr	3.729	4.891	6.052	7.213	7.302	7.390	7.478	7.566	7.654	7.743
Kurumlar Vergisi	-1.305	-1.711	-2.118	-2.524	-2.555	-2.586	-2.617	-2.648	-2.679	-2.710
Net Kâr	2.424	3.179	3.934	4.689	4.746	4.803	4.861	4.918	4.975	5.032

Çizelge 5.50 Interline tesisi net kârı (40kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	7.601	8.868	10.135	11.401	11.401	11.401	11.401	11.401	11.401	11.401
İşletme Gideri	-2.750	-3.064	-3.378	-3.692	-3.692	-3.692	-3.692	-3.692	-3.692	-3.692
Faizler	-1.031	-943	-855	-767	-679	-590	-502	-414	-326	-238
Amortisman	-808	-808	-808	-808	-808	-808	-808	-808	-808	-808
Brüt Kâr	3.009	4.051	5.092	6.133	6.222	6.310	6.398	6.486	6.574	6.663
Kurumlar Vergisi	-1.053	-1.417	-1.782	-2.146	-2.177	-2.208	-2.239	-2.270	-2.301	-2.332
Net Kâr	1.956	2.633	3.310	3.987	4.044	4.101	4.159	4.216	4.273	4.330

Çizelge 5.51 Viscolube tesisi net kârı (100kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	19.773	23.069	26.364	29.660	29.660	29.660	29.660	29.660	29.660	29.660
İşletme Gideri	-4.588	-5.056	-5.525	-5.993	-5.993	-5.993	-5.993	-5.993	-5.993	-5.993
Faizler	-3.745	-3.400	-3.056	-2.711	-2.367	-2.022	-1.678	-1.333	-989	-644
Amortisman	-3.400	-3.400	-3.400	-3.400	-3.400	-3.400	-3.400	-3.400	-3.400	-3.400
Brüt Kâr	8.040	11.211	14.383	17.555	17.899	18.244	18.588	18.933	19.277	19.622
Kurumlar Vergisi	-2.814	-3.924	-5.034	-6.144	-6.264	-6.385	-6.506	-6.626	-6.747	-6.867
Net Kâr	5.226	7.287	9.349	11.410	11.634	11.858	12.082	12.306	12.530	12.754

Çizelge 5.52 Viscolube tesisi net kârı (100kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	19.773	23.069	26.364	29.660	29.660	29.660	29.660	29.660	29.660	29.660
İşletme Gideri	-6.388	-7.156	-7.925	-8.693	-8.693	-8.693	-8.693	-8.693	-8.693	-8.693
Faizler	-3.745	-3.400	-3.056	-2.711	-2.367	-2.022	-1.678	-1.333	-989	-644
Amortisman	-3.400	-3.400	-3.400	-3.400	-3.400	-3.400	-3.400	-3.400	-3.400	-3.400
Brüt Kâr	6.240	9.111	11.983	14.855	15.199	15.544	15.888	16.233	16.577	16.922
Kurumlar Vergisi	-2.184	-3.189	-4.194	-5.199	-5.319	-5.440	-5.561	-5.681	-5.802	-5.922
Net Kâr	4.056	5.922	7.789	9.655	9.879	10.103	10.327	10.551	10.775	10.999

Çizelge 5.53 Viscolube tesisi net kârı (40kt/yıl ve 0\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	7.909	9.227	10.545	11.864	11.864	11.864	11.864	11.864	11.864	11.864
İşletme Gideri	-2.070	-2.258	-2.445	-2.632	-2.632	-2.632	-2.632	-2.632	-2.632	-2.632
Faizler	-1.498	-1.363	-1.228	-1.093	-958	-824	-689	-554	-419	-284
Amortisman	1.326	1.326	1.326	1.326	1.326	1.326	1.326	1.326	1.326	1.326
Brüt Kâr	3.013	4.279	5.545	6.810	6.945	7.080	7.215	7.350	7.484	7.619
Kurumlar Vergisi	-1.054	-1.497	-1.940	-2.383	-2.431	-2.478	-2.525	-2.572	-2.619	-2.666
Net Kâr	1.959	2.781	3.604	4.427	4.514	4.602	4.689	4.777	4.865	4.952

Çizelge 5.54 Viscolube tesisi net kârı (40kt/yıl ve 30\$ hammadde maliyeti)

(1000\$)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gelir	7.909	9.227	10.545	11.864	11.864	11.864	11.864	11.864	11.864	11.864
İşletme Gideri	-2.790	-3.098	-3.405	-3.712	-3.712	-3.712	-3.712	-3.712	-3.712	-3.712
Faizler	-1.498	-1.363	-1.228	-1.093	-958	-824	-689	-554	-419	-284
Amortisman	1.326	1.326	1.326	1.326	1.326	1.326	1.326	1.326	1.326	1.326
Brüt Kâr	2.293	3.439	4.585	5.730	5.865	6.000	6.135	6.270	6.404	6.539
Kurumlar Vergisi	-802	-1.203	-1.604	-2.005	-2.053	-2.100	-2.147	-2.194	-2.241	-2.288
Net Kâr	1.491	2.235	2.980	3.725	3.812	3.900	3.987	4.075	4.163	4.250

5.15 Geri Kazanım Tesisi Geri Ödeme Süresi

Çizelge 5.55 Geri kazanım tesisleri geri ödeme süreleri

GÖS (yıl)	Asit-Kil	CEP	Interline	Viscolube
100 kt/yıl ve 0\$ Hammadde Maliyeti	>10	8	5	7
100 kt/yıl ve 30\$ Hammadde Maliyeti	>10	9	6	8
40 kt/yıl ve 0\$ Hammadde Maliyeti	>10	8	5	7
40 kt/yıl ve 30\$ Hammadde Maliyeti	>10	10	6	8

5.16 Geri Kazanım Tesisi 1 ton Baz Yağ Maliyeti

Çizelge 5.56 Geri kazanım tesisleri baz yağ üretme maliyetleri

1 ton Baz Yağ Maliyeti (\$)*	Asit-Kil	CEP	Interline	Viscolube
100 kt/yıl ve 0\$ Hammadde Maliyeti	341	215	153	179
100 kt/yıl ve 30\$ Hammadde Maliyeti	387	256	193	218
40 kt/yıl ve 0\$ Hammadde Maliyeti	351	224	161	187
40 kt/yıl ve 30\$ Hammadde Maliyeti	397	265	202	226

* Bu çizelgede belirtilen değerler ilk 10 yıllık dönemde oluşan maliyetlerin ortalamasıdır.

5.17 Geri Kazanım Tesisi Kâr Oranı

Çizelge 5.57 Geri kazanım tesisleri kâr oranları

% Kâr oranı*	Asit-Kil	CEP	Interline	Viscolube
100 kt/yıl ve 0\$ Hammadde Maliyeti	13,13	32,39	41,83	37,86
100 kt/yıl ve 30\$ Hammadde Maliyeti	5,63	26,06	35,68	31,95
40 kt/yıl ve 0\$ Hammadde Maliyeti	11,50	31,01	40,50	36,58
40 kt/yıl ve 30\$ Hammadde Maliyeti	3,91	24,69	34,34	30,66



* Bu çizelgede belirtilen değerler ilk 10 yıllık dönemde oluşan maliyetlerin ortalamasıdır.

6. SONUÇLAR

Kullanılmış yağ aynı ham petrol gibi bir kaynaktır ve kendine özel bir kaynaktır. İncelemeler öncelikle yağı, yağ üretimini anlamak üzerine yoğunlaşmıştır. Aynı ham petrol gibi kullanılmış yağın da rafine edilmesi gerekir. Her iki kaynak içinde kullanılan teknikler benzerlik gösterir. Hatta ham petrolün rafinasyonunda kullanılan, vakum veya atmosferik distilasyon, hidrojen ile muamele, solvent ekstraksiyonu, asit ve kil ile muamele gibi tekniklerin kullanılmış yağın rafinasyonunda da kullanıldığı görülmüştür. Ham petrolden farklı olarak kullanılmış yağın içerisinde sentetik yağların da bulunmaktadır. Kullanılmış yağ içindeki sentetik yağlar, madeni yağlar, katkı maddeleri, kirleticiler, metaller ile yeni bir kaynaktır. Kullanılmış yağın oluşumunda en önemli faktörün oksidasyon olduğu bir gerçektir. 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. 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 oluştururlar. Buna ek olarak yanma işlemi sonucunda yakıt, su ve is oluşur. Yakıt ve su ise kartere sızarak yağı seyreltici etki gösterebilir. Oksidasyon ve yanma sonucunda yağ kirlenir.

Kullanılmış yağın geri kazanılabilirliğini etkileyen en önemli faktörlerden biri kullanılmış yağ miktarıdır. Eğer çok az miktarda kullanılmış yağ oluşursa, geri kazanım işlemine tâbi tutmanın ekonomik olmayacağı bilindiği için Türkiye oluşacak atık yağ miktarı ve ilgili yasal hükümler incelenmiştir. Türkiyede yılda 200 kt motor yağı tüketildiği saptanmıştır. Avrupa ve dünyadaki verilere bakılınca tüketilen yağların yarısının kullanılmış yağ halini aldığı, geri kalan kısmının ise yanma sonucu veya sızıntılar sonucu ile kaybolduğu görülmüştür. Böylece Türkiye yılda 100 kt kullanılmış yağ oluşacağı saptanmıştır.

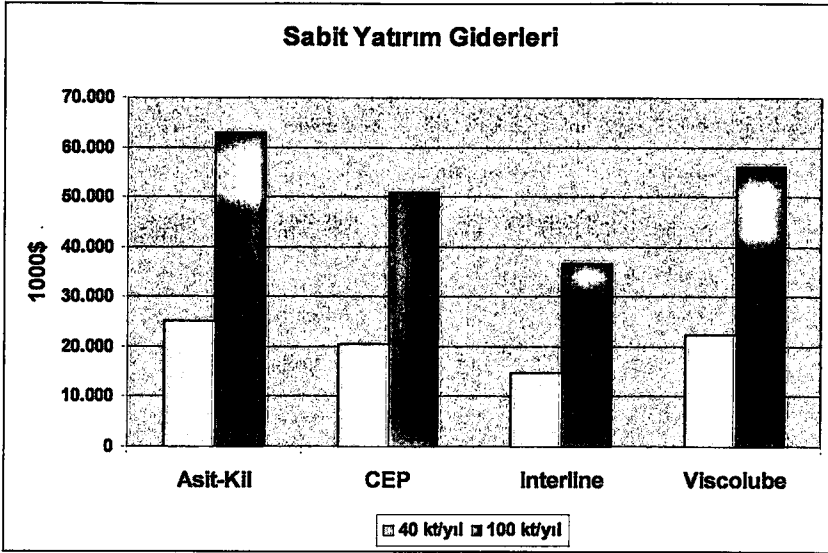
Yeni yasal düzenlemeler incelendiğinde ise görülmüştür ki, 2004 yılından itibaren yağ üreticileri üretimlerinin belirli bir oranında kullanılmış yağı toplamak ve geri kazanılması, yakılması veya zararsız hale getirilmesinden sorumlu tutmaktadır. “Atık Yağların Kontrolü” yönetmeliği kullanılmış yağları 3 kategoriye ayırmış ve sadece Kategori 1’e uygun yağların geri kazanımına izin vermektedir. Kategori 1 sınır değerleri İstanbul şehri ve Suudi Arabistanda kullanılmış yağları içerikleri üzerine yapılan araştırmalar ve Avrupa Komisyonu tarafından açıklanan değerler ile karşılaştırılmıştır. Türkiyedeki sınır değerlerin çok düşük olduğu ve eğer geri kazanım desteklenmek isteniyorsa yönetmeliğin tekrar gözden geçirilmesi

gerektiği saptanmıştır.

Geri kazanım sistemleri incelendiğinde kullanılmış yağa 4 ayrı işlemin uygulandığı belirlenmiştir. Bunlar suyun giderilmesi, asfaltın giderilmesi, fraksinasyon ve sonlandırmadır. Dđnyada uygulanmakta olan sistemler ve deneysel çalışmalar mevcuttur. Deneysel alışmalar arasında en çok Sđperkritik CO₂ ekstraksiyonu gelecek vaad etmektir, çünkü CO₂'in maliyeti dđřüktür. Bu da ekonomiklik açısından bđyđk bir avantaj sağlamaktadır. Gđnđmđzde uygulanan sistemler şirketler bazında incelenmiştir. Ele alınan sistemlerde Asit-Kil prosesi en eski sistemdir. Dđřđk ũrđn kalitesi ve dđřđk veriminden dolayı artık terkedilmekte olan bir sistemdir. İncelenen diğer sistemler içinden Viscolube en kaliteli ũrđnleri (baz yağları) ũretmektedir. Bu sistem ile API Grup II baz yağlar ũretmek mđmkündür. CEP ve Interline prosesleri ise API Grup I baz yağ ũretmektedirler. Interline şirketinin uyguladığı sistem diğerlerine gđre çok farklıdır. Diğer sistemlerde sonlandırma işlemi olarak Hidrojen ile muamele kullanılmakta ve yđntem ũzellikle kđkđrt konsantrasyonunu dđřđrũrken, yağın kimyasal yapısını değiştirmektedir. Interline prosesi ise sadece yağı temizlemektedir. Başka bir deyişle Interline şirketi yağı temizlerken diğer sistemler gibi yağın kimyasal yapısında farklılıklara sebep olmamaktadır. Hatta Interline'in patentli sistemini uygulayan ECOLUBE şirketinin SN350 baz yağı incelendiğinde API Grup II ũzelliklerine çok yakın olduğu gđzlenmiřtir.

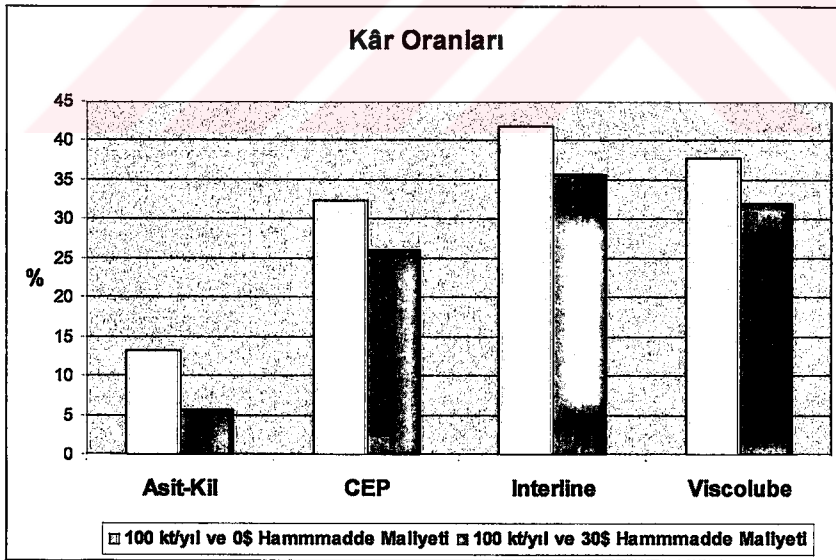
Yapılan ekonomik değerlendirmede kurulacak tesislerin kapasiteleri, iki yıl sonra Tđrkiyede ũreticiler tarafından toplanacak miktar olan 40kt ve Tđrkiyede oluşacak toplam kullanılmış yağ miktarı olan 100kt olarak belirlenmiştir. Ayrıca ara ũrđn olarak oluşacak asfaltın satılmıyacağı kabul edilmiştir. Satılması halinde kar oranları daha yđksek, maliyetler ise daha dđřđk çıkacaktır ([23]'e gđre 1 ton asfaltın değer 180\$'dır).

Geri kazanım tesislerinde ekonomikliği etkileyen en ũnemli faktŕrlerin sabit yatırım gideri, tesislerin verimi ve hammaddenin maliyeti olduğu gđrđlmüřtđr. şekil 6.1'e bakıldığında en dđřđk sabit yatırım giderinin Interline tesisinde olduğu gđrđlmektedir. Verimlere bakıldığında ise Viscolube prosesinin %77 ile en yđksek verime sahip olduğu gđrđlũr. Interline, CEP ve Asit-Kil prosesleri ise sırası ile %74, %72 ve %65 verime sahiptirler. Hammade (kullanılmış yağ) maliyetinin 30\$/ton olması durumunda, yılda 100kt kullanılmış yağ işleme kapasitesine sahip ve %90 KKO ile çalışan tesisin yılda 2.700.000\$ hammadde gideri olduğu gđrđlmüřtđr.



Şekil 6.1 Geri kazanım tesisleri sabit yatırım giderleri

Tesislerin kârlılık oranları ve baz yağ üretme maliyetleri karşılaştırıldığında ise Interline prosesinin %41,83 kâr oranı ve 153\$/ton baz yağ maliyeti ile en uygun değerlere sahip olduğu görülmüştür. Şekil 6.2'de 100kt/yıl kapasiteli tesislerin Kâr Oranları farklı hammadde fiyatlarına göre gösterilmiştir. Hammadde maliyetinde gerçekleşen 30\$/ton'luk bir artışın Kâr oranını yaklaşık %6 oranında düşürdüğü gözlenmiştir.



Şekil 6.2 100kt/yıl kapasiteli tesislere ait kâr oranları

Ürün kalitesi açısından bakıldığında ise API Grup II kalitesinde üretim yapabilen Viscolube prosenin en uygun sistem olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, Interline prosesinin 5 yıllık GÖS ile ekonomiklik bakımından en uygun proje olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ali, M.F., Rahman, F., Hamdan, A.J., (1995), "Techno-economic evaluation of waste lube oil rerefining", *Int. J. Production Economics*, 31 Ekim 1995, 263-273.
- Ancheyta-Juárez, J., Aguilar-Rodriguez, E., Salazar-Sotelo, D., Marroquin-Sanchez, G., Quiroz-Sosa, G., Leiva-Nuncio, M., (1999), "Effect of hydrogen sulfide on the hydrotreating of middle distillates over Co-Mo/Al₂O₃ catalyst", *Applied Catalysis*, 1 Mart 1999, 265-272.
- Banchero, J.T., Badger, W.L., Çataltaş, İ., (1972), *Kimya Mühendisliğine Giriş 1, İnkilap ve Aka Basımevi, İstanbul.*
- Banchero, J.T., Badger, W.L., Çataltaş, İ., (1973), *Kimya Mühendisliğine Giriş 2, İnkilap ve Aka Basımevi, İstanbul.*
- Berry, R., (1979), "Rerefining Waste Oil", *Chemical Engineering*, 23 Nisan 1979.
- Bhaskar, T., Uddin, M. A., Muto, A., Sakata, Y., Omura, Y., Kimura, K., Kawakami, Y., (2003), "Recycling of waste lubricant oil into, chemical feedstock or fuel oil over supported iron oxide catalysts", *Fuel*, 29 Temmuz 2003.
- Birr-Pedersen, K., (2001), "Wast oil case study and cost-effectiveness analysis", *National Enviromental Research Institute*, 6 Şubat 2001.
- Blackadder, D.A., (1971), *A Handbook of Unit Operations*, Academic Press, New York.
- ÇOB, (2004), "Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği", *Çevre ve Orman Bakanlığı*, 21 Ocak 2004.
- 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 (2002) 765 - 769.
- Doty, F. D., 2004, "A Realistic Look at Hydrogen Price Projections", *Doty Scientific Inc.Columbia*, 5 Mart 2004.
- El-fadel, M., Khoury, R., (2001), "Strategies for vehicle waste-oil management: a case study", *Resources Conservation and Recycling*, 27 Şubat 2001, 75-91.
- EPA, (1996), "Managing Used Oil: Advice for Small Businesses", *Report 530EPA-F-96-004*, 1996.
- Ercümen, Y., (1998), "A Study on the Characterization of Waste Automotive Lubricants in Turkey with an Emphasis on Reclaimability, Boğaziçi Üniversitesi.
- Gamlin, C.D., Dutta, N.K., Choudhury, N.R., Kehoe, D., Matisons, J., (2002), " Evaluation of kinetic parameters of thermal and oxidative decomposition of base oils by convetional, isothermal and modulated TGA and pressure DSC", *Thermochimica*, 2002, 357-369.
- Hani, İ., (2002), *Madeni Yağlar ve Petrol Ofisi Ürünleri*, Petrol Ofisi Madeni Yağ Direktörlüğü, İstanbul.
- Interline, (2004), "Frequently Asked Questions", *Interline Hydrocarbon ile yapılan yazışmalar*, Temmuz 2004.
- Interline, (2004), "Operation Costs", *Interline Hydrocarbon ile yapılan yazışmalar*, Temmuz 2004.

- Kajdas, C., (2000), "Major pathways for used oil disposal and recycling part 1", Tribotest Journal, Ekim 2000.
- Kajdas, C., (2000), "Major pathways for used oil disposal and recycling part 2", Tribotest Journal, Aralık 2000.
- Kapur, G.S., Sastry, M.I.S., Jaiswal, A.K., Sarpal, A.S., (2003), "Establishing structure-property correlations and classification of base oils using statistical techniques and artificial neural networks", Analytica Chimica, 7 Ekim 2004, 57-69.
- Karaosmanoğlu, F., Özgülsün, A., Bayraktar, L., (1995), "Yağlama Yağları", Mühendis ve Makina, Ekim 1995, 26-31.x
- Kayam, Ç., (2001), "Used Lube Oil Refining Plant Technical Details", özel iletişim ile Çetin Kayamdan temin edilmiştir.
- Korkmaz, S., (2004), Aytemiz Petrol Madeni Yağlar Üretim Müdürü ile yapılan görüşme notları, Temmuz 2004.
- Linnard, R.E., Henton, L.M., (1979), "Re-refine waste oil with PROP", Hydrocarbon Processing, Eylül 1979, 148-154.
- Owring, F., Mattsson, H., Olsson, J., Pedersen, J., (2003), "Investigation of oxidation of a mineral and a synthetic engine oil", Thermochemica, 29 Ekim 2003, 241-248.
- Padro, C.E.G., Putsche, V., (1999), "Survey of the Economics of Hydrogen Technologies", National Renewable Energy Laboratory, Eylül 1999.
- Perry, R.H., Green, D.W., (1999), Perry's Chemical Engineering Handbook, McGraw-Hill, New York.
- PFC, (2002), "Turkey Market Snapshot", Petroleum Finance Company, 2002.
- Sarıaslan, H., (2002), Yatırım Projelerinin Hazırlanması ve Değerlendirilmesi, Turhan Kitabevi, Ankara.
- Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W., (2000), Engineering Tribology, Butterworth Heinemann, Boston.
- Stickney, C.P., Brown, P.R., (2000), Financial Reporting and Analysis, The Dryden Press, New York.
- TNSC, (2001), "Critical Review of Existing Studies and Life Cycle Analysis on the Regeneration and Incineration of Waste Oils", Taylor Nelson Sofres Consulting, Aralık 2001.
- Voelkel, A., Fall, J., (2002), "Application of inverse gas chromatography to the examination of annealing processes of semi-synthetic base oils", Journal of Chromatography, 27 Eylül 2002, 245-254.
- Wishman, M.L., Reynolds, J.W., Goetzinger, J.W., Cotton, F.O., Brinkman, D.W., (1978), "Re-refining makes quality oils", Hydrocarbon Processing, Ekim 1978, 141-145.

INTERNET KAYNAKLARI

- [1] lorien.ncl.ac.uk/ming/distil/distil0.htm
- [2] www.atomicvacuum.co.uk
- [3] www.ciwmb.ca.gov/Publications/UsedOil/61101002.pdf
- [4] www.ciwmb.ca.gov/UsedOil/Rerefined/MythsGuide/Myths.pdf
- [5] www.dct.tudelft.nl/race/education/ce3081/uop_2003.pdf
- [6] www.distillationgroup.com
- [7] www.ecologic-events.de/waste-bref/de/documents/firstdraftbref5.pdf
- [8] www.exxonmobilchemical.com
- [9] www.evergreenoil.com
- [10] www.gasification.org/story/explaine/explaine.html
- [11] www.interlineresources.com
- [12] www.interlineresources.com/nora96.html
- [13] www.klinegroup.com/brochures/y329b/brochure.pdf
- [14] www.mfe.govt.nz
- [15] www.nature.nps.gov/toxic/benzojfl.pdf
- [16] www.pcierd.dost.gov.ph/publications/fora/forth/recovery.pdf
- [17] www.performanceoiltechnology.com/apiserviceclassifications.htm
- [18] www.performanceoiltechnology.com/baseoilcategories.htm
- [19] www.petder.org.tr
- [20] www.pops.int/documents/meetings/bat_bep/2nd_session/egb2_followup/draftguide/6MW_asteoilrefineriesDRAFT.doc
- [21] www.prod.exxonmobil.com/refiningtechnologies/pdf/base_oil_refining_lubes_daage_france070601.pdf
- [22] www.solidliquid-separation.com
- [23] www.tupras.com.tr
- [24] www.uop.com/refining
- [25] www.viscolube.it

EKLER

- Ek 1 Spesifik Gravite
- Ek 2 PROP Prosesi Ayrıntılı Akış Şemaları
- Ek 3 BERC Prosesi Ayrıntılı Akış Şeması
- Ek 4 Moleküler Distilasyon Ünitesi
- Ek 5 Ortalama Kirletici Değerlerinin Bulunması



Ek 1 Spesifik Gravite

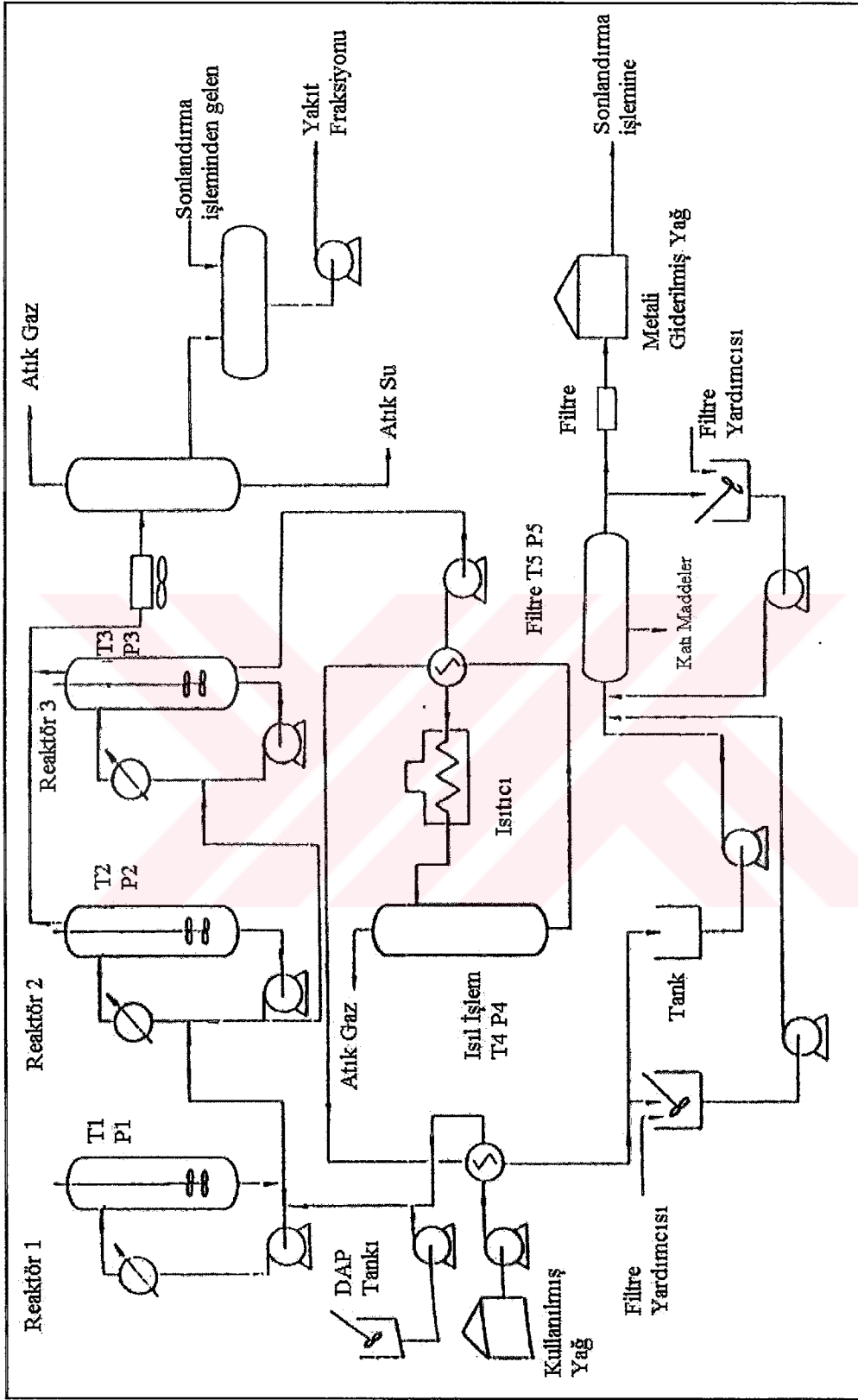
Bir maddenin Spesifik Gravitesi; o maddenin belli bir sıcaklıktaki yoğunluğunun, atmosferik basınç ve standart bir sıcaklıkta damıtılmış suyun yoğunluğuna oranıdır. Genellikle sıcaklık olarak 15,6°C (60°F) kullanılır.

$$\text{Spesifik Gravite} = \frac{\rho(15,6^\circ\text{C})}{\rho_{\text{su}}(15,6^\circ\text{C})} \quad (\text{Ek 1.1})$$

$\rho = 15,6^\circ\text{C}$ 'deki numunenin yoğunluğu (g/m^3)

$\rho_{\text{su}} = 15,6^\circ\text{C}$ 'deki suyun yoğunluğu (g/m^3)

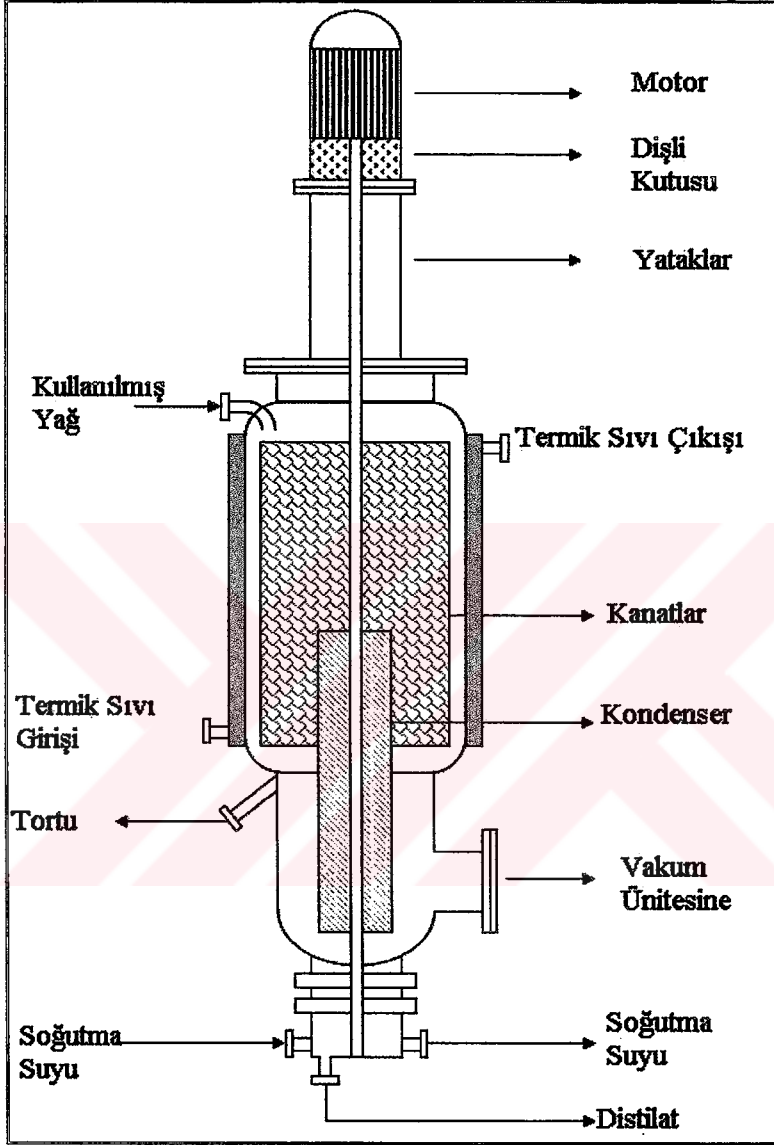




Şekil Ek 2.2 PROP prosesi sonlandırma işlemi

Ek 4 Moleküler Distilasyon Ünitesi

İnce film evaporasyonunda kullanılabilir ve vakum altında çalışan ünitenin resmi aşağıdadır.



Şekil Ek 4.1 Vakum altında ince film evaporasyonu

Ek 5 Ortalama Kirletici Değerlerinin Bulunması

Ortalama değerler “Kesilmiş Ortalama” yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem belirli bir sayıda veriden aşırı uçların çıkarılarak ortalamanın alınmasıdır. Öncelikle verinin ne kadarının dışarıda bırakılacağı oransal olarak belirlenir. Bu çalışmada bu oran %5'tir. 15 adet veri olduğu düşünülür ise 15 rakamı 0,05 ile çarpılır. Elde edilen sayı tam sayı değil ise bir üst tam sayıya yuvarlatılır. Başka bir deyişle 15 adet veride her iki uçtan da 1'er adet veri çıkarılacak ve daha sonra ortalama alınacaktır.

Örnek:

Örnek No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Fe	100	200	75	100	150	175	150	125	100	50	75	125	175

Demir elementine ait bu verilerden en büyük ve en küçük değerlerden 1'er adet veri dizisinin dışında bırakılacaktır (Kesme oranı %5 olarak seçildiği için). Bu değerler 50 ve 200'dür. Geriye kalanların ise ortalaması alınacaktır. Ortalama alındığında ortaya çıkan sonuç 122,72'dir.

Geriye kalan verilerin Kesilmiş Ortalamalarının hesaplanması için “Minitab” istatistik programı kullanılmıştır. Çizelge Ek 5.1 Suudi Arabistan'daki kullanılmış motor yağlarının ortalama değerlerini; Çizelge Ek 5.2 İstanbul'daki kullanılmış motor yağlarının ortalama değerlerini göstermektedir.

Çizelge Ek 5.1 Suudi Arabistan'daki kullanılmış motor yağlarının ortalama değerleri

Değişken	N	Ortalama	Orta Nokta	Kesilmiş Ortalama	Standart Sapma
40°C-KV	20	139,82	140,90	139,64	11,10
100°C-KV	20	15,998	16,000	16,003	0,891
VI	20	120,55	122,00	121,17	6,30
Fe	20	501,6	525,0	498,3	207,2
Cr	20	44,20	43,00	43,89	10,18
Cu	20	2,075	2,000	2,028	0,613
Mg	20	278,2	242,5	273,8	78,7
Ni	20	4,175	3,750	4,083	1,444
Pb	20	3919	3925	3910	716
Zn	20	830,8	806,0	829,4	79,6
Ca	20	1766	1700	1777	551
Ba	20	4,375	4,700	4,317	1537
Alv. Nok. °C	20	319,3	332,5	323,3	53,8

Çizelge Ek 5.1 İstanbul'daki kullanılmış motor yağlarının ortalama değerleri

Değişken	N	Ortalama	Orta Nokta	Kesilmiş Ortalama	Standart Sapma
40°C-KV	13	139,18	138,53	138,38	15,09
100°C-KV	13	21,173	20,970	21,092	2,155
VI	13	177,92	176,00	177,09	17,20
Kül (g/l)	13	14,292	13,900	13,973	2,655
Su (ağ.%)	13	0,04335	0,05750	0,04250	0,03332
Pb	13	2747	2760	2724	1538
Zn	13	888	747	801	685
Cu	13	10,77	10,00	10,68	7,32
Fe	13	123,1	125,0	122,7	45,0
Cr	13	123,36	120,00	125,91	24,91

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	14.12.1978	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1989-1996	İSTEK Kemal Atatürk Lisesi
Lisans	1996-2000	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2000-2001	Yeditepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği (Derece alınmadı)
Yüksek Lisans	2001-2003	İstanbul Bilgi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü MBA
Yüksek Lisans	2001-Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Enerji Makinaları Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2000-2001	KIRACA Şirketler Topluluğu
2003-2004	ABS Triko Tekstil Tic. Ltd. Şti.
2004-Devam ediyor	AL ENERJİ Tic. Ltd. Şti.