

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAĞ SEKTÖRÜ ÜRÜN VE ATIKLARININ KİMYASAL
KARAKTERİZASYONU İLE ÇEVRESEL AKİBETİNİN İNCELENMESİ**

Dilek BOLAT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2015

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAĞ SEKTÖRÜ ÜRÜN VE ATIKLARININ KİMYASAL
KARAKTERİZASYONU İLE ÇEVRESEL AKİBETİNİN İNCELENMESİ**

Dilek BOLAT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (112Y175) ve Akdeniz
Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (2014.01.0102.006
ve FDK-2014-24) tarafından desteklenmiştir.**

2015

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAĞ SEKTÖRÜ ÜRÜN VE ATIKLARININ KİMYASAL
KARAKTERİZASYONU İLE ÇEVRESEL AKİBETİNİN İNCELENMESİ

Dilek BOLAT

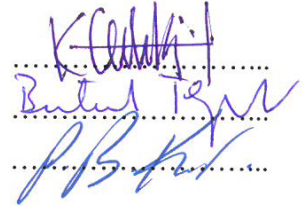
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 28/12/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Kadir GEDİK

Prof. Dr. Bülent TOPKAYA

Doç. Dr. Perihan Binnur KURT-KARAKUŞ


.....
.....
.....

ÖZET

YAĞ SEKTÖRÜ ÜRÜN VE ATIKLARININ KİMYASAL KARAKTERİZASYONU İLE ÇEVRESEL AKİBETİNİN İNCELENMESİ

Dilek BOLAT

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kadir GEDİK

Aralık 2015, 69 sayfa

Küresel olarak hızlı bir şekilde ilerleyen teknoloji, artan ve farklılaşan ihtiyaçlar karşısında yaşam standartları gün geçtikçe değişmektedir. Bu doğrultuda, hemen her alanda olduğu gibi, artan nüfus ve endüstrileşmeyle beraber gıda endüstrisinde beslenme amacıyla veya makinelerde yağlama işlemleri için kullanılan çeşitli yağ sektörü ürünlerine duyulan ihtiyaç da artmaktadır. Kullanıldığı ortam ve koşulların neden olduğu fiziksel ve kimyasal kayıplar sebebiyle kullanım amacına uygunluğunu kaybederek atık formuna dönüşen yağlar, sahip oldukları kirleticiler sebebiyle bilinçsiz/kontrolsüz uzaklaştırılmaları sonucu çevre ve insan sağlığı tehdit etmektedir. Buradan hareketle, bu çalışmada, çeşitli yağ sektörü ürün ve atıklarında poliklorlu bifenil (PCB), metal ve halojen içeriği araştırılmıştır. Numunelerdeki \sum_{15} PCB miktarı tespit limiti-31,6 (4,71±6,17) mg/kg aralığında ölçülmüş ve numune türüne göre 10 Numara Yağ (5,90±7,83)> yağlı atıklar (4,35±4,51)> atık motor yağı (0,359±0,375)> hayvansal atık yağ (0,189)> bitkisel atık yağ (0,179±0,007) şeklinde sıralanmıştır. Atık yağ ve yağlı atıklar özelinde araştırılan Σ_{21} metal konsantrasyonu 1,29-104 (26,9±29,3) µg/g aralığında değişirken numunelerin %83'ünde tespit edilen Cl konsantrasyonu <200-2300 (713±503) µg/g düzeyinde ölçülmüştür. Geri kazanım ve bertaraf noktasındaki belirsizlikler, kontrolsüz ve denetimsiz olarak gerçekleştirilen uygulamalar ile ekonomik ve çevresel açıdan endişeye neden olan bu sorunun boyutu, çevre ve insan sağlığı üzerine muhtemel etkileri gerçek endüstriyel örnekler eşliğinde irdelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: 10 numara yağ, Alternatif yakıt, Atık yağ, Dizel, Emisyon

JÜRİ: Doç. Dr. Kadir GEDİK (Danışman)

Prof. Dr. Bülent TOPKAYA

Doç. Dr. Perihan Binnur KURT-KARAKUŞ

ABSTRACT

INVESTIGATION OF ENVIRONMENTAL FATE OF OIL SECTOR PRODUCTS AND WASTES BY CHEMICAL CHARACTERIZATION

Dilek BOLAT

M.Sc. Thesis in Environmental Engineering

Supervisor: Assoc.Prof. Dr. Kadir GEDİK

December 2015, 69 pages

Living standarts are changing day after day in the face of global progressive technology and diversified needs. In this respect, the need for oil sector products is also increasing used for nutritional purposes in the food industry or for lubrication purposes in the machine together with increasing population and industrialization as in almost every field. Depending on the conditions, oils lose its relevance to the intended use and transformed into waste form due to deterioration in the physical and chemical structure, and thus, threaten the environment and human health in case of irrational and uncontrolled disposal due to the variety of pollutants being possessed of. In this study, polychlorinated biphenyl (PCB), metal and halogen content was investigated in the various oil sector products and wastes. Σ_{15} PCBs in the samples varied from below detection to 31,6 (4,71±6,17) mg/kg and lined up among the sample types as Number 10 lube (5,90±7,83)> oily wastes (4,35±4,51)> waste engine oil (0,359±0,375)> waste animal oil (0,189)> waste vegetable oil (0,179±0,007). While total halogen content as Cl detected in 83% of samples ranging from <200-2300 (713±503) μ g/g, the level of Σ_{21} metals was 1,29-104 (26,9±29,3) μ g/g depending on waste oil and oily waste sample. The extent of problem that cause concern from an economic and environmental point of view together with the uncertainties observed in the recovery and disposal approach or applications performed in the uncontrolled and unsupervised manner is scrutinized with real industrial examples.

KEYWORDS: Number 10 lube, Alternative fuel, Waste oil, Diesel, Emission

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Kadir GEDİK (Supervisor)

Prof. Dr. Bülent TOPKAYA

Assoc. Prof. Dr. Perihan Binnur KURT-KARAKUŞ

ÖNSÖZ

Bu çalışma süresince, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, tez çalışmamın yürütülmesi ve yönlendirilmesinde tüm desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmaktan gurur duyduğum değerli danışman hocam Doç. Dr. Kadir GEDİK'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Analizlerin yapılması ve yorumlanmasında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Perihan Binnur KURT-KARAKUŞ, Yüksek Kimyager Kubilay YILMAZ, Yüksek Kimyager Murat KILIÇ ve Arş. Gör. Emine CAN-GÜVEN'e teşekkür ederim. Ayrıca, deneysel çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen NanoKOK Araştırma Laboratuvarındaki değerli ekip arkadaşlarım Ahmet BORAN, Burak AK, Halil ÇELİK ve Merve ÖZKALELİ'ye teşekkür ederim.

Numunelerin toplanması noktasındaki desteklerinden dolayı Antalya Büyükşehir Belediyesi çalışanlarına, Antalya Su ve Atıksu İdaresi'ne (ASAT), Setur Antalya Marina, Antalya Deha Biyodizel çalışanlarına, Sn. Gözde KILIÇ-KAÇAR'a, Sn. Murat Mert OTUZALTI'ya ve Sn. Yasin UZUN'a teşekkür ederim.

Yazım aşamasında motivasyon ve desteklerini her daim hissettiren başta Betül KOTANCI, Oral KURAL, Özge ÇOBAN, Tamer TEPEBAŞ ve Yusuf USLU olmak üzere Trans Anadolu Doğalgaz Boru Hattı Projesindeki (TANAP) bütün çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmalarım süresince her konuda yanımda olarak desteklerini esirgemeyen kıymetli arkadaşım Orhan ERKALAYCIOĞLU'na teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde olduğu gibi yüksek lisans çalışmalarım boyunca her daim yanımda olan başta kardeşim Çiğdem BOLAT olmak üzere, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok değerli ebeveynlerim Hatice BOLAT ve Hasan BOLAT'a ayrı ayrı çok teşekkür ederim.

Tezi maddi olarak destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (112Y175) ile Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (FDK-2014-24) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI.....	3
2.1. Yağ Sektörü Ürün ve Atıkları	3
2.1.1. Madeni yağlar	4
2.1.2. Yenebilir yağlar.....	8
2.1.3. 10 numara yağlar.....	9
2.2. Atık Yağlar ve Yağlı Atıkların Yönetimi.....	10
2.2.1. Hammadde geri kazanımı	15
2.2.2. Akaryakıt olarak kullanımı	16
2.2.3. Soba ve kazanlarda ısıtma amaçlı kullanımı.....	16
2.2.4. İlave yakıt olarak kullanımı	17
2.2.5. Tehlikeli atık olarak bertarafı.....	17
2.3. Yağ Sektörü Kaynaklı Kirleticiler ve Çevredeki Akıbetleri	19
2.3.1. Poliklorlu bifeniller	22
2.3.2. Metal	28
2.4. Çalışmanın Önemi ve Özgünlüğü	30
3. MATERYAL ve METOT.....	31
3.1. Örnekleme	31
3.2. PCB Ekstraksiyonu ve Enstrümental Analizi.....	33
3.3. Metal Ekstraksiyonu ve Enstrümental Analizi.....	35
3.4. Toplam Klor (Halojen) Analizi	36
3.5. Analizlerde Kalite Güvencesi ve Kontrolü	36
3.5.1. PCB analizleri	36
3.5.2. Metal analizleri	38
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	41
4.1. PCB Düzeyleri.....	41
4.1.1. Atık yenebilir yağlar	41
4.1.2. Atık motor yağları.....	41
4.1.3. Yağlı atıklar.....	42
4.1.4. 10 numara yağlar.....	42
4.2. Metal Düzeyleri.....	44
4.2.1. Atık yenebilir yağlar	44
4.2.2. Atık motor yağları.....	45
4.2.3. Yağlı atıklar.....	45
4.3. Toplam Halojen (Klor) Düzeyleri	47
4.4. Atık yağ ve yağlı atıklardaki muhtemel kirletici kaynakları.....	48
5. SONUÇ.....	55
6. KAYNAKLAR.....	56
7. EKLER	65
Ek 1: Poliklorlu Bifenillerin Ticari İsimleri	65
Ek 2: Elementlere Ait Analitik Ölçüm Sonuçları.....	66
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
At	: Astatin
Ba	: Baryum
Be	: Berilyum
Bi	: Bizmut
Br	: Brom
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cr	: Krom
CH ₄	: Metan
Cl	: Klor
Co	: Kobalt
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon dioksit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
F	: Flor
Fe	: Demir
H ₂ O ₂	: Hidrojen peroksit
H ₂ SO ₄	: Sülfürik asit
HBr	: Hidrobromik asit
HC	: Hidrokarbon
HCl	: Hidroklorik asit
HF	: Hidrojen florür
HNO ₃	: Nitrik asit
Hg	: Civa
I	: İyot
K	: Potasyum
Li	: Lityum
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
N ₂ O	: Diazot monoksit
Na	: Sodyum
Na ₂ SO ₄	: Sodyum sülfat
Ni	: Nikel
NO	: Azot oksit
P ₂ O ₅	: Fosfor pentaoksit
Pb	: Kurşun
Pr	: Praseodim
Rb	: Rubidyum
Sb	: Antimon
Se	: Selenyum
Si	: Silisyum

Sm	: Samaryum
Sn	: Kalay
SO ₂	: Sülfür dioksit
Sr	: Strontiyum
Ti	: Titanyum
Tl	: Talyum
V	: Vanadyum
Zn	: Çinko

Kısaltmalar

10NY	: 10 Numara Yağ
AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AB/EU	: Avrupa Birliği (European Union)
ABD/USA	: Amerika Birleşik Devletleri (United States of America)
AK	: Avrupa Komisyonu (European Commission)
AOSB	: Antalya Organize Sanayi Bölgesi
AYKY	: Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği
ATSDR	: Toksik Maddeler ve Hastalık Kaydı Ajansı (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)
ATY	: Atıktan Türetilen Yakıt
BAY	: Bitkisel Atık Yağ
BAYKY	: Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği
Bknz	: Bakınız
BSYD	: Bitkisel Yağ Sanayicileri Derneği
CRM	: Sertifikalı Referans Madde (Certified Reference Materials)
CTS	: Cihaz Tayin Sınırı
ÇOB	: Çevre ve Orman Bakanlığı
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
dak	: Dakika
EPA	: Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency)
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EN	: Avrupa Normu (European Norm)
GC	: Gaz Kromatografisi (Gas Chromatography)
HCBD	: Hexachlorobutadien
ICP	: Etkileşik Çiftlenmiş Plazma (Inductively Coupled Plasma)
İÇDR	: İl Çevre Durum Raporu
İSTAÇ	: İstanbul Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
İZAYDAŞ	: Ülkemizde İzmit Atık ve Artıkları Arıtma, Yakma ve Değerlendirme Anonim Şirketi
K	: Kış
KOK	: Kalıcı Organik Kirletici
KTB	: Kültür ve Turizm Bakanlığı
MAPESAD	: Madeni Yağ ve Petrol Ürünleri Sanayicileri Derneği
maks.	: Maksimum
min.	: Minimum
ml	: Mili Litre
MMO	: Makine Mühendisleri Odası

MS	: Kütle Spektrometresi (Mass Spectrometry)
MTS	: Metot Tayin Sınırı
N	: Örnek Sayısı
ODTÜ	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
ort.	: Ortalama
OEHHA	: Çevre Sağlığı Tehlike Değerlendirme Ofisi (Office of Environmental Health Hazard Assesment)
UOB	: Uçucu Organik Bileşikler
UUP	: Ulusal Uygulama Planı
PAH	: Poli Aromatik Hidrokarbon
PAL	: Petrol Araştırma Laboratuvarı
PCB	: Poliklorlu Bifenil
PCDD	: Poliklorlu Dibenzo Dioksin
PCDF	: Poliklorlu Dibenzo Furan
PCN	: Poliklorlu Naftalin
PCP	: Pentakloro Fenol
PCT	: Poliklorlu Terfenil
PeCDF	: Pentakloro dibenzo furan
PETDER	: Petrol Sanayi Derneği
PM	: Partikül Madde
ppb	: Milyonda Bir (Part Per Billion)
rpm	: 1 dakika içerisinde gerçekleştirilen dönüş/devir sayısı (Revolutions per Minute)
RT	: Alıkonma Zamanı (Retention Time)
SC	: Stockholm Sözleşmesi (Stockholm Convention)
SIM	: Seçilmiş İyon İzleme (Selected Ion Monitoring)
SN	: Nötr Solvent
sn	: saniye
std	: Standart sapma
TCDF	: Tetrakloro Dibenzo Furan
TÇMB	: Türkiye Çimento Müstahzarları Birliği
TEQ	: Zehir Eşdeğer Faktörü (Toxic Equivalency Factor)
TFM	: Teflon
PFA	: Perfloro Alkoksi
TS	: Türk Standardı
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TÜKÇEV	: Tüketici ve Çevre Eğitim Vakfı
TOC	: Toplam Organik Bileşikler
UDHB	: Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme)
UOB	: Uçucu Organik Bileşik
UUP	: Ulusal Uygulama Planı
VGS	: Viskozite Gravite Sabiti
vb	: ve benzeri
Y	: Yaz

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yağ sektörü ürün ve atıkları.....	5
Şekil 2.2. Ham petrolün ayrımsal damıtılması.....	6
Şekil 2.3. Atık yağların yönetimi.....	11
Şekil 2.4. Kirleticilerin çevresel ortamlarda taşınımı	20
Şekil 2.5. PCB'nin kimyasal yapısı	22
Şekil 2.6. Stockholm Sözleşmesine göre PCB'lerin bertafına yönelik süreç planlaması	25
Şekil 3.1. PCB ekstraksiyonu.....	34
Şekil 3.2. Asitle çürütme işlemi.....	35
Şekil 3.3. PCB bileşiklerine ait örnek GC-MS kromatogramı.....	38
Şekil 4.1. PCB bileşiklerinin 10NY numunelerindeki dağılımı.....	44
Şekil 4.2. 10NY numunelerinde PCB bileşiklerinin dağılımı.....	45
Şekil 4.3. Halojen analizi sonuçları	47
Şekil 4.4. Metal analizi sonuçları.....	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Yağ sektörü ürünlerinin kullanım alanları	3
Çizelge 2.2. Yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri	4
Çizelge 2.3. Mineral baz yağların performanslarının karşılaştırılması	6
Çizelge 2.4. Atık yağlara ilişkin ulusal mevzuatlar	12
Çizelge 2.5. Atık makine/motor yağlarında bulunabilen kirleticilerin müsaade edilen sınır değerleri	12
Çizelge 2.6. Uygulanan mevcut atık yağ geri kazanım ve bertaraf seçenekleri	15
Çizelge 2.7. Yağ sektörü atıklarına ait atık kodları.....	18
Çizelge 2.8. Atık yağ yakıcı sistemlerden kaynaklanan bazı kirleticilere yönelik emisyon faktörleri	21
Çizelge 2.9. PCB içermesi muhtemel ekipman-kaynak ilişkisi	23
Çizelge 2.10. Analiz edilmiş yağ örneklerindeki PCB bileşiklerinin ortalama konsantrasyonları	26
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan numune tür ve özellikleri	31
Çizelge 3.2. Örnekleme noktaları	32
Çizelge 3.3. GC-MS çalışma koşulları.....	33
Çizelge 3.4. ICP-MS çalışma koşulları	35
Çizelge 3.5. PCB bileşiklerine ait kalibrasyon eğrisi verileri	36
Çizelge 3.6. PCB geri kazanım hesapları (min.-maks.(ort±std) mg/kg)	37
Çizelge 3.7. Kontrol (şahit) numunelerinden kaynaklanan PCB miktarları	37
Çizelge 3.8. Metal elementlerine ait kalibrasyon eğrisi verileri	38
Çizelge 3.9. Metal geri kazanım hesapları	39
Çizelge 3.10. Kontrol (şahit) numunelerinden kaynaklanan metal elementi miktarları ..	40
Çizelge 4.1. Atık yağ ve yağlı atık numunelerindeki PCB bileşiklerinin miktarları	43
Çizelge 4.2. Atık yağ ve Yağlı Atıklardaki Metal İçerikleri	46
Çizelge 4.3 Ticari PCB bileşiği formülasyonları	48

Çizelge 4.4. Atık yağ ve yağlı atıkların PCB içeriği.....	49
Çizelge 4.5. Çeşitli atık yağlardaki PCB konsantrasyonları	51
Çizelge 4.6. Yağ sektörü ürün ve atıklarındaki toplam halojen içeriği.....	52
Çizelge 4.7. Yağ sektörü ürün ve atıklarındaki metal içerikleri	53
Çizelge 4.8. Kirletici parametrelerin birbirleri ile ilişkisi.....	54
Çizelge 7.1. PCB'lerin ticari isimleri.....	65
Çizelge 7.2. Yaz dönemi atık yağ ve yağlı atık numuneleri PCB bileşikleri konsantrasyonu	66
Çizelge 7.3. Kış dönemi atık yağve yağlı atık numuneleri PCB bileşikleri konsantrasyonu	66
Çizelge 7.4. 10 numara yağ numuneleri PCB bileşikleri konsantrasyonu-1	67
Çizelge 7.5. 10 numara yağ numuneleri PCB bileşikleri konsantrasyonu-2	67
Çizelge 7.6. 10 numara yağ numuneleri PCB bileşikleri konsantrasyonu-3	68
Çizelge 7.7. ICP-MS ölçüm sonuçları	69

1. GİRİŞ

Gelişen sanayi ve teknolojiye yönelik faaliyetleri takiben farklılaşan ihtiyaçlar karşısında yaşam standartları gün geçtikçe artmaktadır. Bu doğrultuda, hemen her alanda olduğu gibi, artan beslenme ve enerji ihtiyacı doğrultusunda yağ sektörünün (bitkisel/hayvansal, madeni vb.) önemi de her geçen gün artmaktadır (Top-Taşkaya 2010). Yapısal olarak mineral, sentetik veya yenibilir özelliklere sahip olan yağlar makine, yemekçilik ve kozmetik endüstrilerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Söz konusu alanlara hitap eden ham petrol destilasyon ürünü baz/madeni yağlar veya bitkisel/hayvansal kökenli yağlar, küresel çapta standartlaşmış piyasaya sahiptir. Çeşitli amaçlara yönelik kullanılan yağ sektörü ürünleri talep artışına paralel şekilde, kullanıldığı ortam ve koşullardan kaynaklanan fiziksel ve kimyasal yapısındaki bozulmalar sonucu kullanım amacına uygunluğunu kaybederek oluşan atık yağ hacmini de etkilemektedir. Atığa dönüşen çeşitli tip ve özellikteki yağların çevresel akıbeti, ülkelerin gelişmişlik düzeyi ile orantılı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Geniş kullanım alanına sahip olan yağlara ait atıklar, hammadde geri kazanım potansiyeli ve kalorifik değeri nedeniyle geri dönüşüme uygun en büyük atık gruplarından biri olarak nitelendirilmektedir (Nixon ve Saphores 2002). Dolayısıyla, bu karakteristiğe sahip atıklar, yapılacak doğru yönlendirme ile çevresel sorun olmaktan çıkarak önemli bir ekonomik değere dönüşecektir. Ancak tekrar kullanım potansiyeli açısından yağ sektörü atıkları geri dönüşüme uygun olan en büyük sektör olmasına karşın ülkemizde yeterli öneme sahip değildir. Yağ sektörü atıklarına ait geri kazanım ve bertaraf yöntemleri her ne kadar ilgili yönetmeliklerle düzenlenmiş olsa da, akıbetleri son kullanıcılar tarafından belirlenen olumsuz çevresel etkilere neden olmaktadır. İlgili atıkların yönetimine dair hazırlanan mevzuatlar doğrultusunda, atık yağlara yönelik toplama, depolama, geri dönüşüm ve bertaraf uygulamaları yetkilendirilmiş kurum veya kuruluşlar tarafından gerçekleştirilmektedir. Ancak, atık yağların kayıt dışı kalan kısmı kaçak ve kontrolsüz bir şekilde, ısı veya mekanik enerji eldesi amacıyla yağ sobaları, kazanlar veya akaryakıtta karıştırılarak kullanılmaktadır (Çanakçı ve Akıncı 2007). Fizikokimyasal özellikleri ve çevreyle uyumlu olmayan uzaklaştırma yöntemleri insan ve çevre sağlığı açısından tehdit oluşturabilmektedir. Bunun başlıca nedeni ise günümüz çevre teknolojileri ve uygulamalarının aksine, sektörel bazdaki pek çok atık yağ grubunun ısıtma, motorin eşdeğeri yakıt (10 numara yağ: 10NY) veya katkısı olarak kullanılmasıdır (Gedik ve Uzun 2015). Bunun yanı sıra, atıksu arıtma tesislerinde (AAT'de) biriken yağ/gres atıkları, işletmeye bağlı olarak, geri dönüşüm firmasına verilmek yerine çamur ile birlikte uzaklaştırılmakta veya toprağa gömülebilmektedir. Geri kazanılarak çevreye vereceği zararın minimuma indirgenebileceği bu atık grubu, uygun olmayan şartlarda yakılarak akıbeti net olarak bilinmeyen ve yaygın bir ağa sahip noktasal kirletici kaynağına dönüşmektedir. Atık olarak nitelendirilen yağlar içerisinde metal, poliaromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), poliklorlu bifeniller (PCB'ler), polar bozunma ürünleri, heterosiklik aminler, halojenler gibi sağlığa zararlı pek çok madde bulundurabilmektedir. Bu tip atıkların, uygun olmayan geri kazanım ve bertaraf faaliyetlerine konu olması ise çevre ve insan sağlığını tehdit etmektedir (ATSDR 1997, 1997, Baars vd. 2004, Cheung vd. 2010, Fontcuberta vd. 2008, Gedik ve Yurdakul 2014, Hall vd. 1983, Roszko vd. 2012).

Yağ sektörü ürün ve atıklarının, uygulanan bertaraf yöntemine bağlı olarak oluşturabileceği çevresel sorunlara farkındalık sağlayacak bu çalışma kapsamında, ilgili

soruna dair verilen bilgilerden hareketle, atık madeni ve yenebilir yağlar, kanalizasyon sistemi çeşitli birikme noktalarındaki yağlı atıklar ve 10NY'larda PCB, metal bileşikleri ile toplam halojen mevcudiyet ve dağılımları araştırılmıştır. Ayrıca, söz konusu atık yağ ve yağlı atıkların kontrolsüz bertarafı sonucu çevre ve insan sağlığı üzerine muhtemel etkileri derlenerek, gerçek endüstriyel örnekler eşliğinde sorunun boyutu ve sektörde gözlenen belirsizlikler irdelenmiştir.

2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI

2.1. Yağ Sektörü Ürün ve Atıkları

Nüfus artışı ve makine endüstrisinin gelişmesine paralel olarak birçok alanda olduğu gibi yağ sektörü ürünlerinin üretimi, çeşitliliği ve kullanımı da artmıştır. Çeşitli kullanım alanlarına sahip olan yağ sanayi vazgeçilmez bir sektör olup ürünleri Çizelge 2.1’de verilen alanlara yönelik kullanılmaktadır. Yağların yapısı Çizelge 2.2’de verilen fiziksel ve kimyasal özelliklere göre değişiklik göstermektedir (Mang ve Dresel 2007, Pelitli 2009). Ayrıca, yağ sektörü ürünleri hammaddesi (petrol türevi, bitkisel, hayvansal) veya elde ediliş şekline (doğal, sentetik) göre Şekil 2.1’de verildiği gibi endüstri ve beslenme ana başlıkları altında irdelenmektedir (UNEP 1999). Ancak, ilgili ürünler, kullanım yeri, koşulları ve amaçlarına paralel olarak belirli bir kullanım süresinin ardından yapısında meydana gelen bir takım farklılıklar sonucu kullanım amacına uygunluğunu yitirerek atık halini almaktadır. Bu nedenle, ilgili sektör ürünlerinin üretim ve kullanımları esnasında çevreye zararı olmayan yönetim sistemlerinin oluşturulması ve çevreyle uyumlu şekilde yönetilmesi esastır. Yağ sektörü atıklarının geri kazanım ve bertarafına yönelik işlemler gerçekleştirilmeden önce içeriğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılan karakterizasyon analizleri ek maliyetlere neden olduğundan analiz yapılmaksızın geri kazanım veya bertaraf işlemlerini belirleyebilmek için atık yağ kaynağının bilinmesi oldukça önemlidir.

Çizelge 2.1. Yağ sektörü ürünlerinin kullanım alanları

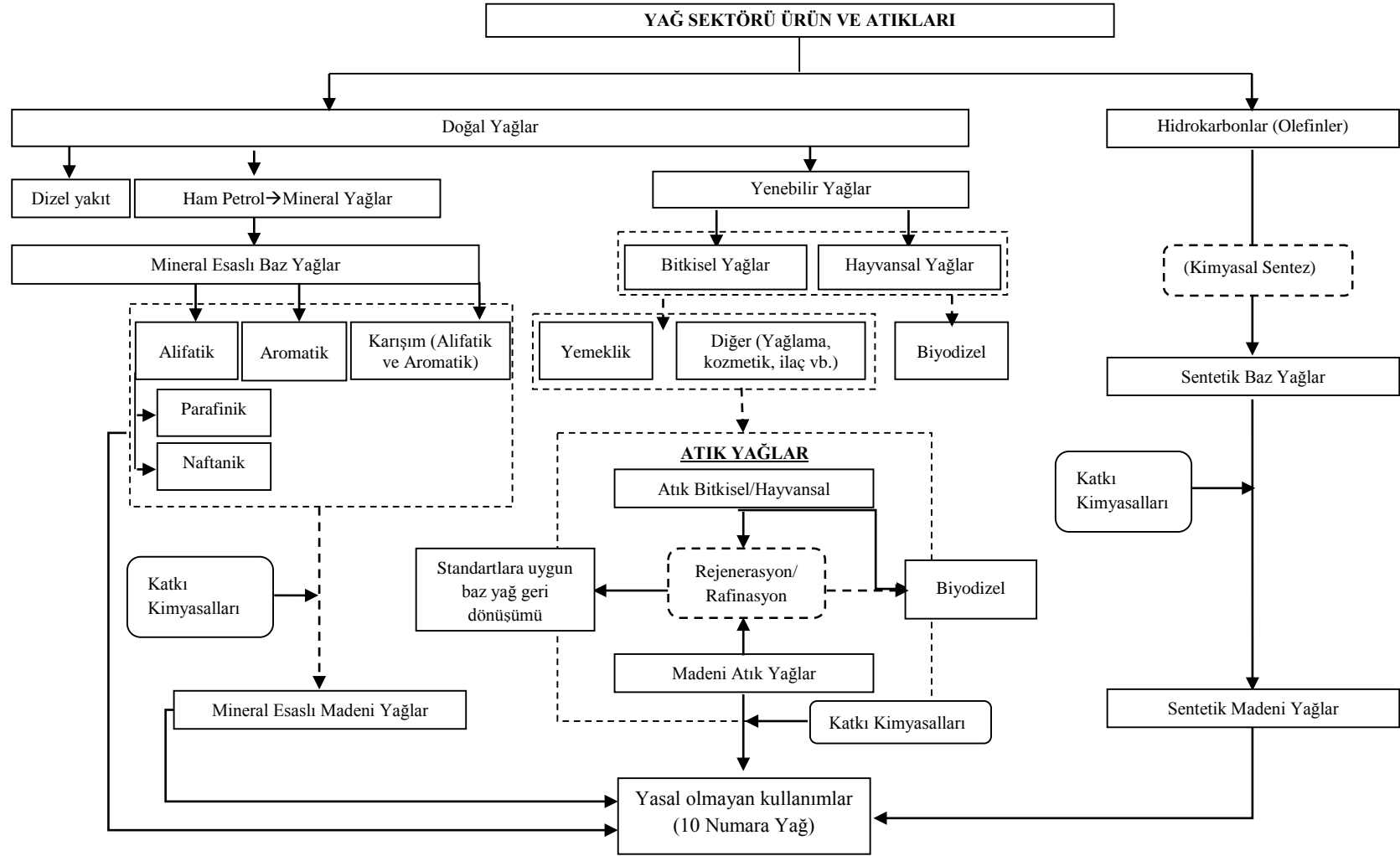
Yağ Türü	Kullanıldığı Endüstri/Faaliyet
Hidrolik yağlar ve transformatör yağları	✓ Kimya endüstrisi
	✓ İmalat sanayi
	✓ Madencilik endüstrisi ve elektrik kaynağı
	✓ Trafo ve kondansatörler
Makine yağları, türbin yağları ve motor yağları	✓ İmalat sanayi,
	✓ Otomobil atölyeleri,
	✓ Petrol istasyonları, ✓ Elektrik kaynakları,
İzolasyon ve ısı iletim yağları	✓ Kimya endüstrisi
	✓ İmalat sanayi
	✓ Madencilik endüstrisi ve elektrik kaynakları ✓ Transformatör istasyonları ve trafolar
Klorlu veya klorsuz makine yağları	✓ Metal şekillendirme endüstrisi ve atölyeler
	✓ Metallerin yüzey işlemleri
Akaryakıt Ürünleri	✓ Dizel ve biyodizel yakıtlar
Bitkisel ve hayvansal yağlar	✓ Gıda endüstrisi
	✓ İlaç ve kozmetik sanayi
	✓ Biyodizel ✓ Biyogaz
10NY	✓ Kaçak akaryakıt

2.1.1. Madeni yağlar

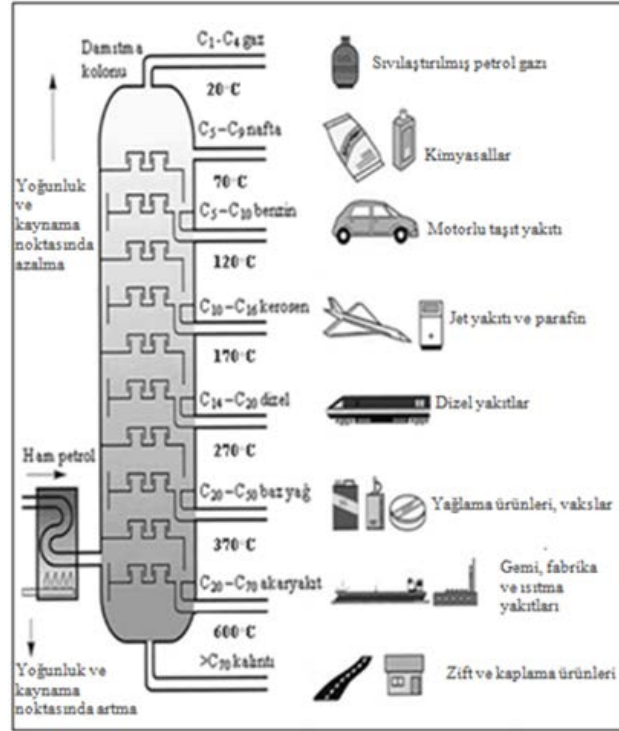
Petrol türevi yağlama ürünleri, içerisinde pek çok ürün grubunu barındıran ham petrolün rafine (Şekil 2.2) edilmesinin ardından doğrudan veya bir takım katkı kimyasalları ile kullanım amacına uygun özelliklerin kazandırılması sonucu üretilmektedir (NEED 2014).

Çizelge 2.2. Yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametre	Özellik
Viskozite-Gravite Sabiti (VGS)	<ul style="list-style-type: none"> Yağların kimyasal özelliklerinin belirlenmesini sağlar. Bitkisel yağlarda düşük molekül ağırlıklı yağ asitlerini içerenlerin viskozitesi, doymamışlık derecesi aynı olan yüksek molekül ağırlıklı yağ asitlerin içeren yağlardan daha düşüktür. Madeni yağlarda VGS değeri 0,800'e yakın ise parafinik, 1,000'e yakın ise aromatik özelliğin baskın olduğunu gösterir .
Özgül ağırlık	<ul style="list-style-type: none"> Yağlarda özgül ağırlık ayırt edici bir fiziksel özelliktir. Bitkisel sıvı yağların özgül ağırlıkları 0,910-0,930 arasında değişmektedir. Mineral yağların özgül ağırlıkları 0,850-0,920 arasında değişirken reçine yağlarının özgül ağırlıkları 0,960-1,000 arasındadır. Özgül ağırlığın belirtilmesi, yağların kaynağı hakkında yaklaşık olarak fikir edinebilmeyi sağlamaktadır.
Kırılma indisi	<ul style="list-style-type: none"> Farklı Bitkisel yağların doymuşluk derecesi ile ilgilidir.
İyot sayısı	<ul style="list-style-type: none"> Bitkisel yağların bağlayabildiği iyot miktarını gösterir. Bitkisel yağın doymuşluk, doymamışlık derecesi hakkında fikir verir.
Sabunlaşma sayısı	<ul style="list-style-type: none"> Yenebilir yağlardaki serbest asitlerle, gliseritlerin sabunlaşması için gereken miligram cinsinden potasyum hidroksit miktarıdır. Yağın ortalama molekül ağırlığını gösterir. Yağ molekülünde bulunan yağ asitleri hakkında fikir verir.
Sabunlaşmayan madde miktarı	<ul style="list-style-type: none"> Yağda çözülmüş halde bulunan fakat sabunlaşmadan sonra suda çözünmeyen maddelerin toplamıdır.
Anilin noktası	<ul style="list-style-type: none"> Yağ ve anilin tam olarak karıştığı sıcaklık "anilin noktası" olarak adlandırılmaktadır.
Karbon Dağılımı	<ul style="list-style-type: none"> Fizikokimyasal verilerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Bu analiz için reaktif indeks, yoğunluk ve moleküler ağırlıktan faydalanılmaktadır. Moleküler ağırlık değeri ise viskozitenin değişik sıcaklıklarda ölçülmesiyle elde edilmektedir. Karbon dağılımı %CA (aromatik), %Cn (naftenik) ve %Cp (Parafinik) olarak verilir. Aromatik karbon içeriğinin ise tam olarak belirlenebilmesi için NMR testi kullanılabilir.
Hidrokarbon Kompozisyonu	<ul style="list-style-type: none"> Doygun fraksiyonlar alkanlar (0-halkalı), 1-halkalı, 2-halkalı, 3-halkalı, 4-halkalı ve 5-halkalı naftenlere ayrılmaktadır. Aromatik fraksiyonlar ise yedi sınıfa ayrılmaktadır.
Polisiklik Aromatikler	<ul style="list-style-type: none"> Ham petrol içerisinde bulunan polisiklik aromatikler (PAH, PCA) kanserojenik olduğundan çevresel açıdan zararlı maddelerdir. Geleneksel solvent rafinasyon prosesinde PAH'ların büyük çoğunluğu ekstrakt içerisinde kalmaktadır. Solventle ekstrakte edilmeyen distilatlar ise kaynama noktalarıyla uyumlu olarak PAH'ları bünyelerinde bulundurmaktadır.
Beyaz Yağlarda Bulunan Aromatikler	<ul style="list-style-type: none"> Beyaz yağlar, ilaç ve besin endüstrilerinde kullanıldığından tercihen aromatiklerin bulunması istenmez.



Şekil 2.1. Yağ sektörü ürün ve atıkları



Şekil 2.2. Ham petrolün ayrımsal damıtılması

Ham petrolün, dolayısıyla, yağlayıcıların temel bileşeni olan baz yağın yapısında alkan, alken ve aromatikler olmak üzere üç ana hidrokarbon grubunun yanı sıra eser miktarda kükürt ve ağır metal bulunmaktadır (Kamal vd. 2009, PETDER 2011). Bu maddelerin baz yağ içerisindeki oranı, baz yağın performansını ve kullanım alanını doğrudan etkilemektedir. Alifatik yapıda olan baz yağlar parafinik (alkan ve doymuş alifatik) veya naftenik (siklo-alkan veya siklo-parafin) bileşenler içeren alt gruplara sahiptir. Çizelge 2.3’de verildiği gibi mineral esaslı yağlar alt gruplarında dahi birbirinden farklı fiziksel ve kimyasal davranış gösterebilmektedir (Mang ve Dresel 2007).

Çizelge 2.3. Mineral baz yağların performanslarının karşılaştırılması

	Alifatik mineral yağlar		Bitkisel yağlar
	Naftenik	Parafinik	
Yüksek Sıcaklık	2,5	2,0	3,0
Düşük Sıcaklık	2,0	3,0	2,0
Eskime	2,0	2,0	3,0
Buharlaştırma Kaybı	2,5	2,5	1,0
Toksosite	2,0	2,0	1,0
Hacim-Sıcaklık Davranışı	2,5	2,0	2,0
Σperformans düzeyi	2,2	2,3	2,0

1,0 (Mükemmel) ↔ 3,0 (Kötü)

Petrol esaslı (mineral) yağların sahip oldukları özellikler ve kalite dereceleri, elde edildiği baz yağın kaynağı, viskozitesi, üretim yöntemi ve kullanılan katkı kimyasallarına göre belirlenmektedir. Mineral yağlar, genellikle damıtma, rafinasyon,

asfalt/parafin giderme ve karıştırma (parçalama) işlemleri izlenerek üretilmektedir. Yağ içerisindeki kirlenme, siyahlaşma, viskozite artması ve çamur oluşumuna neden olabilen bileşenlerin gideriminde asit rafinasyonu, çözücü ile rafinasyon, hidro-arıtma gibi farklı rafinasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Uygulanan rafinasyon işlemleri ile yağın kararlılığı ve sıcaklık-viskozite özellikleri iyileştirilip kükürt içeren bileşenlerin uzaklaştırılmasıyla yağın kullanım ömrü artırılmaktadır. Genellikle madeni yağ olarak kullanılan mineral yağların, yüksek sıcaklıklarda motorda soruna neden olmayacak şekilde yağlamayı sağlayabilecek yüksek viskoziteye ve düşük sıcaklıklarda motorun ilk çalışmasına izin verecek derecede düşük viskoziteye sahip olması gerekmektedir (Özbey ve Metin 2010, Pelitli 2009). Buradan hareketle yağın viskozitesinin en önemli ölçütlerden birisi olduğunu söylemek mümkündür.

Elektrik ve ısı transfer ekipmanları ile yalıtım, yağlama, hidrolik, metal kesme işlemleri gibi geniş bir yelpazede kullanılan madeni yağlar ham petrolden distile edilerek üretilebildiği gibi sentetik olanları da mevcuttur. Ham petrolün rafinasyonu sonucu elde edilen baz yağlara performans katkısının eklenmemiş formu “mineral yağ” olarak tanımlanırken kimyasal sentez ile üretilen baz yağlardan elde edilen formu “sentetik yağ” olarak adlandırılmaktadır. Hareketli veya temas halinde olan makine elemanları arasında oluşan sürtünme, aşınma ve korozyon kayıpları sebebiyle harcanan enerjinin azaltılmasında yağlama ürünleri olarak madeni yağlar kullanılmaktadır (Özbey ve Metin 2013). Madeni yağlar, farklı yöntemlerle (ham petrolün rafinasyonu, kimyasal sentez veya madeni atık yağlarının tekrar rafine edilmesi) elde edilen baz yağlara çeşitli katkı kimyasallarının eklenmesiyle üretilmektedir. Doğrudan ham petrol rafinasyonu sonucu elde edilen baz yağlardan üretilen mineral yağlar, tek başına modern yağlama ihtiyaçlarını karşılayamadığından kimyasal sentez yoluyla elde edilen baz yağlar ve/veya bir takım katkı kimyasalları kullanılmaktadır. Baz yağın içerisine viskozite geliştirici, aşınma/paslanma/oksidasyon önleyici veya basınç dayanımı gibi fiziksel/kimyasal özellikler kazandıran çeşitli katkı maddelerinin ilave edilmesiyle farklı alanlarda kullanılabilir nitelikte madeni yağlar üretilmektedir. Katkı maddeleri genel olarak viskozite geliştiriciler, aşınma/sürtünme/köpük/pas/korozyon önleyiciler, antioksidan, deterjan ve dispersantlar olarak sınıflandırılmaktadır (Müjdeci ve Kaleli 2010). Sentetik kimyasalların eklenmesiyle baz yağların yetersiz özellikleri geliştirilerek yüksek performans yağları elde edilmektedir. Endüstriyel yağların üretiminde yaklaşık %85-90 oranında baz yağ kullanılırken %10-15 civarında ise katkı maddelerinin kullanıldığı bilinmektedir (Basu vd. 1998, Haus vd. 2001). Tipik bir baz yağ karışımındaki katkı kimyasallarının %60’ı dispersan, %21’i deterjan, %10’u aşınma önleyiciler, %4’ü sürtünme azaltıcı, %3’ü oksidasyon önleyici, %2’si akma noktası düşürücü, pas ve köpük önleyicilerden oluşmaktadır (Taşkiran 1991). Bazı durumlarda mineral yağlar katkı maddelerine rağmen yeterli olmamaktadır. Bu nedenle geniş bir sıcaklık aralığında istenilen viskozite ve yağlama özelliklerini koruyabilen değişik kimyasallar ve karışımları ile elde edilen sentetik yağlar geliştirilmiştir. Dünyadaki ham petrol üretim miktarının azalması ve ham petrolün doğal yapısından gelen sınırlamalar, petrol esaslı olmayan ve kimyasal yöntemlerle sentezlenebilen, üstün fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip sentetik yağ sektörünü oluşturmuştur. Sentetik yağlama ürünleri; sentetik hidrokarbon, polieter yağ, karboksilik/fosforik asit esterleri, silikon içeren yağ, hidrojenlenmiş hidrokarbon ve halokarbonlar olarak sıralanabilmektedir. Sentetik yağlar, mineral esaslı yağlara kıyasla daha üstün performans özelliklerine

sahiptir. Bu doğrultuda sentetik yağın yararları aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir (Pelitli 2009).

- ✓ Düşük genel viskozite ve üstün akış özelliği ile daha az sürtünme oluşturmaktadır.
- ✓ Viskozitesi mineral yağlara göre daha kararlı olduğundan sıcaklık değişikliklerinden daha az etkilenmektedir.
- ✓ Yüksek sıcaklıklarda viskozitesi ve yırtılma direncini korumaktadır.
- ✓ Mineral yağlarda sıklıkla rastlanan soğuk iklimlerdeki kalınlaşma problemine karşı dirençlidir.
- ✓ Uçuculuğunun mineral yağlara göre daha düşük olması sebebiyle daha az buharlaşmaktadır.
- ✓ Oksidasyon direncinin mineral yağlara oranla yüksek olmasından ötürü yüksek sıcaklıklarda iklimlerde yağ moleküllerinde görülen parçalanma ve bozulma ihtimali daha düşüktür.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun (EPDK) 2012 yılında yayınladığı verilere göre ülkemizde faaliyet gösteren 301 adet madeni yağ lisansına sahip firmanın yaklaşık 5,2 ton üretim kapasitesi bulunmaktadır (PETDER 2012-a). Tam kapasite işletilmemesine rağmen sektör hacmine katkısı bulunan bu tesislerde yapılan baz/madeni yağ üretiminin yanı sıra ithal edilen yağlar da piyasaya arz edilmektedir. Ancak yıllık tüketimin yaklaşık 550.000 ton olduğu baz/madeni yağ piyasasına sunulan miktar piyasadaki talebin üzerinde kalmaktadır. 2012 yılında ülkemizde madeni yağ tüketiminin %53'ünü taşıt yağları, %36'sını endüstriyel yağlar, %6'sını deniz yağları, %5'ini ise gresler oluşturmaktadır (PETDER 2012-a).

2.1.2. Yenebilir yağlar

İnsanlar tarafından tüketime uygun nitelikte olan bitki tohum veya çiçeklerinden ya da havyaların yağlı doku ve ürünlerinden elde edilen yağlar “yenebilir/yenilebilir yağ” olarak isimlendirilmektedir. Yenebilir yağların üretiminde 17 temel hammadde (bitkisel yağ; soya fasulyesi, pamuk tohumu, yer fıstığı, ayçiçeği, kolza tohumu, susam, mısır, zeytin, palmye, palmye çekirdeği, hindistan cevizi, keten tohumu, keneotu bitkileri, hayvansal yağ; tereyağı, kuyruk yağı, iç yağı, balık yağı) kullanılmaktadır (Lam vd. 2010). Ham olarak elde edilen yenebilir yağlar daha sonra natürel ve rafine şekline sıvı ya da hidrojenerasyon (sertleştirme) işlemine tabi tutularak katı (margarin) olarak pazarlanmaktadır (Yaşar 2002). Yemeklik, biyodizel üretimi, kozmetik endüstrisi gibi farklı alanlarda yağları kullanılan ayçiçeği, pamuk, mısır, soya, zeytin, kolza, yer fıstığı, haşhaş, kenevir ve aspir bitkileri ile fındık, ceviz, badem gibi önemli oranda yağ bulunduran sert kabuklu meyvelerin ülkemizde üretimi yapılmaktadır (Satana 2002). Ülkemizde, bitkisel yağ endüstrisi kapsamında en fazla üretilenler; bitkisel ham yağlar, sıvı rafine yağları ve margarinlerdir (Yaşar 2004). Hayvansal yağlar ise genellikle balık, tavuk, domuz gibi hayvanların çeşitli bölgelerinden (kas, kemik, kanat vb. gibi) ve koyun, sığır gibi büyük baş hayvan yağlarının işlenmesiyle üretilmektedir. Gıda, yemekçilik, yem endüstrileri başta olmak üzere sabun ve mum gibi ürünlerin üretiminde kayganlaştırıcı olarak, biyodizel ve diğer oleokimyasalların (yağ kimyasalları) üretiminde hammadde kaynağı olarak hayvansal yağlar kullanılabilir (Altun ve Öner 2010, Çengelci vd. 2011). Koyun, keçi, inek gibi hayvanların sütünden elde edilen

ya da büyükbaş ve küçükbaş hayvanların et üretim faaliyetlerinde kullanılması sonucu oluşan yağlarının belirli proseslerden geçirilmesiyle üretilen hayvansal yağlar insanların tüketimine uygun niteliktedir. Hayvanlardan elde edilen yenebilir yağ kapsamı dışında kalan ve et üretiminden kaynaklanan kemik, işkembe ve boynuz gibi hayvansal atıklardan üretilen yağlar insanlar tarafından tüketime uygun olmadığı gibi hayvanlarda yem olarak kullanımı da yasaklanmıştır (Alptekin ve Çanakçı 2011). Ayrıca, lehimleme sıvısı veya yüzey pürüzlülüğü sebebiyle yapılan yağlama işlemleri için haddeleme endüstrisi uygulamalarında sentetik yağlama ürünleri yerine daha ekonomik olan hayvansal yağların kullanılmasına yönelik eğilim vardır (Çengelci vd. 2011). Dünyadaki bitkisel ve hayvansal yağ üretimi yaklaşık 154 milyon ton iken hayvansal yağ üretimine dair verinin bulunmadığı ülkemizdeki bitkisel yağ üretimi yaklaşık 3,2 milyon tondur (BSYD 2014, Lam vd. 2010). Bitkisel yağ tüketimi (17,5 kg/kişi-yıl), dünya ortalamasının (14,8 kg/kişi-yıl) üzerinde olan ülkemizde, arz-talep açısından bitkisel yağ üretim miktarı, ihtiyacı karşılayabilen düzeye ulaşamamıştır (BSYD 2014).

2.1.3. 10 numara yağlar

Karayolu taşımacılığı ülkemizdeki en yaygın ulaşım şeklidir (UDH Bakanlığı 2011). Ham petrol fiyatlarındaki artış, taşıma/nakliyat sektöründe çalışan şoförlerin, dizel motorlarda kullanmak üzere daha ucuz alternatif bir yakıt aramasına neden olmuştur. Ekonomik cazibeye sahip standart dışı bir ürün olan 10NY karışımları ilgili tüketiciler (şoförler) tarafından bilinçli bir şekilde, dizel araçlarda (kamyon ve otobüs gibi) motorine ikame olarak kullanılmaktadır. Bu durum, akaryakıt olarak vergilendirilmemiş başta baz yağ olmak üzere madeni yağ, atık yağ ve benzeri ürünlerin satışıyla gerçekleşen vergi kaybı ile 10NY sorununun ekonomik boyutunu ortaya çıkarmaktadır. Literatürde yer alan 10NY'lar SN100, SN150, SN500 baz yağlarından imal edilen katıksız baz yağ ürünlerini ifade etmektedir (Akkapılı 2012). İlgili baz yağlardan farklı oranlarda kullanılarak (%100 SN100; %90 SN100+%10 SN150; %95 SN100; %3 SN150; %2 SN500) katıksız 10NY üretilmektedir (Akkapılı 2012). Ancak, özellikle 2008 yılı ve sonrasında, ülkemizde akaryakıt piyasasında yaygın olarak kullanılan "10 numara yağ" çoğunlukla tenekeler içerisinde veya dökme olarak satılan ve esasen baz yağ, solvent, atık yağ, trafo yağı ve kaçak motorin gibi maddelerin karışımı ile elde edilen yağ ürünüdür (MAPESAD 2008, PETDER 2008). PETDER tarafından 2012 yılında yapılan bir çalışmada 10NY kullanan araçların deposundan ve piyasada işlem gören 10NY'lardan alınan numuneler bazı özellikleri açısından incelenmiştir (TPIA 2012). Toplamda on adet numunede analiz edilen parametrelerdeki göreceli farklılıklar, 10NY adı altında satılan ürünün içerisinde madeni yağ, solvent veya atık yağ gibi maddelerin olma ihtimalini güçlendirmiştir (TPIA 2012). Bu nedenle, 10NY teriminin, ülkemize özgü ve uluslararası ölçekte karşılığının olmadığı düşünülmektedir. Yapılan yasal düzenleme ve uygulamalara rağmen 10NY ticaretinin günümüzde devam ettiği bilinmektedir. Medyada yer alan haberlerden de takip edildiği üzere kaçak akaryakıt olarak değerlendirilen alternatif yakma ürünlerinin bileşiminde kullanılan baz yağ ve solventi yurt dışından ithal eden şirketlere lisans zorunluluğu getirilmesinin ardından özellikle bitkisel kaynaklı yağların kaçak olarak akaryakıt sektörüne girdiği ilgili sektördeki çeşitli platformlardan duyurulmuştur (Resmi Gazete 27369 2009). Sıklıkla gündeme gelen 10NY haberlerinde, farklı illerde yapılan denetimlerde ele geçirilen karışimli akaryakıtlar da bu durumu kanıtlar niteliktedir. Ayrıca, 10NY sorununa yönelik hazırlanan PETDER raporunda (2012-b) minibüs,

otobüs ve kamyon gibi ticari araçların büyük bir bölümünün sayısal verilerle ifade edilenden daha fazla miktarda 10NY kullandığını ortaya çıkarmıştır (PETDER 2012-b). Bireysel nakliyecilerin neredeyse %90'ının araçlarında kullandığı 10NY'lar (PETDER 2012-b) aynı zamanda şehir içi toplu ulaşım araçlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır (Uzun ve Gedik 2012). Söz konusu karışım akaryakıtlar yanıcı ve inceltici madde katkısı içerdiğinden kaza riskini arttırmakta ve olası küçük bir kazada dahi araçta aniden yangın çıkmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu nedenle, 10NY'ların sıklıkla kullanıldığı bilinen kamyon, otobüs gibi taşıtların motorlarında meydana gelen aşınmalar, ısınma ve alevlenme problemlerinin araçların hareket halindeyken yanmasına sebep olarak insan hayatını tehlikeye attığı, can ve mal kayıplarına neden olduğu ulusal medyada sıklıkla yer gündeme gelmektedir. Örneğin, 2014 yılı temmuz ayında İstanbul'da kaza yaparak alevlenen halk otobüsünün yanmasını takiben devam eden araştırmalar sonucu araçta kullanılan akaryakıtın solvent karışımlı 10NY olduğu belirlenmiştir. Ulusal literatürümüzde 10NY kullanımı veya içerisindeki katkılardan kaynaklanabilecek sorunlara yönelik sınırlı sayıda yayın bulunmaktadır. Uyaroğlu vd. (2010) tarafından dizel motorlarda standart dışı yakıt kullanımından kaynaklanabilecek piston arızalarının araştırıldığı çalışmada, piyasada yakıt olarak satılan 10NY'ların içerik ve fiziksel özelliklerine (viskozite, karbon kalıntısı vb.) bağlı gelişebilecek sorunlara değinilmiştir. Söz konusu araştırma kapsamında arızasının 10NY kullanımından kaynaklandığı bilinen iki farklı dizel motora ait pistonlar kullanılmıştır. Yapılan incelemeler sonucu arızalı pistonların baş kısmının yandığı ve yüksek sıcaklık sebebiyle erime ve kopmaların olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, 10NY'ların sahip olduğu yüksek tutuşma sıcaklığına (116-194°C) bağlı olarak tutuşma süresinin gecikmesi ve artan dizel vuruntusunun neden olabileceği piston aşınması şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca, yüksek sıcaklık sebebiyle eriyen piston parçacıklarının soğuyarak pistonun üzerine yoğunlaşarak kaynadığı ve sıkışmaya sebep olduğu için pistonun aşağıya inmesine engel olduğu görülmüştür. Bu durumda yüksek viskoziteye sahip 10NY'ların enjektörden püskürtülmesi esnasında oluşan iri taneciklerin sahip oldukları yüksek kinetik enerji sebebiyle buharlaşıp hava ile karışmadan piston ve silindir duvarlarına tutunarak oksitlenme, segmanda sıkışma, piston üzerinde sürekli alev oluşturma, pistonun aşırı ısınması ve sıkışması gibi arızalara sebep olabileceği belirtilmiştir. İlaveten, 10NY'ların içerik ve fiziksel özellikleri (viskozite, karbon kalıntısı vb.) sebebiyle geciken tutuşma süresi ve yanma odasında devam eden enjeksiyona bağlı olarak yakıtın birikmesi nedeniyle ani yanma safhasında meydana gelen basınç artış oranının normalin üzerine çıkarak dizel vuruntusunun artmasına ve enjektörden damlayan yakıtın piston çukurunda birikip yanması sonucu pistonun ve yanma odasının hasar görmesine sebep olacağı ve bu durumun malzeme dayanımını olumsuz yönde etkileyeceği belirtilmiştir. Bu nedenle, alternatif yakıt olarak kullanılan standart dışı bu ürünler kısa vadede ekonomik fayda sağlamış gibi gözükse de uzun vadede motor performansını düşürerek egzozdan çıkan duman, is, koku ve kirletici emisyonlarını arttırmaktadır (PETDER 2012-b, Uyaroğlu vd. 2010).

2.2. Atık Yağlar ve Yağlı Atıkların Yönetimi

Endüstri, beslenme, kozmetik, ilaç gibi birçok alanda kullanılan yağ sektörü ürünlerinin fiziksel ve kimyasal yapıları hem hammaddesi hem kullanıldığı makine, ekipman hem de ortam koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Yağların kullanımları esnasında kir, metal tozları, su ve çeşitli kimyasalların bulaşması nedeniyle meydana

gelen fiziksel veya kimyasal safsızlıklar sonucu ortaya çıkan yağ “atık (kullanılmış) yağ” olarak isimlendirilmektedir (Resmi Gazete 25791 2005, Resmi Gazete 26952 2008). Bununla birlikte, rafine sanayinden çıkan serbest yağ asitlerinin kostik ile nötralizasyonu ve yıkama sonrasında ayrıştırılan yan ürünler, tank dibi tortuları, yağlı topraklar, kullanılmış kızartmalık yağlar, çeşitli tesislerin yağ tutucularından çıkan yağlar ve kullanım süresi geçmiş olan bitkisel yağlar “bitkisel atık yağ” (BAY) olarak tanımlanmıştır (Resmi Gazete 25791 2005). Buna ek olarak, atık yağ ile kontamine olan ya da yağ sektörü ürünlerinden herhangi birisinin bulaşmasının ardından atığa dönüşmüş ürün ya da materyal “yağlı atık” olarak isimlendirilmektedir. Yağlı atıkların yönetimi, atık yağlarla birlikte yürütülmektedir. Bu bağlamda, uygulanan mevzuatlar her ikisini kapsamaktadır. Gerek ek yakıt olarak gerekse de baz yağ veya dizel/biyodizel olarak geri kazanılıp kullanılabilmesi sebebiyle atık yağlar ekonomik açıdan öneme sahiptir. Ancak, ekonomik olarak geri kazanımı mümkün olan atık yağların baz yağ/biyodizel veya ek yakıt olarak kullanımında sağlaması gereken birtakım standartlar mevcuttur. Bu standartlar, atık yağların üretiminden bertarafına kadar olan süreçte yapılan faaliyetlerin çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde yürütülmesi için prensip, politika ve programların belirlenmesi amacıyla (usul ve esasların belirlenmesi, teknik ve idari standartların oluşturulması, ortaya çıkabilecek risklerin uygulanabilir yöntemlerle önlenmesi ve sınırlandırılması) oluşturulan yönetim planları Şekil 2.3’te özetlenmiştir. Bu bağlamda, ülkemizde farklı hammadde kaynağına sahip ya da uygulama alanları farklılık gösteren atık yağların yönetimine ilişkin mevzuatlar Çizelge 2.4’te verilmiştir.

	Toplama/Taşıma	Depolama	Geri Kazanım	Bertaraf
Baz/ Madeni Yağ Atıkları	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lisanslı işletme ve bertaraf tesisleri ➤ Üreticileri veya bunların yetkilendirilmiş kuruluşları 	<p>PETDER</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Bakanlıkça Lisanslandırılmış Tesisler ➤ Kurum/ kuruluştaki “Atık Madeni Yağ Depolama Tankları” 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Baz yağ (TS 13369) ✓ Orijinal yağ ✓ Petrol ürünlerinin eldesi ✓ Tekstil/Kalıp/ Harman yağları gibi ürünler <p>Alternatif/Ek YAKIT</p>	<p>Tehlikeli atık olarak bertaraf etme (Yakma)</p>
Yenebilir Yağ Atıkları	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Toplama: Lisanslı geri kazanım tesisleri ➤ Toplama: Depolama izni olan ➤ Taşıma: ilgili valilikten taşıma lisansı almış gerçek/tüzel kişi 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Geçici depolama alanları ➤ Geri kazanım alanları 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Biyodizel ➤ Biyogaz ➤ Sabun ➤ Yemlik yağ <p>Alternatif/Ek YAKIT</p>	<p>➤ Tehlikeli atık olarak bertaraf etme (Yakma)</p>

Şekil 2.3. Atık yağların yönetimi

Atık yağlara PCB veya diğer maddeleri içeren ürün/atıkların ilave edilmemesi, farklı atık yağ sınıflarının birbirleri ile karıştırılmaması ve geçici depolamalarının atık yağ kategorilerine ve müsaade edilen kirletici parametrelerin sınır değerlerine göre ayrı tank veya konteynerlerde yapılması esastır (ÇOB 2008).

Çizelge 2.4. Atık yağlara ilişkin ulusal mevzuatlar

Atık yağ türü	Mevzuat	Kaynak
Madeni atık yağ	Atık Yağların Kontrolü Yön.	(Resmi Gazete 26952 2008)
	Gemilerden Atık Alınması ve Atıkların Kontrolü Yön.	(Resmi Gazete 25682 2004)
Bitkisel atık yağ	Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yön.	(Resmi Gazete 25791 2005)
Madeni ve Yenebilir atık yağlar	Atıkların Yakılmasına İlişkin Yön.	(Resmi Gazete 27721 2010)
	Atıktan Türetilmiş Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği	(Resmi Gazete 29036 2014),
	Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yön.	(Resmi Gazete 25755 2005)

Madeni atık yağlar, 2005 yılında yayınlanmış olan ve günümüzde güncelleme aşamasında olan AYKY’nde, Çizelge 2.5’te verildiği gibi yapısındaki As, Cd, Pb ve Cr metalleri, toplam halojen ve PCB miktarına bağlı olarak sınıflandırılmakta ve bertaraf edilmektedir. Yürürlükte olan AYKY’ne göre, kirletici parametre sınır değerleri dikkate alındığında, I. ve II. kategori atık yağların geri kazanım amacıyla rejenerasyonu ve rafinasyonu şarttır. Bu şartları sağlamayan atık yağlar, lisanslı tesislerde enerji eldesi amacıyla kullanılabilir. III. kategori atık yağlar, yüksek oranda halojen ve PCB içermesi nedeniyle insan ve çevre sağlığı açısından risk oluşturmayacak şekilde tehlikeli atık bertaraf tesislerinde yakılarak yok edilmelidir. Ayrıca, III. kategoride olan atık yağın, I. veya II. kategori yağlar ile karıştırılması sonucu oluşan karışım tehlikeli atık olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla, atık yağ niteliği kazanan maddelerin bertarafı öncesi karakterizasyonu büyük önem arz etmektedir. 2009 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ), Petrol Araştırma Laboratuvarında (PAL) halojen, PCB ve parlama noktası özelliklerine göre analiz edilen madeni atık yağ numunelerinin %6’sı III. kategori, %14’ü II. kategori ve geriye kalan %80’i I. kategori olarak bulunmuştur (Okandan 2009).

Çizelge 2.5. Atık makine/motor yağlarında bulunabilen kirleticilerin müsaade edilen sınır değerleri (ppm)

Kirletici	I. Kategori		II. Kategori		III. Kategori
	2008	2014	2008	2014	2008
As	< 5	-	≤ 5	-	> 5
Cd	< 2	-	≤ 2	-	> 2
Cr	< 10	-	≤ 10	-	> 10
Cl	≤ 200	≤ 1000	≤ 2000	-	> 2000
Pb	< 100	-	≤ 100	-	> 100
ΣHalojen	≤ 200	-	≤ 2000	-	> 2000
PCB	≤ 10	≤ 20	≤ 50	>20	> 50
Parlama Noktası	≥38°C	>55°C	≥ 38°C	x	-

Kirletici parametreleri bakımından hammadde ve enerji geri kazanımına uygun madeni atık yağlara yönelik uygulanabilir faaliyetler Çizelge 2.6’da özetlenmiştir (Resmi Gazete 26952 2008). Bir diğer atık yağ kaynağı olan yenebilir yağ miktarları, son yıllarda özellikle kızartılmış ürünlere bağlı olarak beslenme alışkanlıklarında

gözlenen değişiklik sebebiyle artış göstermiştir (TÜKÇEV 2013). Ekotoksik özelliklerinden dolayı çevreyle uyumlu olarak yönetilmesi gereken atıklardan olan BAY'lara ait yönetimin uygun şekilde sağlanması amacıyla 2005 yılında "Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği (BAYKY)" yayınlanmış ve 2015 yılında ilgili yönetmelik güncellenmiştir (Resmi Gazete 25791 2005). BAY'ların, biyodizel gibi değerli bir ürüne dönüştürülerek araçlarda alternatif yakıt olarak kullanılması, hem atığın bertarafı hem de fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltması sebebiyle küresel ölçekte fayda sağlamaktadır. Enerji kazanımının yüksek olması nedeniyle yanma işleminde yakıt olarak çoğunlukla fosil yakıtlar gibi ısıl kapasitesi yüksek maddeler tercih edilmektedir. Artan enerji ihtiyacına bağlı olarak fosil yakıtların bu talebi karşılayamaması ve kaynakların hızla tükenmesi alternatif yakıt arayışına yöneltmektedir. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarını ve atıklardan enerji eldesini cazip kılmaktadır (Kaplan vd. 2011). Atıklardan enerji eldesi noktasında sahip oldukları yüksek kalorifik değer sebebiyle en fazla tercih edileni atık yağlardır. Isıl kapasitesi yüksek olan atık yağlardan, hammadde olarak geri kazanımı sağlama maliyetleri sebebiyle atık yağlardan enerji geri kazanımı daha cazip hale gelmektedir. Öte yandan, AYKY'de belirtilen yasal sınırların üzerinde kirletici parametre içeren atık yağların hammadde veya enerji geri kazanım amaçlı kullanılması yerine yakılarak bertaraf edilmesi gerektiği belirtilmiştir (Resmi Gazete 26952 2008). Ancak, atık yağların gerek geri kazanım gerek bertaraf amacıyla yakılması esnasında uygun koşulların sağlanması gerekmektedir. Aksi halde insan ve çevre sağlığını tehdit eden tehlikeli madde emisyonlarının oluşması muhtemeldir (Mahaney 1994). Bu nedenle, atık yağlara yönelik yakma faaliyetlerinde "Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik" ile "Atıktan Türetilmiş Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği"nde düzenlenen yakmaya uygun koşulların sağlanması şarttır (Resmi Gazete 27721 2010, Resmi Gazete 29036 2014). Yakma işlemlerinde uygun koşulların sağlanmadığı durumlarda yanma olayı tam olarak gerçekleşmemektedir. Yanma olayı, yakıt olarak adlandırılan maddelerin oksijen ile birleşmesi sonucu meydana gelen ekzotermik bir tepkimedir (Graboski ve McCormick 1998). Oksijen ve yakıtın yeterli oranlarda karışması, sıcaklık, basınç ve gaz fazı bekleme süresi gibi parametreler için uygun koşulların sağlanmasıyla yanma bütünlüğü sağlanmaktadır. Bu nedenle, ideal yanma koşullarındaki iki temel fonksiyon yakıt/hava oranı ayarıdır (MMO 2005). Atık yağlar, halojen ve kükürt içeriğine bağlı olarak, 900°C ve üzerinde sıcaklığa sahip fırında yeterli oranda oksijen ve türbülans sağlanması ve alıkoyma süresinin iki saniyeden fazla olması durumunda yüksek parçalanma verimiyle bertaraf edilebilmektedir. Aksi halde, uygulanan teknik ve teknoloji nedeniyle tam yanmanın sağlanamayacağı yakma işlemi sonucunda atık yağlar, kendisinden çok daha zararlı biçimlere dönüşerek insan ve çevre sağlığı açısından ciddi zararlara neden olan kirleticilerin oluşmasına sebep olmaktadır.

Kullanım ömrünü tamamlayarak atık niteliği kazanan (kullanım yeri, kayıplar ve koşullara bağlı olarak) motor yağlarının %65'i, endüstriyel yağların ise ortalama %70'i atık olmaktadır (Concawe 1996, Özbey ve Metin 2013). Yapılan araştırmalar, faydalı kullanım ömrünü tamamlayan madeni yağ miktarının kullanım yeri ve koşullara bağlı olarak değişmekle birlikte en az %50'sinin atığa dönüştüğünü göstermektedir (Özbey ve Metin 2010). Ülkemizde yılda yaklaşık 500 bin ton madeni yağ tüketilmesinden hareketle oluşan madeni atık yağ miktarının 250 bin ton olduğu tahmin edilmektedir. 2009 yılında toplanan 30.708 ton madeni atık yağın 14.373 tonu rafinasyon/rejenerasyon tesislerinde, 13.677 tonu çimento, kireç, demir-çelik gibi

tesislerde ürün veya enerji olarak geri kazanılmış, 2.668 tonu ise ürün veya enerji geri kazanımı için uygun olmadığından bertaraf edilmiştir (PETDER 2009). Ülkemizde kayıt altına alınan toplam madeni atık yağ miktarı (30.708 ton) oluşması beklenen miktarın (250 bin ton) yalnızca %12'si kadardır. Kayıt dışı kalan miktarın önemli bir kısmı yasadışı yollardan ısınma veya enerji geri kazanımı amacıyla yakılmakta (Çanakçı 2008) veya merdiven altı olarak tabir edilen işletmelerde basit işlemlerden geçirilerek 10NY adı altında doğrudan akaryakıtta karıştırılmaktadır. Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde kayıt içi madeni atık yağ toplama oranı %74 olmakla birlikte ülkemizde %45'i enerji, %47'si hammadde geri kazanımı ve %8'inin tehlikeli atık olarak bertaraf edildiği madeni atık yağ uzaklaştırma oranları AB ülkelerine ait verilerle benzerlik göstermektedir (PETDER 2009). Öte yandan, ülkemizde her yıl tüketilen yaklaşık 1,5 milyon ton bitkisel yağın evsel ve endüstriyel kullanımlarının ardından yaklaşık 350 bin tonunun BAY'a dönüştüğü tahmin edilmektedir. Ancak, BAY toplama konusunda faaliyet gösteren az sayıdaki firmanın (27 adet) topladığı atık yağ miktarı yaklaşık 3 bin ton ile sınırlı kalmaktadır (ÇŞB 2014, Top-Taşkaya 2010). Ülkelerin BAY potansiyelleri incelendiğinde dünyada BAY kontrolünün ne derece önemli olduğu görülmektedir. Toplanan atık kızartma yağlarının miktarı ABD'de 1,2 milyon ton/yıl, Kanada'da 120 bin ton/yıl, AB ülkelerinde 700 bin-1 milyon ton/yıl şeklindedir. Dünyadaki BAY toplama uygulamaları incelendiğinde Avusturya'da bulunan restoran ve endüstriyel kuruluşlardaki toplama işlemleri yaklaşık 660 adet toplayıcı tarafından yapılırken Almanya'da BAY'ların toplanmasına yönelik yapılan uygulamalar dahilinde yağ toplayıcı, arıtma ve işleme tesisi sayısının 60 civarında olduğu görülmektedir. Fransa'da ise BAY toplama işlemi 15 civarındaki toplayıcı firma tarafından yalnızca yüksek potansiyele sahip restoran ve endüstriyel şirketlerce yapılmaktadır (Çanakçı 2008). BAY'lar hayvansal yem sanayi, sabun üretimi, kozmetik sanayi, biyodizel yakıt, elektrik enerjisi eldesi, endüstriyel yağ yapımı ve insan sağlığı açısından son derece tehlikeli olmasına rağmen gıda sektöründe kaçak olarak kullanılabilir. 2001 yılında AB ülkelerinde atık yağların sabun ve kozmetik sanayinde kullanılmasının yasaklanmasının ardından 2005 yılında ülkemizde BAY'ların yalnızca biyodizel, elektrik enerjisi eldesi ve endüstriyel yağ yapımında kullanılması öngörülmüş, ardından, kullanılmış kızartmalık yağların canlılar üzerindeki kanserojen etkileri nedeniyle yem ve sabun üretiminde kullanılması yasaklanmıştır (ÇOB 2010, Resmi Gazete 25791 2005, Top-Taşkaya 2010). Ancak, yetkisiz kişiler tarafından toplanan BAY'lar, yasaklandığı halde hayvansal yem, sabun, kozmetik sanayi ve gıda sektöründe kullanılıp piyasaya sürülerek insan sağlığını tehdit etmeye devam etmektedir (Top-Taşkaya 2010). BAY'ların, bu gibi insan sağlığını tehdit edecek şekilde kullanılmasına rağmen ulusal literatürümüzde BAY'ların içeriğinde bulunan zararlı kimyasallara yönelik herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Yetkilendirilmiş kuruluşlarca toplanamayan atık yağların amacı dışında kullanıldığı veya son kullanıcı tarafından kasıtlı/kasıtsız olarak doğrudan veya dolaylı şekilde doğaya ulaştığı tahmin edilmektedir. Toplanması ve geri kazanımına ilişkin yapılan çeşitli uygulamaların yetersiz kalması sebebiyle, kontrolsüz veya denetimsiz olarak çevresel ortamlara bırakılan atık yağlar hava, su, toprak ve canlılar üzerinde telafisi mümkün olmayan veya yüksek maliyetler getiren olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Atık yağların uygun şekilde yönetilememesi ve çevresel ortamlara ulaşmasının bu denli kolay olması insanlar tarafından başlatılan ekolojik döngünün yine insanlara ulaşarak tamamlanması nedeniyle toplum sağlığını etkilemesi kaçınılmazdır.

Çizelge 2.6. Uygulanan mevcut atık yağ geri kazanım ve bertaraf seçenekleri

Hammadde olarak geri kazanım	
Temizleme	Kompozisyonu ve kaynağı bilinen atık yağların ısıtma, filtrasyon, vakum altında susuzlaştırma ve katkı ilavesinin ardından orijinal formuna geri getirilen yağ yeniden kullanıma uygun hale getirilmektedir.
İyileştirme	Özellikle hidrolik yağların geri kazanımında uygulanan iyileştirme santrifüjleme veya filtrasyon işlemlerinden geçirilerek kalıp yağları veya zincir yağı üretiminde baz yağ olarak kullanılabilir.
Enerji olarak geri kazanımı	
Doğrudan yakma	Farklı metotlar içerisinde kullanılmış (atık) yağların herhangi bir arıtma işlemine tabi tutulmadan yakılması da bertaraf tercihidir. Ancak, doğrudan yakma işlemleri yerel, ekonomik ve yasal koşullar kapsamında ülkelere göre değişiklik göstermektedir.
Biyodizel eldesi	Doğrudan bitki tohumlarından biyodizel yakıtın elde edilmesine göre daha ekonomik olarak yenibilir atık yağlardan biyodizel eldesi tercih edilmektedir.
Çimento üretiminde yakılması	Isı enerjisi elde etmek amacıyla kullanılan yağlar tek başlarına veya boya, solvent ve temizleme ajanları gibi diğer organik bileşenlerle birlikte fırınlarda yakılabilmektedir.
Isıtıcılarda yakılması	Ülkemizde küçük sanayi sitelerinde, oto tamir/bakım atölyelerinde ve seralarda yer alan ısıtıcılarda yakılmaktadır.
Atık yakma fırınları	Rafinasyon, temizleme ve enerji geri kazanımı için oldukça kirli olan atık yağlar kimyasal atık yakma fırınlarında yakılmaktadır.
Fuel oil ile karıştırılarak yakılması	İşlenmiş yağlar fuel oil ile karıştırılabilir. Karıştırılabilecek maksimum atık yağ miktarı, sağlanması gereken kül içeriği ve viskozite aralığıyla sınırlandırılmıştır. Elde edilen ürün gemilerde, kaldırım taşı üretiminde ve güç istasyonlarında kullanılabilir.
Hafif temizle sonrası yakma	Atık yağların içerisinde bulunan su ve sedimentler çöktürme havuzunda ayrıldıktan sonra “temiz yağ” çöktürme havuzundan alınarak bir seri filtre içerisinden geçirilerek yeniden kullanılabilir.
Kaldırım taşı üretiminde yakma	Atık yağlar düşük işletme maliyetleri nedeniyle kaldırım taşı endüstrisinde kireç taşı ve kayaları kurutmak için kullanılan hafif gazlara ikame olarak brülörlerde yakıt olarak kullanılabilir.
Enerji istasyonları	Atık yağlar pulverize kömürle çalışan enerji istasyonlarında genellikle fırınların ateşlenmesinde kullanılmakta olup ihtiyaç halinde ek yakıt olarak da kullanılabilir.
Ciddi temizleme sonrası yakma	Atık yağların içerisindeki suyun giderimi için flaş kolonların, hafif kalıntılar ve gaz yağını gidermek için vakum altında işletilen distilasyon kolonlarında yapılan temizleme işlemlerinin ardından yeniden kullanıma hazırlanmaktadır.

* Resmi Gazete Sayısı: 26927, 2008; 1A: Tehlikeli atık; 2M: Muhtemel tehlikeli atık

2.2.1. Hammadde geri kazanımı

Atık yağlar kimyasal ve fiziksel yöntemler uygulanarak geri kazanılabilir. Bu doğrultuda kullanılan geri kazanım prosesleri ile farklı özelliklere sahip baz yağların elde edilmesi mümkündür. Farklı kullanım alanlarına göre üretilen yağlar, değişik baz yağlardan üretilip farklı katkı kimyasalları içerdiğinden atık yağların geri kazanımlarında genellikle karmaşık prosesler kullanılmaktadır. Geri kazanım prosesleri genel olarak; yabancı katı maddelerin uzaklaştırılması amacıyla çöktürme, su uzaklaştırma işlemi için <250°C’de atmosferik damıtma, sülfürik asit ile işleme, nötralizasyon, filtrasyon, vakum damıtma, çözücü ekstraksiyonu, adsorpsiyon, hidrojenasyon ile rafinasyon olarak sıralanabilmektedir. Atık yağların geri kazanımında farklı prosesler kullanılmasına rağmen çeşitli işlemlerin birkaçının

kullanıldığı entegre tesisler mevcuttur. Rejenerasyon ve rafinasyon gibi proseslere tabi tutulan atık yağlardan kullanım amacına uygun orijinal yağ, baz yağ veya petrol ürünleri üretilmesi mümkündür (Resmi Gazete 26952 2008).

2.2.2. Akaryakıt olarak kullanımı

Geliştirilen yakma teknolojileri, çeşitli yakıtların kullanımına olanak sağlamaktadır. Bu kapsamda yağ ürünlerinin yakılmasını sağlayan dizel motorların taşıtlarda da kullanılması akaryakıt olarak yağ sektörü ürünlerinin (dizel, biyodizel) kullanılabilmesine olanak sağlamıştır. Dizel motorlarda kullanılan yakıtlar, ham petrolün damıtılmasıyla (motorin) veya çevre dostu olarak bilinen bitkisel kökenli (biyodizel) olarak elde edilebilmektedir. Artan enerji ihtiyacına rağmen petrol rezervlerinin sınırlı olması sebebiyle atık yağlardan hammadde geri kazanımını mümkün kılan prosesler geliştirilmiştir. Hatta basit bir filtreleme işleminden geçirilen atık motor yağlarının, belirli standartlar çerçevesinde, iş makinelerinde kullanılabileceği belirtilmektedir (Caterpillar 1996). Bu durum, Avustralya’da ağır vasıtalarda yer alan bilgisayarlı motor durumu izleme sistemi, eskiyen karter yağını belirli oranlarda (%7) dizele ekledikten sonra yenisiyle değiştirilmesiyle örneklendirilebilir (Beer 2000). Biyodizel yakıtların doğrudan saf bitki formundan elde edilmesindeki yüksek üretim maliyetleri ticarileşmesini sınırlayan ve etkileyen önemli bir engeldir. Bu nedenle, biyodizel üretiminde atık kızartma yağları ile işlenmiş hayvansal yağ atıklarının kullanılması daha ekonomiktir (Gui vd. 2008, Kulkarni ve Dalai 2006). Atık yağların alternatif yakma ürünü olarak kullanılması hem kaynakların iktisadi kullanımına hem de atık yönetimine fayda sağlamaktadır. Atık yağların bu gibi faydalı kullanımlarının yanı sıra çevre ve insan sağlığını tehdit eden illegal kullanımları da mevcuttur. Atık yağlar kalorifik değeri (9500-10000 kcal/kg) ve hammadde geri kazanım potansiyelindeki sektör hacmi ve ticari rant dikkate alındığında korsan faaliyetlere neden olduğu bilinmektedir (Uzun ve Gedik 2012). Dizel araçlarda (kamyon ve otobüs gibi) kullanmak üzere ekonomik bir yakıt arayan ilgili tüketiciler (şoförler) bilinçli bir şekilde standart dışı bir ürün olan 10NY karışımlarını motorine ikame olarak kullanılmaktadır. Eryılmaz vd. (2010) tarafından standart dışı dizel yakıtların performanslarına dair yapılan çalışmada dizel yakıt, BAY ve 10NY örnekleri kullanılmıştır. Kullanılan yakıtla göre incelenen motor performans sonuçları değerlendirildiğinde BAY ile 10NY’ların verimliliğinin benzeştiği, biyodizel yakıt eldesinde hammadde olarak kullanılabileceği, dolayısıyla, “uygun koşulların sağlanmasıyla” beraber dizel yakıtlara alternatif olabileceği belirtilmiştir (Eryılmaz vd. 2010).

2.2.3. Soba ve kazanlarda ısıtma amaçlı kullanımı

Atık yağların yakılması için gerekli sıcaklık, basınç ve malzeme gibi koşullara uygun şekilde tasarlanan ve çeşitli endüstrilerde ısı ve elektrik üretmede kullanılan kazan ve brülörler mevcuttur (MMO 2005). Bunun yanı sıra, özellikle organize sanayi siteleri dışında kalan nispeten küçük ve genellikle araç bakım-onarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği küçük sanayi sitelerinde, benzer işletmelerin faaliyetleri sonucu elde edilen madeni atık yağlar, ortam ısıtma amacıyla “yağ sobaları” kullanılarak yakılmaktadır. Özellikle soğuk iklimin görüldüğü yerlerde oto tamirhaneleri, kaportacılar, marangozhane ve kaynak atölyeleri ile nispeten daha kalabalık işletmeler olan kıraathanelerde madeni atık yağların kış aylarında ısınma amacıyla kullanıldığı

bilinmektedir. İlaveten, yaz döneminde biriktirilen madeni atık yağlar kış döneminde ilgili sanayi esnafları tarafından diğer ticarethanelere satılabilmektedir. Örneğin, oldukça soğuk bir iklime sahip Sivas kentinde özellikle araç bakım-onarım servisleri, kullanım süresi dolan madeni atık yağları biriktirerek basit yağ sobalarında yakmaktadır (Sivas İÇDR 2010). Kış aylarında ülkemizin farklı bölgelerindeki benzer durumlar yazılı ve görsel basın tarafından haberlere konu olmaktadır. Medya haberlerinde sıklıkla yer bulan yanık yağ sobalarının kullanımı hem bertaraf hem ısı kazanımı sağlayan bir araç olarak vurgulanırken söz konusu durumun çevre ve insan sağlığı açısından tehdit oluşturduğu göz ardı edilmektedir. Genellikle sac malzeme ve atıklarından (kullanılmayan egzoz parçaları gibi) emaye kaplanarak üretilen ve uygun yanma koşullarının sağlanamadığı bu sobalarda atık yağların yakılmasından kaynaklanabilen karbon monoksit (CO), metan (CH₄), dioksin/furan (PCDD/F) ve partikül madde (PM) emisyonları çevre ve insan sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır (OEHHA 2007).

2.2.4. İlave yakıt olarak kullanımı

Atık yağlar, diğer alternatif yakıtlara oranla daha yüksek kalorifik değere sahip olduğundan atıklardan enerji eldesi amacıyla sık tercih edilmektedir. Kullanım amacından uzaklaşan atık yağlar, beraber yakma tesislerinde (ısıl gücünün %40'ına kadarını atıktan sağlayan çimento fabrikaları, termik santraller, kireç üretim fırınları, demir çelik endüstrisi vb.) veya yakma tesislerinde (ısıl gücünün %40'ından fazlasını atıktan sağlayan) ilave yakıt olarak kullanılabilir (Resmi Gazete 27721 2010). Bu doğrultuda, atık yağların hem yakılarak enerji geri kazanımı hem de kontrollü bir şekilde bertarafının sağlanması için başta çimento fabrikaları, kireç üretim fırınları, termik santraller, demir-çelik endüstrileri olmak üzere bazı tesislerde ek yakıt olarak kullanılmasına müsaade edilmiştir (Bknz. Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği). Dünya genelinde bu amaçla pek çok tesis faaliyet göstermektedir. Özellikle, çimento üretim tesislerinde alternatif yakıt veya ilave yakıt olarak atık yağlar kullanılabilir (Thomanetz 2012). Avrupa çimento sektöründe alternatif yakıtların kullanım oranı yaklaşık %20 iken ülkemizin çeşitli bölgelerinde faaliyet gösteren 66 adet çimento fabrikasındaki alternatif yakıt kullanım oranı %1'den az düzeydedir (TÇMB 2014). Ülkemizde atık yağların diğer sektörlerde ilave yakıt olarak kullanıma ilişkin herhangi bir veri bulunmamaktadır.

2.2.5. Tehlikeli atık olarak bertarafı

Yağ ürünlerinin kimyasal bileşiminde bulunabilen veya çeşitli faaliyetlerdeki kullanımları (yağlama, izolasyon, kızartma vb.) sonucu içerisine karışabilen bir takım maddeler veya yapısında bulunan kimyasalların bozunması sebebiyle atıkları, ulusal yönetmeliklerde ve uluslararası sözleşmelerde Çizelge 2.7'de verilen tehlikeli atık sınıflarında gösterilmektedir. Bu nedenle, atık yağların yakma veya beraber yakma işlemlerine tabi tutulmadan önce tehlikeli atık niteliği belirlenmeli (Resmi Gazete 26927 2008) ve uygun yanma koşulları sağlanmalıdır (Resmi Gazete 27721 2010). AYKY (2008)'de yer alan sınıflandırmaya göre rafinasyona uygun olmayan ve ek yakıt olarak kullanılması çevre ve insan sağlığı açısından risk yaratan III. kategori atık yağların "Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" kapsamında lisanslı atık yakma tesislerinde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Ülkemizde İzmit Atık ve Artıkları Arıtma, Yakma ve Değerlendirme Anonim Şirketi (İZAYDAŞ) ile İstanbul Çevre Koruma ve

Atık Maddeleri Değerlendirme Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi (İSTAÇ) olmak üzere iki adet lisanslı atık yakma tesisi bulunmaktadır. İZAYDAŞ'ta bulunan atık yakma ve enerji üretimi ünitesinde tıbbi atıkların yanı sıra diğer tehlikeli atıkların bertarafı da gerçekleştirilmektedir. 2013 yılı verilerine göre yaklaşık 560 ton madeni atık yağ tehlikeli atık olarak bertaraf edilmiştir (PETDER 2014).

Çizelge 2.7. Yağ sektörü atıklarına ait atık kodları

13	YAĞ VE SIVI YAKIT ATIKLARI (YENİLEBİLİR YAĞLAR, (05) VE (12) HARIÇ)	Açıklama	ATY	Ek Yakıt
13 01	Atık Hidrolik Yağlar			
13 01 01	PCB içeren hidrolik yağlar	A ¹		
13 01 02	Diğer klorlanmış hidrolik yağlar (emülsiyonlar hariç)	M ²		
13 01 03	Klorlanmamış hidrolik yağlar (emülsiyonlar hariç)	M		
13 01 04	Klor içeren emülsiyonlar	A		
13 01 05	Klor içermeyen emülsiyonlar	A		
13 01 06	Sadece madeni yağ içeren hidrolik yağlar	M		
13 01 07	Diğer hidrolik yağlar	M		
13 01 08	Fren sıvıları	M		
13 01 09	Mineral esaslı klor içeren hidrolik yağlar	A		X
13 01 10	Mineral esaslı klor içermeyen hidrolik yağlar	A		X
13 01 11	Sentetik hidrolik yağlar	A		X
13 01 12	Kolayca biyolojik olarak bozunabilir hidrolik yağlar	A		X
13 01 13	Diğer hidrolik yağlar	A		X
13 02	Atık Motor, Şanzıman ve Yağlama Yağları			
13 02 04	Mineral esaslı klor içeren motor, şanzıman ve yağlama yağları	A		X
13 02 05	Mineral esaslı klor içermeyen motor, şanzıman ve yağlama yağları	A		X
13 02 06	Sentetik motor, şanzıman ve yağlama yağları	A		X
13 02 07	Hazır ve çözünebilir makine, şanzıman ve yağlama yağları	A		X
13 02 08	Diğer makine, şanzıman ve yağlama yağları	A		X
13 03	Atık Yalıtım ve Isı İletim Yağları			
13 03 01	PCB'ler içeren yalıtım ya da ısı iletim yağları	A		
13 03 06	13 03 01 dışındaki mineral esaslı klor içeren yalıtım ve ısı iletim yağları	A		X
13 03 07	Mineral esaslı klor içermeyen yalıtım ve ısı iletim yağları	A		X
13 03 08	Sentetik yalıtım ve ısı iletim yağları	A		X
13 03 09	Kolayca biyolojik olarak bozunabilir yalıtım ve ısı iletim yağları	A		X
13 03 10	Diğer yalıtım ve ısı iletim yağları	A		X
13 04	Sintine Yağları			
13 04 01	Nehir ve göl seyrülseferinden (iç su yolu denizciliğinden) kaynaklanan sintine yağları	A	X	X
13 04 02	İskele kanalizasyonlarından (mendirekten kaynaklanan sintine yağları)	A	X	X
13 04 03	Diğer denizcilik seyrülseferinden kaynaklanan sintine yağları	A	X	X
13 05	Yağ -Su Ayırıcısı İçerikleri			
13 05 01	Kum ocağından ve yağ/su ayırıcısından çıkan katılar	A	X	
13 05 02	Yağ/su ayırıcısından çıkan çamurlar	A	X	X
13 05 03	Yakalayıcı (interseptör) çamurları	A	X	X
13 05 06	Yağ/su ayırıcılarından çıkan yağ	A	X	X
13 05 07	Yağ/su ayırıcılarından çıkan yağlı su	A	X	
13 05 08	Kum odacığından ve yağ/su ayırıcılarından çıkan karışık atıklar	A	X	X
13 07	Sıvı Yakıtların Atıkları			
13 07 01	Fuel-oil ve mazot	A		X
13 07 02	Benzin	A		X
13 07 03	Diğer yakıtlar (karışımlar dahil)	A		X
13 08	Başka bir şekilde tanımlanmamış yağ atıkları			
13 08 01	Tuz giderim çamurları ya da emülsiyonları	A		
13 08 02	Diğer emülsiyonlar	A		
13 08 99	Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar			

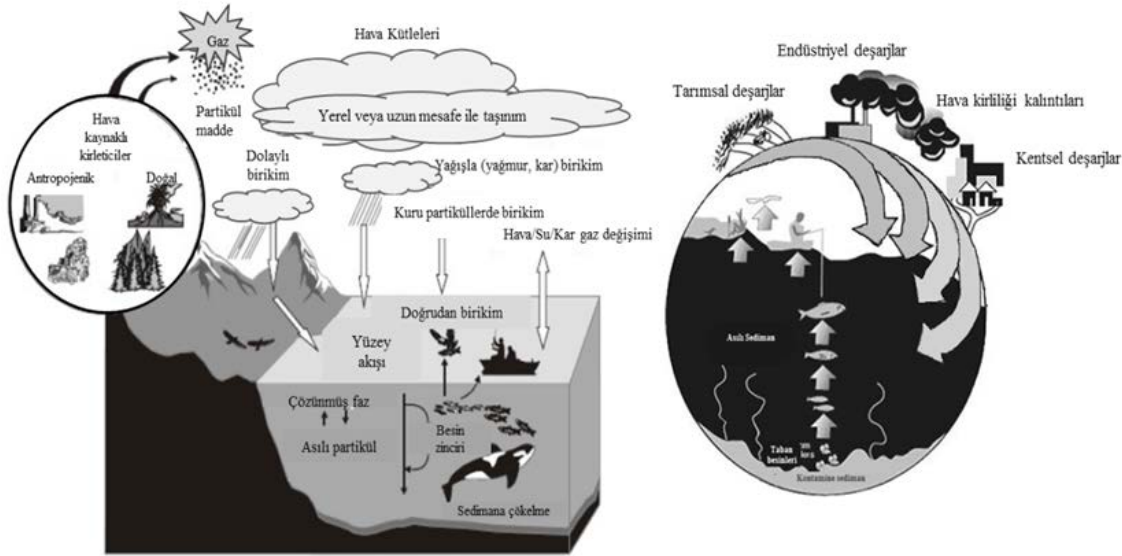
¹A: Tehlikeli atık; ²M: Muhtemel tehlikeli atık

2.3. Yağ Sektörü Kaynaklı Kirleticiler ve Çevredeki Akıbetleri

Atık yağlar sahip oldukları kirleticiler, zamanla bozunan katkı maddeleri, yağın temas ettiği ekipmanlarda meydana gelen aşınmalar, pas vb. etkenler nedeniyle tehlikeli özelliklere sahip olabilmektedir. Bu nedenle, yağ sektörü atıklarının doğrudan çevreye salınması insan ve çevre sağlığı açısından oldukça tehlikelidir. Atık yağların uygun şekilde toplanmasının ardından çevre ve insan sağlığı için tehdit oluşturmayacak şekilde enerji eldesi veya rafine edilmek sureti ile geri kazanılması ya da imha edilmesi gerekmektedir. Ülkemizde yürürlükte olan AYKY gereği “atık motor yağları dahil atık yağlar ile bu yağların işlenmesi sonucu çıkan atıkların insan ve çevreye zarar verecek şekilde sahada boşaltılması veya yenisi ile değiştirilmesi, depolanması, doğrudan veya dolaylı bir biçimde yüzeysel sular ile yer altı suyuna, denizlere, drenaj sistemleri ile toprağa verilmesi, fueloil veya diğer sıvı yakıtlarla karıştırılması ve mevcut düzenlemeler ile belirtilen limitleri aşarak hava kirliliğine neden olacak şekilde işlenmesi veya yakılması yasaktır” ibaresi yer almaktadır (Resmi Gazete 26952 2008). Ancak, atık yağların uzaklaştırma faaliyetleri esnasında yeterli kontrol ve önlemlerin alınmaması sebebiyle doğrudan veya dolaylı olarak çevresel ortamlara salınmaktadır. Özellikle BAY’ların genellikle lavaboya dökülerek uzaklaştırılmaktadır. Kanalizasyona dökülen atık yağlar atıksu kanal borularına yapışarak boru kesitinin daralması ve tıkanması gibi problemlere neden olmaktadır. Ayrıca, atık yağlar evsel atıksuların arıtımında faaliyet gösteren bakterileri yağ ve gresle kaplayarak aktivitelerini engellenmesi nedeniyle genellikle biyolojik arıtımın yapıldığı evsel atıksular ile birlikte arıtılamamaktadır. Atıksu kirliliğinin %25’ini oluşturan BAY’ın kanalizasyona dökülmesi atıksu arıtma tesislerinin işleyişine zarar vermesinin yanı sıra tesisin işletme maliyetlerini de artırmaktadır (TÜKÇEV 2013). Atık yağ ihtiva eden ve sonu arıtma ile bitmeyen atıksuların denizlere, göllere ve akarsulara dökülmesiyle suyun kirlenmesi ve sudaki oksijenin azalması başta balıklar olmak üzere ortamdaki diğer canlılar üzerinde büyük tahribatlara yol açmaktadır. Atık yağlar kasıtlı/kasıtsız olarak su ortamlarına ulaşması sonucunda yüzeyini kaplayarak havadan suya oksijen transferinin önlenmesi ve zamanla bozunmasıyla sudaki oksijenin hızla tükenmesine neden olduğundan su ekosistemlerine zarar vermektedir. Şekil 2.4’te açıklandığı gibi su kaynaklarının atık yağlarla kirlenmesi durumunda, atık yağlar su yüzeyine çıkarak güneş ışığını engelleyerek fotosentezi azaltırken, oksijen dengesini de bozmaktadır. Bu nedenle sucul ortamdaki besin zincirinde yer alan balıkların, kabukluların ve diğer canlı organizmaların ihtiyacı olan oksijenin tüketilmesinin yanı sıra atık yağlardan kaynaklanan toksik kimyasallar besin zinciriyle insanlara kadar ulaşabilmektedir. Benzer şekilde, çöpe dökülen atık yağlar çöp depolama alanında sık sık yangın çıkmasına ve her ülke için önemli bir içme suyu kaynağı olan ve temizlenmesi zahmetli ve maliyetli olan yeraltı sularının kirlenmesine neden olabilmektedir. Bu olumsuzluklardan dolayı gelişmiş ülkelerde ve ülkemizde atık yağların kanalizasyona ve yüzeysel sulara dökülmesi yasak olup bu tür yağların kanala dökülmesinin önlenmesi gelişmiş ülkelerde atıksuların kirlilik yükü Türkiye’deki evsel atıksulara göre daha düşüktür (TÜKÇEV 2013).

Çevresel ortamda uzun süre kalan, hava ve su aracılığıyla uzun mesafelere taşınan organik kirleticiler, çevre için toksik olduğu kadar insan sağlığını da tehdit etmektedir. Söz konusu kirleticilerin en önemli özelliği, fotokimyasal ve biyolojik bozunmaya karşı dirençli olmaları, canlıların yağ dokularında birikerek besin zincirinde

yüksek konsantrasyona ulaşmaları, dolayısıyla, uzun yıllar boyunca toksik etkilerini sürdürmeleridir (ATSDR 1997, EPA 2014-a, Seaton vd. 1995). Bu sebeple, yağ atıklarının bileşiminde bulunan ve uygun olmayan koşullarda yakılmasıyla oluşan organik kirletici emisyonları çevre kirliliğine neden olmanın yanı sıra insanlarda özellikle yağ dokuda birikerek başta kanserojen ve mutajen etkiler olmak üzere bağışıklık ve üreme sistemleri ile hormonal bozukluklar gibi birçok sağlık problemine neden olabilmektedir (Birnbaum 1994, Dalton vd. 2001, Kimbrough vd. 1977).



Şekil 2.4. Kirleticilerin çevresel ortamlarda taşınımı

Ulusal literatürümüzde, ticari olarak üretimi sonrasında piyasada satılan 10NY numunelerin (10 adet) analizi sonucunda bu ürünün çevre ve insan sağlığı için ne derece tehlikeli olduğu ortaya konulmuştur (PETDER 2012-b). Analiz sonuçları, 10NY'lara solvent katılması işleminin düşük parlama noktasına neden olduğu ve bunun da yakıtın alev alması ve yanma ihtimalini arttırdığını göstermiştir. İncelenen numunelerde kükürt, viskozite, buharlaşma sıcaklığı ve yoğunluk değerlerinin motorinden daha yüksek çıkması, içerisine madeni yağ veya atık yağ katıldığı ihtimalini güçlendirmektedir. Yüksek yoğunluk ve viskoziteli yakıtlar, enjektörlerden hacimsel olarak püskürtüldüğü için yanma odasında gereğinden çok daha fazla bulunacak ve düzgün dağılamadığından verimsiz bir yanma oluşturarak egzozdan duman, is ve ağır koku çıkaracaktır. Öte yandan, Köroğlu (2011) tarafından yapılan çalışmada ulusal çapta toplanan taşıt kaynaklı madeni atık yağlarda As, Cd ve PCB parametrelerine rastlanmazken klorür, toplam halojenler, Cr ve Pb konsantrasyonları geri kazanıma uygun atık yağlar için gereken sınırın üzerinde çıkmıştır.

Atık yağların enerji geri kazanımı amacıyla uygun olmayan ortam ve koşullardaki kullanımları sonucu yakıtın içeriğine bağlı olarak, PM, CO, CH₄, uçucu organik bileşikler (UOB), PAH'lar, PCB'ler, PCDD/F, benzen, Pb, Hg gibi emisyonlar meydana gelebilmektedir (Lemieux vd. 2004). Atık yağların gerek yağ yakıcı sistemlerde ve gerekse de motorine eşdeğer hale getirilerek araçlarda kullanılması sonucu havaya salınan zararlı madde emisyonları, atık yağın içeriğine ve kullanım

alanına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Atık yağların yakılmasıyla oluşan emisyonlar klorlu solventlerin yanı sıra çeşitli organik bileşikler içerebilmektedir. Benzen, toluen, PCB ve PCDD/F gibi tehlikeli organik bileşikler atık yağların bileşiminde bulunabileceği gibi eksik yanma ürünü olarak da oluşabilmektedir (EPA 2014). Atık yağ yakıcı sistemlerden kaynaklanan bazı kirletici emisyonları Çizelge 2.8'de verilmiştir. Bu nedenle, günümüzde kullanımına illegal olarak devam edildiği bilinen ve bünyesinde atık yağ barındırabilen alternatif ürünlerin (10NY'ların) dizel motorlarda motorine ikame olarak kullanımı yasaklanmıştır. Örneğin, Pelitli (2009) tarafından yapılan bir çalışmada atık motor yağlarının kategorilerinin belirlenmesi amacıyla İstanbul ve Kocaeli'ndeki çeşitli marka, model, yaş ve kilometrelerdeki otomobiller, ticari araçlar, minibüsler, kamyonlar ve iş makinelerinden alınan toplam 69 numunede parlama noktası ölçümleri, ağır metal (As, Cd, Cr, Pb), toplam halojen ve klorür miktarları ile PCB içeriği araştırılmış ve ilgili kirleticilerden farklı konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Bu gibi kirleticileri içerebilen atık yağların kontrolsüz olarak uzaklaştırılması çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir (ATSDR 1995, Domeno ve Nerin 2003, Kampa ve Castanas 2008).

Çizelge 2.8. Atık yağ yakıcı sistemlerden kaynaklanan bazı kirleticilere yönelik emisyon faktörleri

Kirletici (kg kirletici/m ³ atık yağ)	Kazan	Oda/Mekan Isıtıcısı	
		Buharlı Brülör	Atomizerli Brülör
Partikül Madde (PM)	7,68xA ¹	0,336xA	7,92xA
Partikül Madde (PM ₁₀)	6,12xA	VY ²	6,84xA
NO _x	2,28	1,32	1,92
SO _x	17,64xS ³	12xS	12,84xS
CO	0,6	0,204	0,252
CO ₂ ⁴	2640	2640	2640
HCl	7,92xCl ⁵	VY	VY
Kurşun (Pb)	6,6xL ⁶	0,0492xL	6xL
Antimon (Sb)	TSA ⁷	4,08x10 ⁻⁵	5,40x10 ⁻⁴
Arsenik (As)	1,32x10 ⁻²	3,00x10 ⁻⁴	7,20x10 ⁻³
Berilyum (Be)	TSA	TSA	2,1610 ⁻⁴
Kadmiyum (Cd)	1,12x10 ⁻³	1,80x10 ⁻⁵	1,44x10 ⁻³
Krom (Cr)	2,40x10 ⁻³	2,28x10 ⁻²	2,16x10 ⁻²
Kobalt (Co)	2,52x10 ⁻⁵	6,84x10 ⁻⁴	6,24 x10 ⁻⁴
Mangan (Mn)	8,16 x10 ⁻³	2,64 x10 ⁻⁴	6,00 x10 ⁻³
Nikel (Ni)	1,32 x10 ⁻³	6,00 x10 ⁻³	1,92 x10 ⁻²
Selenyum (Se)	TSA	TSA	TSA
Fosfor (F)	VY	4,32 x10 ⁻³	VY
Toplam Organik Bileşikler (TOC)	0,12	0,12	0,12
Fenol	VY	2,88 x10 ⁻⁴	3,36 x10 ⁻⁶
Diklorobenzen	VY	9,60 x10 ⁻⁸	VY
Naftalin	VY	1,56 x10 ⁻³	1,10 x10 ⁻⁵
Fenantrin/Antrasen	VY	1,32 x10 ⁻³	1,20 x10 ⁻⁵
Dibutilfitalat	VY	VY	4,08 x10 ⁻⁶
Butilbenzilfitalat	VY	6,12 x10 ⁻⁵	VY
Bis(2-etilhekzil)fitalat	VY	2,64 x10 ⁻³	VY
Piren	VY	8,52 x10 ⁻⁴	9,96 x10 ⁻⁷
Benz(a)antrasen/krisen	VY	4,80 x10 ⁻⁴	VY
Benzo(a)piren	VY	4,80 x10 ⁻⁴	VY
Trikloroetilen	VY	VY	VY

¹A: Yakıtın ağırlıkça (%) kül içeriği. Örneğin, %5 kül içeren yakıtın emisyon faktörünü bulabilmek için verilen değer A=5 ile çarpılmalıdır.

² VY: Veri Yok

³ S: Yakıtın ağırlıkça (%) kükürt içeriği. Örneğin, %3,4 kükürt içeren yakıtın emisyon faktörünü bulabilmek için verilen değer S=3,4 ile çarpılmalıdır.

⁴ Karbon içeriğine bağlı olarak 2160-3000 kg CO₂/m³ arasında değişmektedir

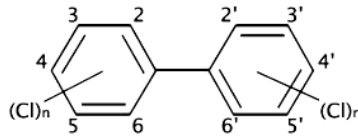
⁵ Cl: Yakıtın ağırlıkça (%) klor içeriği. Örneğin, %3 kurşun içeren yakıtın emisyon faktörünü bulabilmek için verilen değer Cl=3 ile çarpılmalıdır.

⁶ L: Yakıtın ağırlıkça (%) kurşun içeriği. Örneğin, %5 kurşun içeren yakıtın emisyon faktörünü bulabilmek için verilen değer L=5 ile çarpılmalıdır.

⁷ TSA: Tayin Sınırı Altında

2.3.1. Poliklorlu bifeniller

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri sebebiyle çevre ve insan sağlığı için tehdit oluşturan “kalıcı organik kirleticilere (KOK)” yönelik hazırlanan Stockholm Sözleşmesi, 17 Mayıs 2004 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Türkiye, 2005 yılı Kasım ayı itibari ile Stockholm sözleşmesine taraf olma sürecini başlatmış olup 12 Ocak 2010 tarihinden itibaren resmen taraf olmasıyla yükümlülükleri resmi olarak başlamıştır (Dönmez 2006, UNEP 2014). Günümüzde, 152 ülke tarafından imzalanan Stockholm Sözleşmesi gereğince KOK grubu maddelere yönelik ulusal eylem planlarının (UUP) hazırlanması, bu kimyasalların üretiminin veya kullanımının durdurulması, emisyonlarının sıfırlanması, yasaklama sonrası elde kalan stok, atık ve bu kimyasallarla kirlenmiş ekipmanların çevresel açıdan en uygun teknolojiler kullanılarak 2028 yılı sonuna kadar bertaraf edilmesi gerekmektedir. İlk etapta 12 kimyasal maddenin kullanımına yasaklama veya sınırlama getiren Sözleşme, ilerleyen yıllarda listeye 10 yeni kimyasalın ilavesiyle 22 adete ulaşmış ve halen aday aşamasında olan kimyasallarla genişleme sürecindedir. Söz konusu kimyasallar ortadan kaldırılması gereken (A), kullanımı sınırlanan (B) ve istem dışı (kasıtsız) üretilen (C) olmak üzere üç ana grupta ele alınırken sözleşme kapsamında araştırılan yeni kimyasallar (Short-chained chlorinated paraffins, dicofol, PCP, HCB, PCN, decabromodiphenyl ether) da mevcuttur. Çalışma kapsamında araştırılan PCB’ler birinci (A) ve üçüncü grup (C) altında listelenen KOK grubu maddelerdendir (UNEP 2014). PCB’ler kimyasal formülü C₁₂H_(10-n)Cl_n olan ve Şekil 2.5’te görüldüğü gibi molekül yapısında bulunan bifenil halkasına n (1≤n≤10) tane klor atomunun bağlanmasıyla oluşan, kuramsal olarak 209 adet alt bileşiği bulunan sentetik organik bileşiklerdir (UNEP 1999).



Şekil 2.5. PCB’nin kimyasal yapısı

PCB’ler ilk olarak 1880’lerde Alman kimya literatürüne girmiş (Erickson ve Kaley 2011) ancak ticari kullanımına yönelik üretimleri ilk kez 1929 yılında “Swann Chemical Company” tarafından ABD’de yapılmış (Penning 1930) ve yalıtkan yağ, yumuşatıcı, karbonsuz kağıt üretimi gibi çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmıştır (Watanabe vd. 1996). Ardından 1930 yılında günümüzdeki ismi “Pharmacia” olan “Monsanto” şirketi tarafından ABD’de ilk kez ticari olarak üretilmeye başlanmıştır (Erickson ve Kaley 2011). Bu üretim süreci, Rusya’da bulunan Orgsintez şirketinin

1993 yılında PCB üretimini durdurmasına kadar devam etmiştir. PCB'ler sahip oldukları elektrik ve ısı transfer özelliklerinin son derece kararlı olması sebebiyle kapalı, yarı-açık ve açık uygulamalar olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılmıştır. UNEP tarafından 1999 yılında hazırlanan PCB içermesi muhtemel ekipman ve kaynaklar Çizelge 2.9'da verilmiştir. Yetmiş yıla yakın üretim dönemi boyunca ABD(2), Japonya(2), Almanya(1), Fransa(1), İspanya(1), Birleşik Krallık(1), İtalya(1), Çek Cumhuriyeti(1), Çin(1) ve Rusya(2)'da bulunan 13 üretici şirket tarafından toplam 1,7 milyon ton (1929-1989 arasında) PCB üretilmiş ve global üretiminin yaklaşık %48'lik kısmı Monsanto şirketi tarafından yapılmıştır (Breivik vd. 2002). Ticari olarak üretilen PCB'lere ait isimler EK 1'de listelenmiştir. PCB içermesi muhtemel ekipmanlar Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.9. PCB içermesi muhtemel ekipman-kaynak ilişkisi

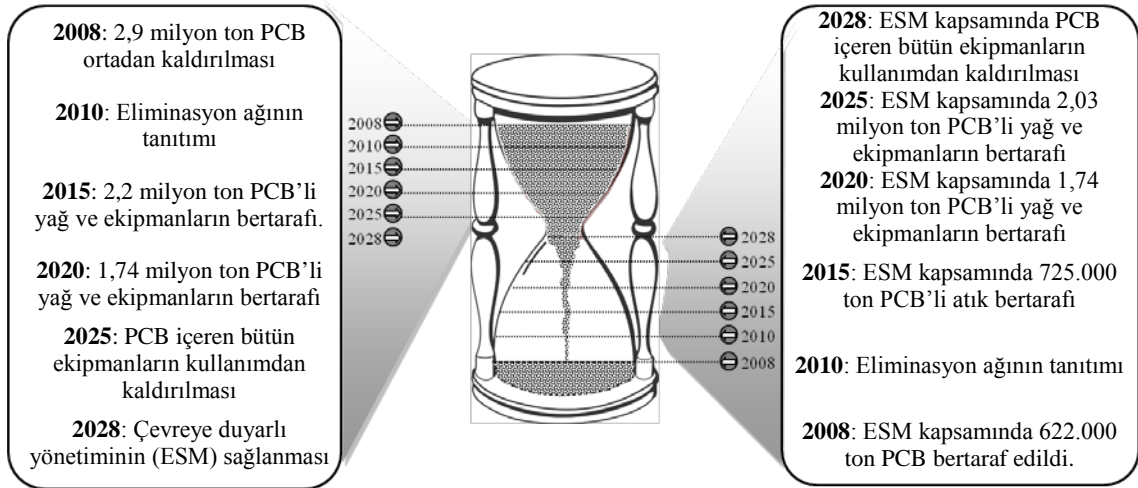
Ekipman	Kaynak/Kullanım Alanı
Transformatörler	Elektrik alt yapı hizmetleri ve dağıtım ağları, Endüstriyel tesisler ⁽¹⁾ , Demiryolu sistemleri, Yeraltı madenciliği, Askeri tesisler
Kondansatörler	Elektrik alt yapı hizmetleri ve dağıtım ağları, Endüstriyel tesisler, Belediyeler ⁽²⁾ , Hayvan yetiştiriciliği ⁽³⁾ , Demiryolu sistemleri, Yeraltı madenciliği, Askeri tesisler, Büyük binalar ⁽⁴⁾ , Araştırma laboratuvarları, Elektronik ürün imalatı
Şarteller	Elektrik altyapı hizmetleri ile dağıtım ağları
Voltaj Düzenleyiciler	Elektrik altyapı hizmetleri ile dağıtım ağları, Endüstriyel tesisler, Demiryolu sistemleri, Yer altı madenciliği, Askeri tesisler
Sıvı Dolgulu Kablolar	Elektrik altyapı hizmetleri ile dağıtım ağları, Endüstriyel tesisler
Devre Kesici Anahtarlar	Elektrik altyapı hizmetleri ile dağıtım ağları, Endüstriyel tesisler, Demiryolu sistemleri, Yer altı madenciliği, Askeri tesisler, Araştırma laboratuvarları, Elektronik ürün imalatı
Aydınlatma Balastları	Elektrik altyapı hizmetleri ile dağıtım ağları, Endüstriyel tesisler, Askeri tesisler, Araştırma laboratuvarları, Elektronik ürün imalatı
Isı İletim Sıvıları	Endüstriyel tesisler
Hidrolik Sıvılar	Endüstriyel tesisler, Yer altı madenciliği, Askeri tesisler
Vakumlu Pompalar	Belediyeler, Araştırma laboratuvarları, Elektronik ürün imalatı
Dalgıç Pompalar	Belediyeler, Hayvan yetiştiriciliği

(1): Endüstriyel tesisler; Alüminyum, demir, bakır ve çelik ergitme, Çimento üretimi, Kimyasal üretimi, Plastikler, Sentetikler, Petrol saflaştırma. (2): Belediyeler; Su arıtma ve dağıtım ağları, Atık su arıtma tesisleri, Sokak aydınlatması. (3): Hayvan yetiştiriciliği; Mandıra/Sağımhaneler, Kırpma ahırları. (4): Büyük binalar; İkamete ayrılmış yerler, Ticaret, eğitim ve sağlık amaçlı tesisler

Yağ sektörü ürün ve atıklarında bulunabilen ve kullanımı uzun yıllar önce yasaklanan PCB'lerin özellikle elektrik endüstrisi ekipmanlarıyla günümüze ulaşan hacimlerinin tehlikeli atık olarak bertaraf edilmek yerine madeni, sentetik veya bitkisel atık yağlarla seyreltilerek (Devoogt 1991) uzaklaştırılması önemli bir sorun

oluşturmaktadır. İmmersiyon, kesme, yağlama yağları vb. gibi atık yağ numunelerinde farklı tip ve konsantrasyonlarda PCB bulunabilmektedir (Lulek 1998, Nerin vd. 1996, Roszko vd. 2012). PCB içeren atık yağların kontrolsüz sirkülasyonu veya yönetmeliklerdeki yükümlülüklerden kaynaklanan sorumluluğu aşabilmek için atık yağlara karıştırılması sonucunda, atık motor yağında 2,88-53,4 µg/g (Lulek 1998) ve endüstriyel yağlarda 5,03-21,3 µg/g (Nerin vd. 1996) arasında değişen seviyelerde PCB'lere rastlanmıştır. Öte yandan, 20 yılı aşkın bir süredir varil içerisinde bekleyen atık yağ numunelerinde yapılan analizlerde 0,003-22 µg/g aralığında değişen PCB'ler ölçülmüştür (Honda vd. 2009). Korozyon nedeniyle sızdıran varillerde, düşük klorlu PCB bileşiklerinin atmosfere karışmasının gözlenmesi dışında PCB'lerin 20 yıldan fazla bir süre boyunca yapısının bozunmadan kaldığı belirtilmiştir (ATSDR 1997). Ülkemizin de taraf olduğu Stockholm Sözleşmesi gereği PCB'lerin kullanımının önlenmesi ve bertarafının sağlanmasına yönelik çalışmalara ilgili kurumlar tarafından yürütülen süreç planlaması Şekil 2.6'da verildiği şekildedir (SC-PCB overview). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2010 yılında hazırlanan "PCB Yönetimi Konusunda Türkiye'deki Mevcut Durum" başlıklı bilgilendirme raporunda, PCB içeren madde ve ekipmanların miktarının belirlenmesi amaçlanmış ancak kesin verilere ulaşılamadığından yurt dışı uygulamalar dikkate alınarak bazı teorik hesaplamalar yapılmıştır (ÇOB 2010). PCB'lere yönelik bu raporda PCB içeren ekipmanların tahmini miktarları sunulmuş, PCB ve poliklorlu terfenillerin (PCT) kontrolü hakkında yönetmeliğin uygulanmasıyla birlikte envanter çalışmalarına yer verilmiştir. Sağlıklı bir envanter bilgisinin henüz sağlanmadığını gösteren veriler, yıllara göre değişiklik göstermektedir. Yasaklanmasını müteakiben görülen kirlilik vakaları geçmiş üretimden gelen ve halen kapalı uygulamalardaki kullanımdan kaynaklanmaktadır (Gedik ve Imamoğlu 2010). Yaygın kullanım alanına sahip PCB'lerin sıvı-yağ formunda olması ve bu sıvılarla kontamine olmuş atık yağ veya yağlı atıkların birer potansiyel PCB kaynağı olarak davranabileceği, çalışmada PCB içeriğinin araştırılmasına dair başlangıç motivasyonunu oluşturmaktadır.

PCB alanında ülkemizde yapılmış çalışmaların, kirleticinin kaynağından çok doğadaki kalıcılığı ve birikimi konularını kapsadığı görülmüştür. Ulusal literatürümüzde PCB içeren atık yağların çevredeki akıbetine yönelik sınırlı sayıda yayın bulunmaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından 2010 yılında yayınlanan raporda, PCB Özel İhtisas Komisyonu tarafından Kardemir Karabük Demir Çelik Fabrikalarına yapılan ziyarete ilişkin bilgiler yer almaktadır. Buradaki bilgilere göre, işletmedeki trafo yağlarının 1997 yılında bakım amacıyla özel bir şirket tarafından değiştirildiği ancak kullanılmış yağın akıbetinin bilinmediği rapor edilmiştir (ÇOB 2010). PCB'lerin doğaya salınımı en çok PCB içeren ekipmanların bakım/onarımı veya bertarafı aracılığıyla gerçekleşmektedir. Bu durum, kullanılamaz hale gelen teknelerin hurda olarak değerlendirilmesi amacıyla yapılan gemi söküm işlemleri ile örneklendirilebilir. Ülkemizdeki baz yağ, madeni yağ ile katkı ve müstahzarlara ait arz-talep dengesi, dolayısıyla, oluşması gereken atık yağ miktarında önemli bir farklılık söz konusudur (PETDER 2011). Köroğlu (2011) tarafından yapılan güncel bir çalışma ile belirlenen ulusal madeni atık yağ toplama oranı (%17) dikkate alındığında, piyasadaki arz fazlası miktarın "10 numara yağ" adı altındaki faaliyetlere konu olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2.6. Stockholm Sözleşmesine göre PCB'lerin bertafına yönelik süreç planlaması

Tarımdaki ilk aşamasında dahi yaygın olarak kullanılan zirai ilaçların gıdalardaki kalıntıları neredeyse kaçınılmazken bitkisel yağların kullanımları sonucu oluşan BAY'ların içeriğinin bu süreçte değişmeden kalması mümkün değildir (ATSDR 1995). Avrupa Komisyonu (AK) tarafından gıdaların kimyasal içerikleri için müsaade edilen maksimum limitler düzenlenmiştir (Dönmez 2006). Ayrıca, PCB'lerin müsaade edilebilir üst limitine Avrupa Birliği (AB) gıda politikasında da yer verilmiştir. Bununla birlikte AB, "2006/794 EU Recommendation" ile PCB'lerin gıdalardaki kalıntılarının nedenlerinin ve etkenlerinin PCB düzeylerinin belirlenmesi amacıyla gıda maddelerinin izlenmesini önermiştir (Chen vd. 2008). Roszko vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada presleme aşamasından sonra arıtılmamış yani ısıtılmamış haşhaş, kolza, susam, kabak (kabak çekirdeği), kenevir, linaire, hodan ve akşam sefası bitkilerinden elde edilip perakende satışa sunulmuş yağlardaki PCB'lerin ve dioksin benzeri olan bileşiklerinin seviyeleri araştırılmış ve analizi yapılan yağ örneklerinde PCB fraksiyonunda baskın olduğu gözlemlenen, düşük klorlu ve dioksin benzeri olmayan, PCB 28, 52 ve 101'in bileşiklerinin 127 (kabak çekirdeği yağı) ile 24882 (hodan yağı) pg/g arasında değiştiği tespit edilmiştir (Çizelge 2.10). Σ_{18} PCB konsantrasyonlarının %90'ından fazlasını düşük klorlu PCB'ler oluşturmaktadır. Analiz edilen bitkisel yağ numunelerinde, dioksin benzeri PCB bileşiklerine ait konsantrasyonlar genellikle düşük ölçülmüştür. En yüksek ölçülenlerden birisi PCB 118 bileşiği iken en zehirlisi PCB 126 bileşiği analiz edilen numunelerin çoğunda tespit limiti altında kalmıştır (tsa: 0,19 pg/g). Σ_{12} dioksin benzeri PCB bileşiğine ait konsantrasyonlar 9,7 (kenevir tohumu)-128 (hodan) pg/g aralığında değişmektedir. PCB 105, 114, 118 ve 126 bileşiklerinin sahip olduğu yüksek toksik eşdeğer (TEQ) ortalaması sebebiyle bu bileşiklerin toplam PCB TEQ ortalamasına katkısı %80'den fazladır.

Kirletici içeren atık yağların, korsan faaliyetlerle, kirletici madde içermeyen yağlara karıştırılmak suretiyle piyasada çeşitli amaçlara yönelik kullanılması çevre ve insan sağlığı açısından önem arz etmektedir. Bu tür atıkların, uygun olmayan koşullarda yakılmasıyla, insan ve çevre sağlığı için toksik kimyasallar (PCB ve dioksin gibi) ortaya çıkmaktadır (ATSDR 1997). Atık yağların mekan/oda ısıtıcısı gibi yağ yakma sistemlerinde (300-400°C) yakıt olarak kullanılması sonucu PAH, PCB, PCDD/F gibi

endokrin bozucu kimyasalların ortaya çıkmaktadır (ATSDR 1997, Delistraty ve Stone 2007). Yanma faaliyeti sonucu havaya salınan emisyonlar havadaki partiküllere veya sıvı damlacıklara tutunarak yeryüzüne (toprak, bitki yüzeyleri, su birikintileri vs) ulaşabilmekte ya da hava hareketleriyle farklı bölgelere taşınarak kirliliğe neden olabilmektedir (Kampa ve Castanas 2008). Oluşan bu emisyonlar maruziyete bağlı olarak çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir (ATSDR 1995, Domeno ve Nerin 2003, Kampa ve Castanas 2008).

Çizelge 2.10. Analiz edilmiş yağ örneklerindeki PCB bileşiklerinin ortalama konsantrasyonları (pg/g)

PCB	Haşhaş	Kolza	Susam	Kabak çekirdeği	Kenevir	Linaire	Hodan	Akşam Sefası
28	135	230	788	59,2	126	127	14935	625
52	105	188	664	25,9	72,3	56,4	9591	378
101	29,4	16,7	85,7	9,9	15,9	18,5	335	29,7
138	33,4	4,6	8,4	21,1	10,8	27,6	11,4	16,1
153	9,9	2,9	5,0	6,4	6,2	9,3	5,6	7,5
180	6,6	2,3	1,8	4,6	2,9	10,8	3,3	4,2
77	2,0	1,8	8,4	1,0	tsa	1,0	19,0	2,8
81	tsa	tsa	tsa	tsa	0,7	tsa	0,7	tsa
105	8,6	4,2	21,3	tsa	2,4	2,9	28,6	6,1
114	1,1	2,0	2,2	tsa	1,8	2,9	23,9	3,5
118	14,2	7,2	33,0	tsa	4,8	6,2	54,3	13,6
123	0,2	0,2	1,0	tsa	0,0	0,0	1,4	0,3
126	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa
156	1,0	tsa	tsa	tsa	tsa	1,9	tsa	tsa
157	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa
167	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	0,7	tsa	tsa
169	0,2	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa
189	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa
$\Sigma_{18}PCB$	347	459	1619	128	243	266	25010	1086

* tsa : Tayin sınırı altında

Dizel motorlarda, yakıttaki katkı maddelerinin egzoz emisyonlarındaki parçacık boyutu dağılımına etkisinin incelendiği bir çalışmada, baz yağ katkısının motorine kıyasla %0,5-1,5 arasında değişen oranlarda, egzoz gazındaki parçacık oluşumunu, dağılımını ve nanopartikül emisyonlarını artırdığı belirlenmiştir (Dong vd. 2012). Oanh vd. (2010) tarafından pilot ölçekli bir yakma ünitesinde (700-1100°C) dizel yağı ve bu yağla belirli oranlarda seyreltilen PCB ile kirlenmiş yağların yakıldığı bir başka çalışmada, baca (12 m yükseklik ve 0,4 m çap) çıkışında yapılan izokinetik örneklemeden elde edilen analiz sonuçları, sadece dizel yağının yakılmasıyla dahi PCB'lerin oluşabildiğini ve seyrelme faktörüne bağlı olarak artış gösterdiğini belirlemiştir. $\Sigma_{12}PCB$ bileşiğinin ölçüldüğü çalışmada PCB 105, 118 ve 126 bileşiklerinin baskın çıktığı baca emisyon profilleri (<1 TEQ ng/m³), PCB'lerin çoğunlukla gaz fazında olduğunu ancak partikül fazında da azımsanmayacak ölçüde (1/3 oranında) bulduklarını göstermiştir. Ayrıca, yapılan çalışmada dizel yağının 1/10 ve 1/100 oranlarında PCB ile kirlenmiş yağ ile seyreltilerek yakılması sonucunda 2-3 TEQ ng/m³ toplam dioksin miktarı ve özellikle gaz fazında 2,3,7,8 TCDF ve 2,3,4,7,8 PeCDF bileşiklerine rastlanmıştır. Broker ve Gliwa (1986) tarafından atık yağ geri dönüşüm tesisi baca gazı çıkışında yapılan bir diğer çalışmada PCB içeriği 1,5 -62 µg/g

aralığında değişen atık yağların lisanslı geri dönüşüm tesislerinde yakılması sonucunda baca gazında 33,9-1651 ng/m³ arasında değişen miktarlarda PCDD/F konsantrasyonları ölçülmüştür. 1968’de Batı Japonya’da gerçekleşen ve Japonca’daki kelime anlamı “yağ hastalığı” olan “Yusho” kazasında, PCB içeren ısı transfer yağı termal olarak bozunmuş ve üretim işlemi sırasında pirinç yağına sızmıştır (Kunita vd. 1984). Üretilen pirinç yağını tüketenlerde çok şiddetli ve kalıcı sivilceler (klorakne), kol ve bacaklarda şişme, halsizlik ve bazı bireylerde karaciğer bozukluklarına rastlanmıştır (Aoki 2001). 1990 yılına kadar Yusho kazasından 1860 kişinin etkilendiği ve 149 kişinin hayatını kaybettiği kaydedilmiştir (Masuda 1996, Onozuka vd. 2009). Yusho kazasında, pirinç yağı üretim prosesinde termal olarak bozulan ısı transfer yağından kaynaklanan hastalıklara PCDF’lerin neden olduğu düşünülmektedir (Erickson ve Kaley II 2011). İrlanda Tarım, Balıkçılık ve Gıda Bakanlığı’nın ulusal kalıntı izleme çalışmaları kapsamında 2008 yılında gerçekleştirdiği rutin hayvansal ürün tarama analizlerinde, bir domuz yağı numunesinde yüksek miktarda PCB kalıntısına rastlaması ile örneklendirilebilmektedir. Söz konusu domuz ürününün üretildiği çiftlikteki çeşitli girdilerden numuneler alındıktan sonra hayvan yemi içerisinde 2000 pg/g civarında PCB kalıntısı gözlemlenmiş ve söz konusu PCB kirliliğinin, üretilen hayvan yemlerinden geldiği tespit edilmiştir. Detaylı bir şekilde yürütülen ve analizleri EPA tarafından yapılan araştırma sonucunda, söz konusu PCB kirliliğinin, üretilen hayvan yemlerinin kurutulması için gereken enerjinin eldesinde kullanılan “yağ yakıcı” sistemden kaynaklanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan analizler, PCB içeren trafo yağlarının yakıt olarak kullanıldığı sistemde tespit edilen PCB/dioksin profilinin, domuz yağı ve hayvan yemi numunelerinden elde edilen sonuçlar ile benzerlik gösterdiğini, dolayısıyla, domuz ürünündeki kirliliğin atık yağın yakılması sonucu oluştuğunu ortaya çıkarmıştır (Kennedy vd. 2009, Wall vd. 2009).

Yağ sektörü ürün ve atıklarının yakılması ile oluşan kirlenici emisyonları çevresel ortamlara ulaştığında, karışım halinde hareket etmek yerine fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak toprak, su ve hava arasında dağılım gösterebilmektedir (Şekil 2.4). Doğal kaynaklara ulaşan zararlı madde emisyonları, insanlarda kardiyovasküler, sinir, üriner ve sindirim sistemlerini etkileyebilmektedir (Kampa ve Castanas 2008). Söz konusu bilgiler ve ulusal/uluslararası literatür taraması kısmında detaylıca belirtilen bilimsel boşluklar dikkate alındığında, PCB içeren yağ veya ekipmanların içerik veya akıbetlerinin irdelendiği bir tane özel ihtisas komisyonu raporu (ÇOB 2010), bir tane ticari analiz sonucu (Okandan 2009) ve dolaylı olarak bu kategoride değerlendirilebilecek bir tane de TÜBİTAK projesi (Koroğlu 2011) olduğu görülmektedir. Bu çalışmalarda irdelenen atık yağ-PCB kaynaklı kirlilik durumu ilişkisi ya bir şikayet veya denetleme üzerine ya da geniş kapsamlı bir izleme çalışmasının ek parametresi olarak ele alınmıştır. Atık yağ grubu olarak ise sadece madeni yağ ve trafo yağı numuneleri incelenmiştir. Dolayısıyla, atık yağ sektörünün (madeni, sentetik, bitkisel) genelini ve özellikle farklı yağlı atık türlerini kapsayacak ulusal çapta bir çalışmanın yapılmadığı açıkça gözükmektedir. Çalışma kapsamında, ilgili soruna dair verilen bilgilerden hareketle atık bitkisel ve madeni yağ sektörü, çeşitli tip ve özellikteki arıtma tesisleri, atıksu toplama ve iletim hattındaki yağ tutuculardan kaynaklanan atık yağ veya yağlı atıkların yanı sıra 10NY örneklerinde PCB varlığının, dağılımının ve potansiyel kaynaklarının incelenmesi önemlidir. Çalışmanın ulusal katkılarının yanı sıra yerel ölçekte de önem ve katkısının olacağı muhakkaktır.

2.3.2. Metal

Elektrik ve ısı iletkenliği yüksek olan metaller günümüzde hemen her alanda kullanılan, sert, dayanıklı ve kolay şekillenebilen maddelerdir. Doğadaki rezervlerinin işlenmesiyle birlikte insan faaliyetleri sonucu olarak doğal çevrimler dışında yayılmaya başlamıştır. Çeşitli amaçlara yönelik kullanımları yüzyıllardır devam eden metaller ürünlerin saf formlarında dahi bulunabilirken kullanıldıkları ortam ve koşullarda temas ettikleri yüzeyler sebebiyle kontamine olmaları mümkündür. Burada hareketle, yağ sektörü ürün ve atıklarının hem hammaddeleri hem de kullanım alanları dikkate alındığında metal içermesi kaçınılmazdır. Kullanılmış yağlar içerisinde bulunan metaller, performans sağlayıcı antioksidan veya deterjan katkılarından kaynaklanabileceği gibi yağın kullanım yerine bağlı (aşınma sonucu yağa karışma) olarak da oluşabilmektedir. Madeni atık yağlar, kullanım amacı ve alanına bağlı olarak Ba, As, Ca, Cd, Mg, Pb, Zn, Na, Al, Cr, Cu, Fe, K, Si, Sn gibi metaller içerebilmektedir (Concawe 1996). Bunlardan As, Cd, Pb ve Cr elementleri atık yağların sınıflandırılmasında kullanılan önemli kirleticilerdir. Bitkisel atık yağlar ise, hammaddesinden veya kullanım sürecinden kaynaklanan metal kirleticileri barındırabilmektedir (Baars vd. 2004, Cheung vd. 2010, Fontcuberta vd. 2008, Hall vd. 1983, Roszko vd. 2012). Bu bağlamda, kullanılan yağlarda, bazı elementlerin toksik karakteristiği dikkate alınarak element kompozisyonunun iyi bilinmesi gerekmektedir. Ancak, söz konusu metaller taşınım, bulaşma ve benzeri yollardan yağın yapısına katıldığından bu maddeler iz (eser) miktarlarda bulunmaktadır. Öte yandan, yağlar, kompleks bileşiklere sahip olduklarından iz element analizlerini yapmak oldukça zordur (Gonzálvez vd. 2010). Yağ sektörü atıklarındaki kül ve iz element miktarı ham petrol veya madeni yağlara kıyasla oldukça yüksektir (Hall vd. 1983). Toksik olmalarının yanı sıra Ca, Co, Fe, Mg, Mn, Ni gibi bazı metaller oksidatif bozunmaya neden olduğundan ürünlerin kalitesi ve kullanım süresini de olumsuz etkilenmektedir (Gonzálvez vd. 2010). Njue vd. (1999)'nin kullanılmamış (taze) ve atık makine yağlarındaki metal (S, Ca, K, Fe, Cu, Zn, Pb) konsantrasyonlarını karşılaştırdığı çalışma ile örneklendirilebilmektedir. Söz konusu çalışmada, her iki yağ grubunda Σ_7 metal elementi araştırılmıştır. Her iki grupta da tespit edilen metal konsantrasyonlarının atık makine yağlarında daha yüksek olduğunu gözlenmiştir (Njue vd. 1999). Benzer şekilde, Nerin vd. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada kullanım yerleri farklılık gösteren çeşitli endüstriyel yağlarda metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V) konsantrasyonları karşılaştırılmış, Σ_{metal} içerikleri sırasıyla otomotiv (745 $\mu\text{g/g}$)> makine (697 $\mu\text{g/g}$)> hidrolik (188 $\mu\text{g/g}$)> kesme (75 $\mu\text{g/g}$) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, Pb elementi 51-672 $\mu\text{g/g}$ arasında değişen konsantrasyonu ile her daim en yüksek sonucu vermiştir (Nerin vd. 2000). Öte yandan, Gonzálvez vd. (2010) tarafından Fas'tan temin edilen 5 farklı argan yağı örneğinde Σ_{42} element araştırılmış Al, Ca, Co, Cr, Fe, K, Li, Mg, Na, Ni, Pr, Se, Sm, Ti, V ve Zn'ye ait konsantrasyonlar tespit edilebilir limitin üzerinde çıkmıştır. As, Cd ve Pb gibi toksik elementlere ait konsantrasyonlar tespit limiti altında kalırken Cr ve Zn elementleri gıdalarda müsaade edilen maksimum seviyenin altında kaldığı görülmektedir. Argan yağında yapılan analiz sonuçları literatürdeki bitkisel yağlarla kıyaslanmış ve metal içeriklerinin benzeştiği görülmüştür (Gonzálvez vd. 2010). Benzer şekilde, Bakkali vd. (2012) İspanya ve Fas'tan temin ettikleri bitki ve bitkisel yağlardaki ağır metal içeriklerini araştırmıştır. Çeşitli tipteki yenilebilir yağlarda araştırdıkları metal seviyelerinin birbirlerinden farklı olduğu gözlenmiştir. En yüksek Pb konsantrasyonu (86,6-92,5 $\mu\text{g/kg}$) Fas'tan alınan doğal

zeytin yağı örneğinde tespit edilirken en yüksek Cu konsantrasyonu İspanya'dan alınan zeytin prina yağı ve mısır yağında tespit edilmiştir (Bakkali vd. 2012). Llorent-Martínez vd. (2011) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise doğal zeytin, ticari zeytin, zeytin prina, ayçiçeği ve mısır yağlarını kapsayan bitkisel yenabilir yağların meta içeriğini incelemişlerdir. Elde ettikleri bulgulara göre, oldukça toksik olan As ve Pb elementleri ayçiçeği ve zeytin yağında tespit edilmesine rağmen konsantrasyonları müsaade edilebilir limitlerin (<10 ng/g) altında çıkmıştır. Öte yandan, Cr, Cu, Fe ve Mn elementlerine bütün yağ türlerinde gözlenmiştir. Ag (<0,8 ng/g), Cd (<1,5 ng/g), Ni (<15 ng/g), Ti (<15 ng/g) ve Tl (<1,5 ng/g) elementleri ise numunelerin tamamında tespit edilebilir limitin altında çıkmıştır. Genellikle tohum-yağ yada hayvan yağ dokusu-yağı arasındaki ilişkilerin incelendiği yenabilir yağlardaki metal düzeyleri atık yenabilir yağlar noktasında hem ulusal hem uluslararası literatürde yeterince irdelenmemiştir. Bu nedenle, çalışma kapsamında incelenen atık yenabilir yağlara ilişkin analiz sonuçlarının bilimsel literatüre katkı sağlayacağı açıktır.

Yağ sektörü ürün ve atıklarının genellikle yakma amaçlı kullanılmaları sonucu metal kirletici emisyonlarının oluşması kaçınılmazdır. Atık yağ yakıldığında önemli ölçüde PM ve metal (özellikle Pb ve Cu) salınımı olmaktadır (Gülyurtlu vd. 1996). Dizel motorlarda, uygun olmayan koşullardaki kullanımları sonucu tehlikeli madde emisyonlarının ciddi boyutlara ulaşacağı bilinmektedir. Dizel motorların benzinlilere kıyasla daha yüksek seviyede küçük parçacık (<1,0 µm) salınımı gerçekleştirmesi ve bu parçacıkların yüzey alanlarının oldukça büyük olması sebebiyle dizel motorlu taşıtların egzozundan çıkan gaz fazındaki kirleticiler bu parçacıklara tutunurlar. Atık yağlar gerekli tedbirler alınmadan yakıldığında yüksek miktarda partikül madde ve iz element (1398 µg/g Pb, <10 µg/g Cr, 23 µg/g Cu, 292 µg/g Br) salınımı ortaya çıkmaktadır (EPA 2014-b, Gülyurtlu vd. 1996, Hall vd. 1983). Nerin vd. (1996) tarafından atık motor yağlarının yakılması sonucu oluşan emisyonlarda partikül boyutu ile metal ilişkisinin araştırıldığı bir çalışmada Pb, Fe, Cu, Ni ve Cr gibi metallerin 10 µm'den daha küçük partiküllerde, Cd ve V metallerinin ise 40 µm çaplı partiküllerde konsantre olduğu gözlenmiştir. Bunların kanserojen etkisi nedeniyle, kullanılmış yağların bilinçsiz ve/veya kontrolsüz bir biçimde bertaraf edilmesiyle oluşabilecek iz element emisyonları kansere neden olarak halk sağlığını tehdit etmektedir (Gülyurtlu vd. 1996) (Rauckyte vd. 2006).

Halojen, periyodik tablonun A grubunda yer alan F, Cl, Br, I, At ametallerinin genel adıdır. Elektronegatiflikleri ve reaktifleri yüksek olan halojen grubu kimyasallar tehlikeli ve toksik elementlerdir. Bu elementler yağ sektörü ürün ve atıklarının, bileşiminden veya katkı maddelerinden gelebilmektedir (Concawe 1996). Gana'da Buah-Kwofie vd. (2011) tarafından yapılan çalışma kapsamında okul, hastane, AAT, endüstriyel bölge (gıda üreticisi), kensel alanlar gibi farklı noktalardan alınan 94 adet trafo yağında tespit edilebilen numunelerdeki toplam Cl içeriği 71,34-266,92 µg/g arasında değişmektedir. Bununla birlikte (Gedik ve Yurdakul 2014) tarafından atık yağ içermesi muhtemel olan ve ülkemiz genelini temsil edecek nitelikte 25 ilden temin edilen 30 adet 10 numara yağ örneğinde araştırılan Cl içeriği tespit limiti altı-825 (363±215) µg/g olarak tespit edilmiştir. Bu durum 10NY numunelerinin klor içeren solventlerle karıştırıldığı iddiasını güçlendirmektedir. İlaveten, Eryılmaz vd. (2010) tarafından standart dışı dizel yakıtların performansları ve kullanılmaları sonucu oluşabilecek emisyonlara (CO, CO₂, HC, NO_x, SO₂) dair yapılan çalışmada dizel yakıt,

atık bitkisel yağ ve 10NY örnekleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, atık bitkisel yağ ve 10NY örneklerinin laboratuvar ortamındaki dizel motorda yakılmasıyla CO, CO₂, HC, NO_x salınımlarının dizel yakıtla kıyasla daha fazla olduğu gösterilmiştir. Ancak, bu elementlerin oluşturduğu organik veya inorganik maddeleri içeren atık yağların yakılmasıyla NO_x, N₂O, SO₂, P₂O₅ ve bazı halojenli asitler (HF, HCl, HBr) oluşmaktadır (Gülyurtlu vd. 1996). Zehirli ve tehlikeli olduğu bilinen halojen grubu elementleri içeren emisyonlar çevre ve insan sağlığını tehdit etmektedir.

2.4. Çalışmanın Önemi ve Özgünlüğü

Ulusal literatürümüzde, yağ sektörü atıklarının karakterizasyonuna yönelik doğrudan veya dolaylı çalışmalar mevcut olmasına karşın, özellikle, 10NY gibi jenerik yakıt ve yağlı atıkların içeriği ve çevresel akıbetine yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Ülkemizdeki atık sektörü tesislerine ait sistematik bir envanterin bulunmayışı önemli bir eksiklik olduğu gibi tehlikeli atık sınıfında değerlendirilebilen kullanılmış yağların özelinde hazırlanmış devamlılık arz eden herhangi bir envanter/izleme çalışmasına da rastlanmamaktadır. Atık yağların kalorifik değeri ve hammadde geri kazanım potansiyeli, sektör hacmi ve ticari rant ile beraber ele alındığında korsan faaliyetlere neden olmaları kaçınılmazdır. Kayıt dışı kalan miktarın önemli bir kısmı ısınma veya enerji amacıyla yakılmakta veya merdiven altı diye tabir edilen işletmelerde basit işlemlerden geçirilerek doğrudan akaryakıtla karıştırılmaktadır. Çalışma kapsamında sunulan ulusal ve uluslararası literatür dikkate alındığında, özellikle, standart dışı bir yakıt olarak halen talep gören 10NY ve kentsel/endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde oluşan yağ/gres atıkları, kanalizasyon sisteminde biriken yağlı atıklar, marinalardan kaynaklanan atık yağlar gibi yağ sektörü ürün ve atıklarının içeriğine yönelik ulusal veri ihtiyacı açıktır. Söz konusu ihtiyaç, ilgili atıkların bertarafı veya uzaklaştırılması noktasında izlenen yaklaşımlardan kaynaklanacak durumların da ortaya çıkarılmasını gerektirmektedir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Örnekleme

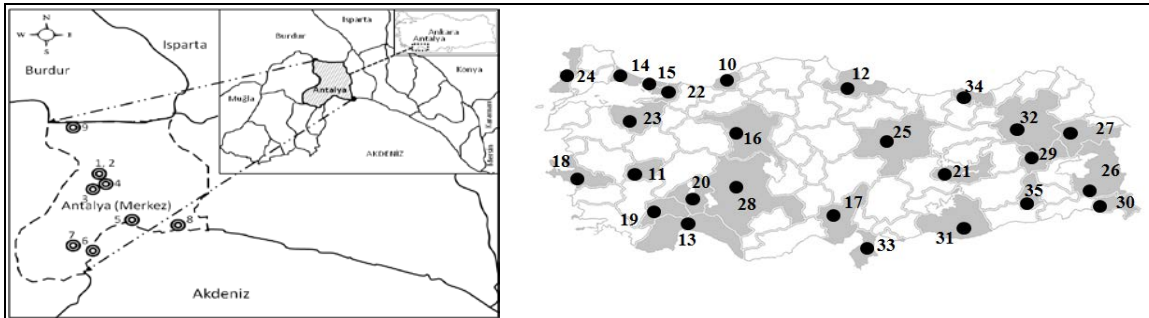
Isıtma amacıyla mineral/bitkisel/hayvansal kökenli atık yağ veya karışımlarının yakıldığı iddiasından yola çıkılarak araştırılan atık yağların muhtemel kirlilik kaynağı olması hususunda örnekleme noktaları farklı tip ve kaynaktaki (madeni, bitkisel, hayvansal esaslı ve evsel/endüstriyel kaynaklı) yağ sektörü ürün ve atıklarını kapsayacak şekilde seçilmiştir. Bu bağlamda, incelenen numunelere ait özellikler Çizelge 3.1’de özetlendiği gibidir. Yağ sektörü atıkları ile yağlı atıkların örneklendiği Antalya ili yerleşik nüfusu (2.158.265) ile Türkiye’nin 5. büyük ilidir (TÜİK 2013). Türkiye’nin güneyinde Akdeniz kıyısında yer alan ve sahip olduğu çeşitli doğal/kültürel varlıkları sebebiyle ülkemiz turizm merkezi konumundaki Antalya’da ekonomi turizm, tarım ve ticaret üzerine yoğunlaşmıştır. Kültür Turizm Bakanlığı (KTB) 2013 yılı verilerine göre 11.535.762 turist Antalya’yı ziyaret etmiştir (KTB 2015). Ülkemiz turizm merkezi olarak nitelendirilen Antalya’da konaklama amaçlı toplam 868 tesisin yanı sıra yıllık turist sayısı da dikkate alındığında gıda endüstrisinden kaynaklanan bitkisel ve hayvansal yağ kullanımı ile oluşacak atık yağ hacminin yüksek olması kaçınılmazdır. Bu nedenle yağlı atıkların örneklenmesinde Antalya ili ele alınmıştır. İlaveten, daha önce BAP-2012.01.0102.013’nolu proje kapsamında metal ve halojen açısından incelenen 25 farklı ili temsil eden 10NY örnekleri PCB açısından ele alınmıştır.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan numune tür ve özellikleri

Numune türü	Özelliği
Hayvansal atık yağ	1 Atık tavuk yağı numunesi
Bitkisel atık yağ	2 Antalya’da bulunan çeşitli otel, restoran, okul, yemekhane vs. den toplanarak karışık halde depolanan bitkisel atık yağ numunesi
Endüstri Kaynaklı Yağlı Atık	3, 4 Akü firmaları, tamirhaneler, demir-doğrama atölyeleri, oto yıkamalar ve oto mekanik servisleri gibi çeşitli sanayi kollarının faaliyetleri sonucu kanalizasyona verilen atıksuyun yağ tuzağında tutulan yağlı atık numunesi
Atık Motor Yağları	5,6 Yat, tekne vb. deniz taşıtlarının bakım ve onarımlarında kullanılan makine/motor yağlarının kabul edildiği atık yağ depolama tankı
Karışık Yağlı Atık (Evsel)	7,8 AAT’lerin ön arıtma bölümündeki havalandırmalı kum ve yağ tutucu havuzu yüzeyinden (üst kısım) ve tabanından (alt kısım) sıyrılan yağlı atık numunesi
Karışık Yağlı Atık (Endüstriyel)	9 Fiili kapasitesi 9.000-11.000 m ³ /gün arasında olan endüstriyel AAT’nin havalandırmalı kum ve yağ tutucu havuzundan alınan yağlı atık numunesi
10 Numara Yağ	10-35 Farklı illerden toplanan ve kamyon, otobüs gibi taşıtlarda dizele alternatif olarak kullanılan 10 numara yağ numuneleri

Örnekleme noktalarının Çizelge 3.2’de özetlendiği araştırma kapsamında 25 farklı ilden temin edilen 30 adet 10NY ürünlerine ek olarak 21 adet yağ sektörü atığı olarak nitelendirilen atık yağ ve yağlı atıklar Antalya’da yer alan 9 örnekleme noktasından temin edilmiştir. Yağ sektörü atıklarının zaman ve mekana göre farklılık göstermesi muhtemel numune içeriklerine dair elde edilecek bilgilerin detaylı çalışmalara zemin oluşturabilmesi açısından yağlı atık numuneleri yaz ve kış periyotlarında olmak üzere iki dönem halinde alınmıştır. Ancak, zamansal değişimin de incelendiği bu çalışma kapsamında kış dönemi hayvansal atık yağ numunesi soğuk iklim koşullarında toplanamaması nedeniyle temin edilememiştir. Örnekleme bölgelerinden 21.08.2014 (5, 6, 7, 8 ve 9) ve 26.08.2014 (1, 2, 3 ve 4) tarihlerinde yaz dönemini temsil edecek şekilde atık yağ ve yağlı atık numuneleri toplanmıştır. Benzer şekilde, 17.02.2014 (3 ve 4) – 19.02.2014 (2, 5, 6, 7, 8, 9) tarihleri arasında kış dönemini temsil edecek nitelikteki atık yağ ve yağlı atık numuneleri toplanmıştır. Numuneler toplanırken homojen dağılım sağlanacak şekilde karıştırıldıktan sonra bir litrelik plastik şişelere konulmuştur. Laboratuvara getirilen numuneler, gerekli görüldüğü durumlarda, kaba parçacıklardan temizlenerek 4°C’de saklanmıştır. PCB, metal ve toplam halojen içeriklerinin araştırıldığı yağ sektörü atıkları; atık yenebilir yağlar (1, 2), atık motor yağı (5, 6) ve çeşitli ortamlardan temin edilen yağlı atıkları (3, 4, 7, 8, 9) kapsamaktadır. Buna ek olarak, 10NY’larda yalnız PCB’ler incelenmiştir.

Çizelge 3.2. Örnekleme noktaları (Dönem: Yaz (Y), Kış(K), Aynı noktadaki sıra (1/2))



Örnekleme No	Örnekleme Noktası	Örnekleme No	Örnekleme Noktası
1	Lisanslı Toplayıcı Kuruluş	20	Isparta
2	Lisanslı Toplayıcı Kuruluş	21	Elazığ
3/4	Küçük Sanayi Sitesi	22	Kocaeli
5/6	Marina	23	Bursa
7/8	Evsel AAT	24	Edirne
9	Endüstriyel AAT	25	Sivas
10	Zonguldak	26	Van
11	Uşak	27	Ağrı
12	Samsun	28	Konya
13	Antalya	29	Muş
14	İstanbul (Avrupa)	30	Hakkari
15	İstanbul (Anadolu)	31	Şanlıurfa
16	Ankara	32	Erzurum
17	Adana	33	Hatay
18	İzmir	34	Trabzon
19	Burdur	35	Batman

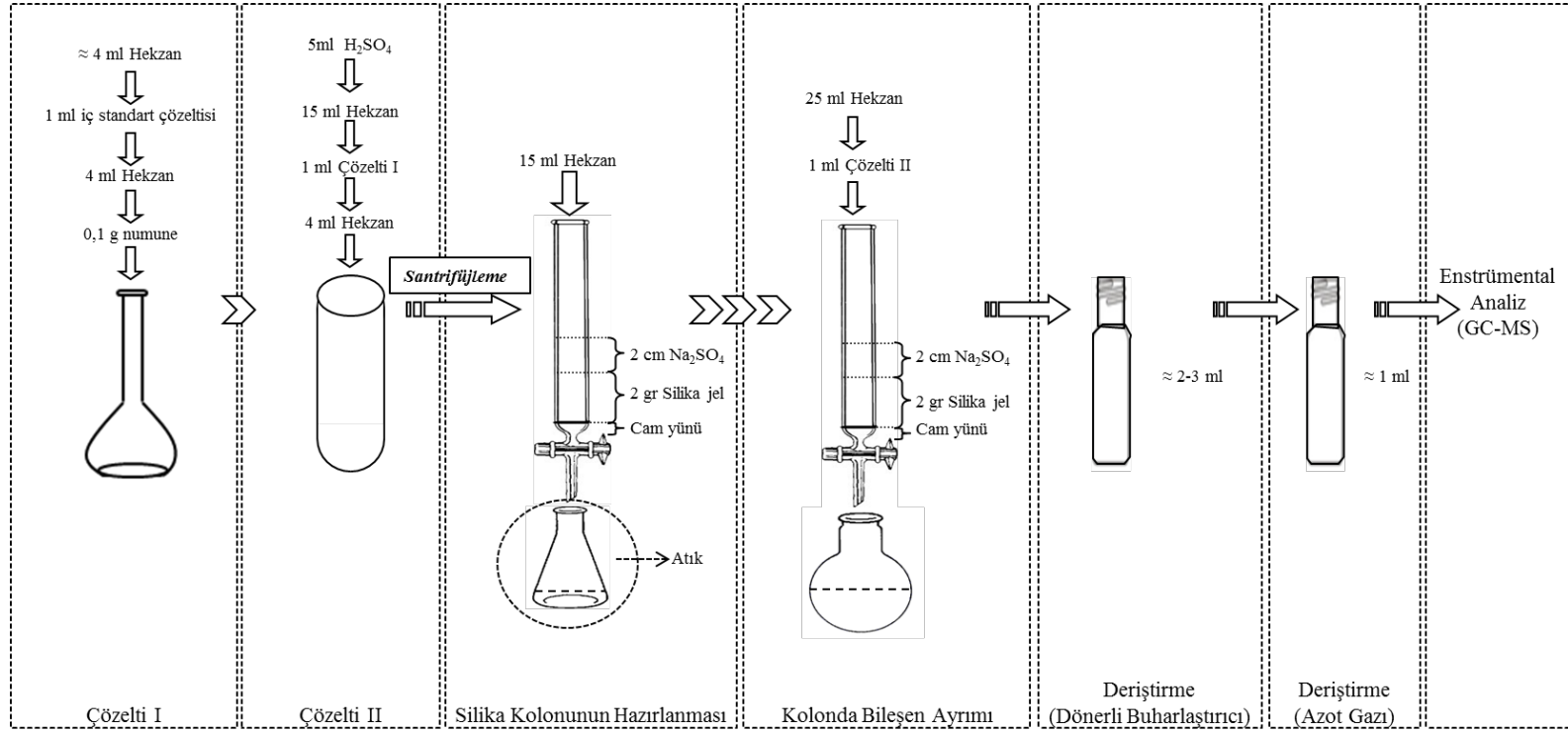
3.2. PCB Ekstraksiyonu ve Enstrümental Analizi

Numunelerden PCB ekstraksiyonu ve analizinde uygulanan yöntem “TS EN 12766: Petrol Ürünleri ve Kullanılmış Yağlar - PCB’ler ve İlgili Ürünlerin Tayini” metodu esas alınarak düzenlenmiş ve Şekil 3.1’de özetlenmiştir. Bu doğrultuda, çeşitli atık yağ/yağlı atık numunelerinin her birinden 1000±1 mg tartılarak alınan yağ numunesi hekzan ile sıvı - sıvı ekstrakte edilmiştir. Bu bağlamda, ilgili yağ numunesine, 1 ppm’lik PCB 30 ve PCB 209 bileşiklerini içeren iç standart çözeltisinden (geri kazanım standardı) 1 ml eklenerek hekzan ile 10 ml’ye tamamlanmıştır. Hazırlanan çözeltiden 1 ml alınarak hekzan ile 20 ml’ye tamamlanmış ardından 5 ml H₂SO₄ ilave edilerek 4-5 kez aşağı - yukarı yönde çalkalanmıştır. Asit muamelesi sonucu meydana gelmesi beklenen faz ayrımlarını daha net gözlemlemek amacıyla 4000 rpm’de 5 dak boyunca uygulanan santrifüjleme işlemini sonucu oluşan 2 ayrı fazdan (hekzan ve asit) hekzanın bulunduğu katmandaki (üst tabaka) çözeltiden alınan 1 ml numuneye silika kolonu uygulaması yapılmıştır. Silika kolonu (cam yünü, 0,074-0,250 mm boyutunda 150°C’de 4 saat aktifleştirildikten sonra %0,5 m/m deiyonize su ile aktifliği giderilmiş silika jel ve 400°C’de 4 saat susuzlaştırılmış Na₂SO₄ ile hazırlanan) uygulamasından önce temizleme için 10 ml hekzan geçirilmiştir. Ayrıca, silika kolonundan numune geçirildikten sonra da 25 ml hekzan yıkama için geçirilmiştir. Buradan elde edilen ekstrakt dönerli buharlaştırıcı ve sonrasında azot gazı uygulaması ile 1 ml’ye deriştirilerek enstrümental analize hazır hale getirilmiştir.

PCB bileşiklerinin (#18, 20, 28, 31, 44, 52, 101, 105, 118, 138, 149, 153, 170, 180, 194) analizi Restek Rxi 5Sil MS kapiler kolonda, Shimadzu GC-MS QP2010 Ultra marka kütle spektrometrelili gaz kromatografi cihazı ile Çizelge 3.3’te verilen çalışma koşullarında yapılmıştır. Atık yağ ve yağlı atık numuneleri kütle/yük (m/z) oranlarına göre oluşturmuş SIM (Selected Ion Monitoring/Seçilmiş iyon izleme) modunda analiz edilmiştir.

Çizelge 3.3. GC-MS çalışma koşulları

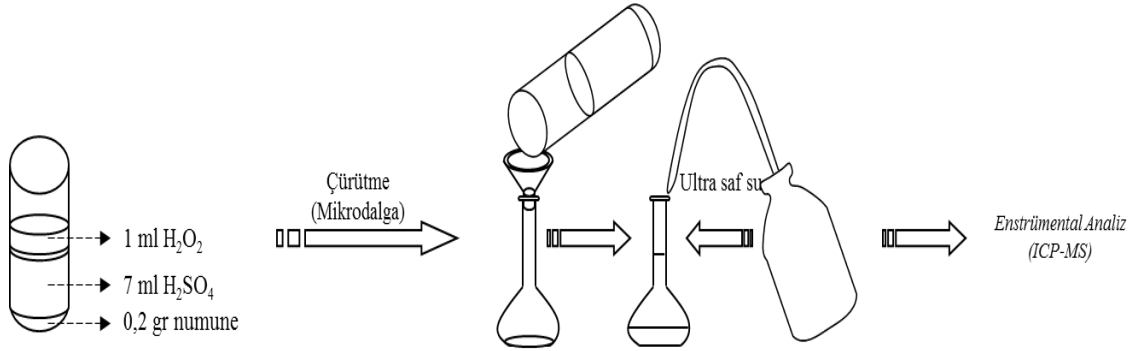
Parametre	GC-MS
Kolon adı	Restek Rxi 5Sil MS (60x0,25x0,25x0,25)
Enjeksiyon port sıcaklığı	270°C
Enjeksiyon modu	Bölücüsüz
Enjeksiyon hacmi	2µl
Taşıyıcı gaz	Helyum
Sabit akış hızı	1 ml/dk
Arayüz sıcaklığı	280°C
İyon kaynağı	230°C
Sıcaklık Programı	90°C’de (1 dak.) 40°C/dak artarak 210°C’ye çık (1 dak. bekle) 10°C/dak artarak 250°C’ye çık (1 dak. bekle) 2°C/dak artarak 270°C’ye çık (1 dak. bekle) 5°C/dak artarak 300°C’ye çık (5 dak. bekle)



Şekil 3.1. PCB ekstraksiyonu

3.3. Metal Ekstraksiyonu ve Enstrümental Analizi

Numunelerden metal ekstraksiyonunda (Şekil 3.2) EPA tarafından önerilen "Mikrodalga ile Asit Çürütme (EPA Metot 3051A)" yöntemi esas alınmıştır. Milestone Start D (Soriso, İtalya) model cihazda yapılan mineralizasyon işlemi için yaklaşık 200 mg numune, teflon kap içerisinde tartıldıktan sonra üzerine 7 ml %65'lik HNO₃ ve 1 ml %34,5-36,5'lik H₂O₂ eklenmiştir. Üretici firma tarafından önerilen çalışma koşulları ve sıcaklık programı dikkate alınarak; 200°C/15 dak, 200°C/15 dak ve 20 dak havalandırma uygulaması yapılmıştır (Milestone 2009). Çürütme işlemi tamamlandıktan sonra cihazdan çıkarılan rotor sistemi, oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiştir. Çeker ocak içerisindeki kaplardan gaz çıkışının bitmesini takiben numuneler, 25 ml'lik balon jøjeye aktarılarak ultra saf su ile seyreltilmiş ve enstrümental analize hazır hale getirilmiştir. Mineralize edilen numunelerdeki metal analizi, Perkin Elmer ELAN DRC-e (Ontario, Canada) marka indüktif olarak eşleştirilmiş plazma - kütle spektrometresi (ICP-MS) cihazı ile Çizelge 3.4'te verilen çalışma koşullarında yapılmıştır.



Şekil 3.2. Asitle çürütme işlemi

Çizelge 3.4. ICP-MS çalışma koşulları

Parametre	ICP-MS
RF gücü (W)	1100
Plazma gaz akış hızı (l/dak)	15.0
Auxiliary gaz akış hızı (l/dak)	1.1
Nebulizer gaz akış hızı	0.9
Tekrar sayısı	3
Spray chamber	Baffled Quartz Cyclonic
Nebulizer	Meinhard Concetric Type A3
Ion lens (V)	6.5-11 Auto lens
Dwell time (ms)	10
İzotop (m/z)	¹⁰⁷ Ag, ²⁷ Al, ⁷⁵ As, ¹³⁸ Ba, ²⁰⁹ Bi, ¹¹¹ Cd, ⁵⁹ Co, ⁵² Cr, ⁶³ Cu, ⁵⁶ Fe, ⁷ Li, ²⁴ Mg, ⁵⁵ Mn, ⁶⁰ Ni, ²⁰⁸ Pb, ⁸⁵ Rb, ⁷⁹ Se, ⁸⁸ Sr, ²⁰⁵ Tl, ⁵¹ V, ⁶⁶ Zn

Analizlerde, toplam 21 element (Ag, Al, As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Tl, V, Zn) ölçülmüştür. Elementlerin tayininde kullanılan

kalibrasyon eğrisi 2-200 ng/ml aralığında değişen çoklu element standardı (SM75B-100, VHG Labs, USA) ile harici kalibrasyon metoduna göre oluşturulmuştur.

3.4. Toplam Klor (Halojen) Analizi

Toplam halojen (klor) miktarı tayininde EPA tarafından önerilen Dextil Chlor-D-Tect Q4000 test kiti yöntemi (SW-846 Metot 9077) kullanılmıştır. Oda sıcaklığına getirilen yağ numunelerinden şırınga yardımıyla alınan numune, test kiti içerisindeki 1 nolu test tüpü içerisine konulur. Tüp içerisinde bulunan renksiz ampul kırılarak 30 sn, devamında gri ampul kırılarak 20 sn ve son olarak tüm karışım 40 sn boyunca karıştırılarak tepkimenin gerçekleşmesi beklenir. Kit içerisinde bulunan 2 nolu tüpteki tampon çözelti 1 nolu tüpe eklenir ve 10 sn boyunca karıştırılır. Tüpteki tepkimeden dolayı oluşan gaz ventile edildikten sonra ters çevrilen tüp içerisindeki fazların ayrılması beklenir (2 dak). Ayrılan fazlardan altta kalan renksiz çözelti, huni yardımıyla, 5 ml olacak şekilde 2 nolu tüpe aktarılır. 2 nolu tüp içerisinde bulunan ampul kırılarak 10 sn boyunca karıştırılır. İçerisinde klor standardı bulunan titrasyon şırıngası ile renk, sarıdan mor renge dönüncüye kadar titre edilir. Dönüm noktası görüldüğü anda titrasyon durdurularak harcanan titrant miktarı kaydedilir. 200-4000 ppm aralığında ölçüm yapabilen test kitlerine ait sonuçlar ppm ($\mu\text{g/g}$) cinsinden ifade edilmiştir.

3.5. Analizlerde Kalite Güvencesi ve Kontrolü

3.5.1. PCB analizleri

PCB analizi için hazırlanmış olan kalibrasyon eğrisi verileri Çizelge 3.5'te özetlenmiştir. Harici kalibrasyon metodu ile hazırlanan kalibrasyon eğrisinde 1-100 ng/ml aralığında 7 farklı konsantrasyonda (1/3/6/10/25/50/100 ppb) kalibrasyon standardı kullanılmıştır.

Çizelge 3.5. PCB bileşiklerine ait kalibrasyon eğrisi verileri

PCB	RT*	m/z**	Denklemi ($y=ax+b$)	R ²	%RSD	CTS***	MTS****
18	10,375	186, 256, 258	$Y = 6590,146X - 851,1266$	0,999	11,4	0,105	1,55-0,105
31	11,240	258, 256, 186	$Y = 8507,759X - 5011,724$	0,999	16,1	0,235	2,56-1,85
28	11,270	256, 258, 186	$Y = 7927,922X - 5025,553$	0,999	19,6	0,232	1,13-0,898
20	11,445	256, 258, 186	$Y = 8693,647X - 4504,796$	0,999	18,6	0,099	1,20-0,746
52	11,925	220, 292, 290	$Y = 6606,916X - 2702,178$	0,999	19,9	0,077	1,30-1,45
44	12,400	220, 292, 290	$Y = 5700,499X - 3565,599$	0,999	16,0	0,167	0,650-1,36
101	14,060	326, 254, 256	$Y = 5246,309X - 2720,651$	0,999	16,0	0,749	0,832-0,749
153	15,900	360, 290, 362	$Y = 2878,317X + 7362,352$	0,999	16,3	0,317	0,317-0,317
118	16,045	326, 328, 324	$Y = 6743,766X - 56,9725$	0,999	21,2	0,668	0,294-0,668
149	16,765	360, 290, 362	$Y = 4524,743X - 1758,668$	0,999	22,1	0,135	0,135-0,135
105	17,000	326, 328, 324	$Y = 6703,576X - 3852,263$	0,999	23,5	0,206	0,428-0,206
138	17,840	360, 290, 362	$Y = 3638,607X - 1706,413$	0,999	20,9	0,373	0,544-0,373
180	20,745	396, 324, 394	$Y = 2421,111X - 1406,026$	0,999	20,2	0,514	0,514-0,514
170	22,170	396, 324, 394	$Y = 2149,908X - 1523,343$	0,999	13,8	0,804	0,804-0,804
194	25,210	430, 432, 428	$Y = 579,1753X - 1209,639$	0,999	17,6	1,375	4,58-27,3

*RT: Alikonma Zamanı (dak), **m/z: kütle/yük, ***CTS: Cihaz Tayin Sınırı (ng/l)= 3,143xStd, ****MTS: Metot Tayin Sınırı (mg/kg)=ortalama konsantrasyon+3xStd

Kalite sağlama ve kalite kontrol prosedürleri kapsamında; laboratuvar kontrol numunesi, şahit numune ve paralel numune analizleri yapılmıştır. Yağ sektörü ürün ve

atıklarında yapılan ekstraksiyon ve analiz için güvenilirliği için sertifikalı referans madde (BCR-449) tüm süreçten geçirilmiş ve analiz edilmiş ardından geri kazanım yüzdeleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.6). Analitik yöntemlerin çeşitli aşamalarında yer alan numune, ekipman ve kimyasal gibi her türlü laboratuvar ekipmanının kullanımı sıkı kalite kontrolü önlemleriyle denetlenmiştir. PCB ekstraksiyon ve analizlerinde kullanılan cam malzemelerde organik maddelerin kalmaması için kimyasal deterjan (Alcanox) ile ovulup temizlendikten sonra bol su ile durulanmıştır. Daha sonra kromik asit çözeltisi ile yıkanan cam malzemeler saf su ile durulama yapıp etüvde 200°C’de kurutulmuştur. Kullanılan malzeme ve ekipmanlardan kaynaklanabilecek kirliliği belirlemek için 6 adet deneme (boş) tüm süreçten geçirilmiş ve analiz edilmiştir (Çizelge 3.7). Ayrıca, Şekil 3.3’te PCB bileşiklerine ait örnek bir kromatogram görüntüsü verilmiştir.

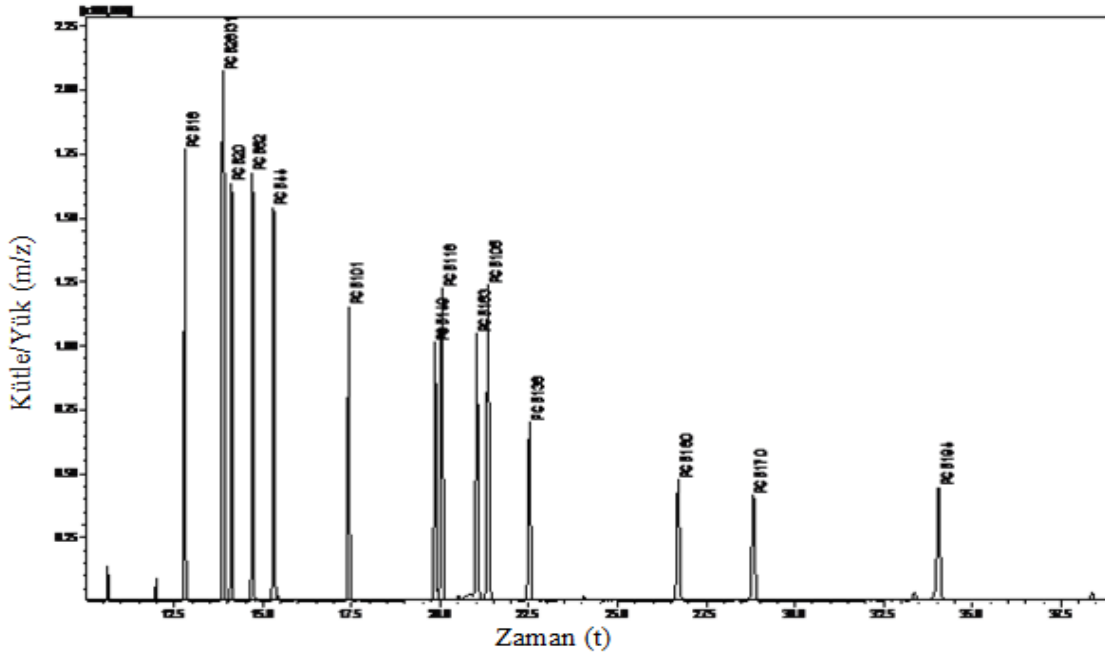
Çizelge 3.6. PCB geri kazanım hesapları (min.-maks.(ort±std) mg/kg)

PCB	Sertifika değeri	Belirsizlik	Analiz sonucu	Geri kazanım (%)
30*	3,0		3,00-3,09 (3,05±0,043)	102±1,42
28	0,8	0,07	0,701-0,726 (0,715±0,012)	89,3±1,54
52	31,4	1,8	20,1-20,8 (20,5±0,393)	65,3±1,25
101	57,2	1,9	56,1-57,1 (56,7±0,480)	99,0±0,840
105	17,4	1	14,2-15,1 (14,8±0,494)	85,1±2,84
118	46,6	2,4	39,4- 1,8 (41,0±1,35)	87,9±2,90
153	39	1,7	29,8-31,2 (30,6±0,969)	78,5±1,79
170	6,6	0,6	5,67-6,37 (6,09±0,366)	92,2±5,54
180	10,4	0,4	9,18-10,8 (9,90±0,821)	95,2±7,90
209*	11,0		10,8-12,0 (11,58±0,660)	105±6,00

* Geri kazanım standartları

Çizelge 3.7. Kontrol (şahit) numunelerinden kaynaklanan PCB miktarları (min-maks. (ort±std) ng/ml)

PCB #	1. Grup (n=6)	2. Grup (n=4)
18	0-0,717 (0,465±0,361)	0-0,173 (0,043±0,087)
31	0-1,21 (0,598±0,655)	0-0,965 (0,402±0,483)
28	0,492-0,546 (0,338±0,263)	0,684-0,792 (0,753±0,049)
20	0-0,863 (0,144±0,352)	0,564-0,663 (0,609±0,046)
52	0-0,681 (0,523±0,258)	0-0,800 (0,451±0,332)
44	0,528-0,594 (0,569±0,027)	0,707-1,03 (0,879±0,160)
101	0-0,542 (0,140±0,230)	0
153	0	0
118	0,155-0,157 (0,052±0,081)	0-0,156 (0,039±0,078)
149	0	0
105	0,167-0,272 (0,073±0,118)	0
138	0,161-0,333 (0,099±0,148)	0
180	0	0-1,02 (0,256±0,512)
170	0	0-1,14 (0,284±0,568)
194	0,16 - 2,25 (0,805±1,26)	7,49-19,3 (12,293±5,02)



Şekil 3.3. PCB bileşiklerine ait örnek GC-MS kromatogramı

3.5.2. Metal analizleri

Metal analizi için hazırlanmış olan kalibrasyon eğrisi verileri Çizelge 3.8’de özetlenmiştir. Harici kalibrasyon metodu ile hazırlanan kalibrasyon eğrisinde 2-200 ng/ml aralığında 7 farklı konsantrasyonda (2/5/10/25/50/100/200 ppb) kalibrasyon standardı kullanılmıştır.

Çizelge 3.8. Metal elementlerine ait kalibrasyon eğrisi verileri

Analit	m/z*	Denklemi (y=ax+b)	R ²	%RSD	CTS**	MTS***
Cu	63	y = 4822,3x + 4720,7	0,9987	4,55	0,190	0,962
As	75	y = 1220,4x + 435,78	0,9988	6,45	0,159	0,595
Fe	57	y = 245,26x + 3164,9	0,9643	6,98	9,523	
Cd	111	y = 1545,1x + 690,58	0,9987	4,09	0,146	0,388
Pb	208	y = 9878x + 6988,2	0,9979	4,31	0,146	0,700
Mg	24	y = 5106x + 24291	0,9925		2,131	
Ag	107	y = 7192,8x + 4497,1	0,9987	4,46	0,149	0,446
Ba	138	y = 14920x - 7012,6	0,9995	5,69	0,130	1,079
Bi	209	y = 15557x - 11482	0,9991	3,79	0,134	0,494
Co	59	y = 10851x - 8601,4	0,9991	5,35	0,142	0,615
Ni	60	y = 2257,4x - 564,73	0,9993	7,25	0,504	2,00
Cr	52	y = 2257,4x - 564,73	0,9993	11,0	4,074	0,651
Li	7	y = 1391,1x + 537,51	0,9986	6,78	0,191	0,875
Mn	55	y = 11989x - 5733,3	0,9995	5,81	0,302	0,829
Rb	85	y = 12844x - 9796,2	0,9992	5,50	0,125	0,539
Sr	88	y = 17062x - 8098,1	0,9993	5,29	0,146	0,594
Tl	205	y = 15125x - 11376	0,9989	4,61	0,107	0,549
V	51	y = 8712,2x + 6056,8	0,9987	6,07	0,180	0,699
Al	27	y = 5401,2x + 13104	0,9977		1,398	
Se	82	y = 123,34x + 14,828	0,9990	6,43	0,199	0,647
Zn	66	y = 1197,5x + 41,294	0,9975	25,5	1,173	4,82

m/z: kütle/yük, **CTS: Cihaz Tayin Sınırı ($\mu\text{g/l}$)= $3x\text{Std}/a$, *MTS: Metot Tayin Sınırı: ($\mu\text{g/g}$)= $\text{ortalama konsantrasyon}+3x\text{Std}$

Kalite sağlama ve kalite kontrol prosedürleri kapsamında; laboratuvar kontrol numunesi, şahit numune ve paralel numune analizleri yapılmıştır. Atık yağ ve yağlı atıklarda yapılan ekstraksiyon ve analizin güvenilirliği için içeriği bilinen yağ standardı (SRM1083) tüm süreçten geçirilmiş ve analiz edilmiş ardından geri kazanım yüzdeleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9. Metal geri kazanım hesapları

Analit	A ¹ 0,0025 µg/g			B ² 0,025 µg/g			C ³ 0,100 µg/g		
	S.D. ⁴	Sonuç ⁵	% G.K. ⁶	S.D.	Sonuç	% G.K.	S.D.	Sonuç	% G.K.
Cu	0,510	0,635-0,857 (0,744±0,073)	120	4,08	4,57-5,22 (4,84±0,220)	115	16,6	18,5-19,8 (19,3±0,555)	115
As	0,23	0,351-0,498 (0,451±0,048)	193	2,63	3,86-4,45 (4,06±0,262)	155	10,6	16,6-18,5 (17,7±0,702)	167
Fe				1,81	13,6-15,8 (14,5±1,01)	180	16,8	27,3-30,6 (28,7±1,16)	86
Cd	0,275	0,306-0,355 (0,339±0,016)	123	3,01	3,31-3,72 (3,46±0,141)	115	12,0	14,1-14,7 (14,5±0,193)	120
Pb	0,474	0,527-0,628 (0,595±0,035)	162	4,40	4,72-5,35 (4,95±0,213)	115	18,4	18,7-20,1 (19,4±0,518)	106
Mg	20,5			24,1					
Ag	0,295	0,320-0,389 (0,362±0,028)	123	3,22	3,59-4,01 (3,70±0,165)	115	13,1	14,9-15,5 (15,3±0,269)	117
Ba	0,740	0,516-0,866 (0,650±0,143)	117	4,18	4,43-5,16 (4,64±0,264)	116			
Bi	0,368	0,408-0,462 (0,436±0,019)	118	3,81	4,17-4,628 (4,33±0,164)	114	7,87	0,042±0	
Co	0,428	0,443-0,545 (0,514±0,034)	120	4,45	4,79-5,52 (5,01±0,268)	113	17,7	19,6-21,1 (20,5±0,533)	116
Ni	1,64	0,722-1,53 (1,06±0,314)	67	5,54	4,92-6,29 (5,59±0,406)	102	17,6	19,3-20,7 (20,2±0,500)	115
Cr		4,25-8,17 (6,90±1,47)	573	1,39	9,52-12,28 (10,5±1,16)	126	16,3	27,7-30,5 (29,4±1,078)	125
Li	0,535	0,598-0,778 (0,696±0,060)	130	5,67	6,12-7,35 (6,51±0,442)	115	24,0	25,1-27,2 (26,4±0,909)	110
Mn	0,203	0,570-0,707 (0,670±0,053)	80	4,79	5,83-6,85 (6,15±0,357)	117			
Rb	0,406	0,396-0,483 (0,454±0,028)	119	4,11	4,40-5,06 (4,60±0,253)	112	16,0	17,9-19,2 (18,7±0,471)	117
Sr	0,404	0,432-0,530 (0,494±0,033)	110	3,95	4,49-5,22 (4,75±0,251)	119			
Tl	0,392	0,441-0,510 (0,481±0,023)	123	4,21	4,54-5,17 (4,75±0,219)	113	2,80	0,048±0	
V	0,476	0,503-0,619 (0,582±0,039)	122	5,12	5,52-6,49 (5,83±0,353)	114	19,9	23,0-24,7 (24,1±0,643)	121
Al	16,4						22,3	27,7-30,7 (29,4±1,03)	77
Se	0,171	0,360-0,527 (0,473±0,058)	233	2,19	3,73-4,36 (3,98±0,256)	179	8,93		197
Zn		1,84-3,09 (2,51±1,00)	77	1,11	5,99-10,4 (7,85±2,00)	208	8,01	12,8-15,9 (14,1-1,02)	125

¹A: 0,0025 µg/g, ²B: 0,025 µg/g, ³C: 0,100 µg/g, ⁴S.D.: Sertifika Değeri (µg/g), ⁵: minimum-maksimum (ort±std) µg/g, ⁶: % G.K. Geri kazanım yüzdesi

Analitik yöntemlerin çeşitli aşamalarında yer alan numune, ekipman ve kimyasal gibi her türlü laboratuvar ekipmanının kullanımı sıkı kalite kontrolü önlemleriyle denetlenmiştir. Metal ekstraksiyon ve analizlerinde kullanılan TFM ve PFA teflon parçalar ile plastik jöjelerde araştırılan elementlerin kalmaması için 1:1 distile HCl'de 80-100°C'de bir gece bekletildikten sonra distile su ile bol su ile durulanmıştır.

Kullanılan malzeme ve ekipmanlardan kaynaklanabilecek kirliliği belirlemek için 8 adet deneme (boş) tüm süreçten geçirilmiş ve analiz edilmiştir (Çizelge 3.10). Ayrıca, kalibrasyon ve geri kazanım deneylerinde düşük veya uygun olmayan verim elde edilmesinden dolayı Fe, Mg, Al elementlerine ait veriler, sonuçlara dahil edilmemiştir.

Çizelge 3.10. Kontrol (şahit) numunelerinden kaynaklanan metal elementi miktarları (min-maks. (ort±std)) µg/l)

Element	Konsantrasyon	Element	Konsantrasyon
Cu	0,496-1,18 (0,902±0,253)	Cr	2,46-3,16 (2,83±0,261)
As		Li	
Fe	30,1-66,2 (66,2±48,8)	Mn	0,905-3,70 (1,99±0,869)
Cd		Rb	0,187±0
Pb	0,393-1,38 (0,855±0,439)	Sr	0,052-0,549 (0,280±0,251)
Mg	5,12-28,0 (12,0±7,50)	Tl	
Ag		V	
Ba	0,335-3,43 (1,48±1,69)	Al	12,4-16,7 (14,5±2,15)
Bi		Se	
Co		Zn	0,926-6,56 (4,37±2,61)
Ni	0,013-1,66 (0,570±0,752)		

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. PCB Düzeyleri

4.1.1. Atık yenebilir yağlar

Atık yenebilir yağlardaki Σ_{PCB} miktarı 0,174-0,189 (0,182±0,007) mg/kg aralığında değişmektedir. Bitkisel ve hayvansal kökenli atık yenebilir yağlarda araştırılan PCB bileşiklerine ait konsantrasyonlar Çizelge 4.1’de özetlenmiştir. Numune türlerindeki PCB dağılımları incelendiğinde hem mevsimsel hem de mekânsal olarak sadece PCB 138 bileşiği ölçülmüştür. Bunun yanı sıra, düşük klorlu PCB bileşiklerine rastlanmış ancak tayin sınırı altında kalması sebebiyle Σ_{PCB} miktarı hesaplanırken dikkate alınmamıştır. Atık yenebilir yağ numuneleri hammadde sınıfına göre değerlendirildiğinde hayvansal atık yağ numunesine ait konsantrasyon her iki BAY numunesine göre daha yüksek tespit edilmiştir. Bununla birlikte, BAY numuneleri mevsimsel olarak incelendiğinde kış döneminde ölçülen Σ_{PCB} konsantrasyonu yaz dönemine oranla daha fazla çıkmıştır. Yaz dönemindeki BAY numunesinin kış dönemine kıyasla toplama noktasındaki çeşitliliğin daha fazla olduğu bilinmektedir. Bu durum, yaz dönemi numunesinin PCB içermeyen örneklerle seyrelmesi ile açıklanabilir.

4.1.2. Atık motor yağları

Atık motor yağlarında araştırılan PCB bileşiklerinin dağılımı Çizelge 10’da verilmiştir. Atık motor yağı içerisinde ölçülen Σ_{PCB} miktarları tsa-0,878 (0,359±0,375) mg/kg aralığında değişmektedir. Yaz döneminde 5 nolu noktadan alınan numunede (5Y) rastlanan PCB bileşiklerinin tayin sınırının altında kalması sebebiyle Σ_{PCB} konsantrasyonu hesaplanamazken aynı noktadan alınan kış dönemi numunesi atık motor yağı numuneleri içerisindeki en yüksek Σ_{PCB} içeriğine (0,878 mg/kg) sahiptir. Ancak, bu numunedeki Σ_{PCB} konsantrasyonu PCB 44 bileşiğinden (%93,2) kaynaklanmaktadır. Öte yandan, PCB 44 bileşiği yalnız 5K numunesinde ölçülebilir düzeyde iken PCB 118 atık motor yağı numunelerinde en sık (5Y hariç) ölçülen bileşiktir. Atık motor yağı numuneleri genel olarak incelendiğinde mevsimsel olarak ayırım yapmak mümkün değildir. Bu doğrultuda, iki farklı örnekleme noktasındaki yaz ve kış dönemlerine ait ortalama PCB konsantrasyonları dikkate alındığında kış dönemi (0,542±0,474) > yaz dönemi (0,351±0) şeklindedir. Ancak, buradaki konsantrasyon farklılığının temel kaynağı 5 nolu örnekleme noktasında ölçülen miktarların uç noktalarda (minimum ve maksimum) olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, dönemsel farklılıkları yorumlarken noktasal olarak değerlendirmek daha doğru olacaktır. Dolayısıyla, 5 nolu örnekleme noktası için kış dönemindeki PCB içeriği daha yüksek iken 6 nolu örnekleme noktasında yaz dönemine ait sonuçlar daha yüksek tespit edilmiştir. Öte yandan, 5 nolu örnekleme noktası şehir merkezinde yer alan daha turistik amaçlı gezinti teknelerinin yer aldığı konumda olup atık motor yağının kaynağı makine/ekipmanlar nadiren değişiklik göstermektedir. Buna karşın, 6 nolu örnekleme noktası özel yat ve teknelerin konuşlandığı marınadır. Bu nedenle, atık motor yağının kaynaklandığı araçlar zamansal olarak değişkenlik göstermektedir. Ancak, ilginç bir sonuç olarak, 6 nolu örnekleme noktasındaki numuneler birbirine benzer dağılım gösterirken, 5 nolu noktadaki sonuçlar kendi arasında oldukça değişkendir. Bu durum, 6

nolu noktadaki taşıtların bakımlarının marinada yer alan bakım/onarım işletmesinde yapılması ve genel olarak benzer yağlama ürünlerinin kullanılmasıyla açıklanabilir.

4.1.3. Yağlı atıklar

Yağlı atıklarda ölçülen PCB miktarları tsa-12,0 (4,35±4,51) mg/kg aralığında değişmektedir. 5 farklı örnekleme noktasından yaz ve kış periyotlarında alınan 14 farklı yağlı atık numunelerine ait ΣPCB miktarları Çizelge 4.1'de özetlenmiştir. Her iki dönemde de en düşük ΣPCB içeriğinin 4 nolu örnekleme noktasında olduğu gözlenmiştir. Bu noktadaki ΣPCB miktarı herhangi bir bileşiğin tayin sınırı üzerinde ölçülebilen konsantrasyonda olmaması sebebiyle hesaplanamamıştır. Bununla birlikte aynı bölgede yer alan ancak, atıksu toplama şebekesine bağlanmadan önceki son toplanma yeri olan 3 nolu (güney) örnekleme noktasındaki numunelerde PCB 138'den kaynaklanan konsantrasyon ΣPCB miktarına eşittir. Yapılan analizlere göre 4'te (doğu bölgesi) bulunmayan ancak 3'ten alınan numunelerde tespit edilen yüksek klorlu PCB 138'in küçük sanayi sitesinin kuzey yönündeki işletmelerden kaynaklandığı şeklinde yorumlanabilmektedir. AAT'lerde gözlenen PCB dağılımları daha değişken olduğu gibi ΣPCB konsantrasyonları da daha yüksektir. Burada şaşırtıcı olarak, endüstriyel AAT'deki PCB içeriği her iki kentsel AAT'ye oranla çok daha düşüktür. Öte yandan, kentsel AAT'lerdeki ortalama PCB miktarları genel olarak birbirine yakın olmasına karşın 7K numunesi genel kentsel AAT ortalamasının yaklaşık olarak yarısı kadar ölçülmüştür. Kentsel AAT'lerdeki fark PCB 194 (% 98,3) bileşiğinden kaynaklanmaktadır. Düşük klorlu PCB bileşikleri yağlı atık numunelerinin kompozisyonunda genel olarak gözlenmesine rağmen miktarları tayin sınırı altında kalmıştır.

4.1.4. 10 numara yağlar

10NY numunelerinde en fazla tespit edilen PCB bileşikleri sırasıyla PCB 52, PCB 31, PCB 118 şeklindedir (Şekil 4.1). Ülke genelini ifade edebilmek için 25 farklı ilden toplanan 10NY örneklerindeki ΣPCB miktarı tsa-31,6 (5,90±7,83) mg/kg aralığında değişmektedir (Şekil 4.2). 20-Isparta ve 25-Sivas illerinden alınan 10NY örneklerinde ΣPCB konsantrasyonları hesaplanamamıştır. En yüksek PCB içeriği 21 - Elazığ ilinde ölçülmüştür. Elazığ numunesindeki ΣPCB miktarının %71,2'si PCB 170'den kaynaklanmaktadır. Ardından, tespit edilen PCB miktarlarına göre sırasıyla Trabzon (23,5)> Zonguldak (19,5)> Antalya (17,3)> Bursa (12,8) illerinden alınan numuneler gelmektedir. 10NY numunelerinin %80'inde PCB 138 bileşiği ölçülebilir düzeydedir. Van ilinden temin edilen numunedeki ΣPCB konsantrasyonunun tamamını PCB 138 bileşiği oluşturmaktadır. Benzer şekilde, numunelerin %52'sinde ise ölçülebilir düzeyde PCB 170 bileşiğine rastlanmıştır. İzmir'deki ΣPCB miktarının tamamı PCB 170'den oluşmaktadır. Bunun yanı sıra, ΣPCB konsantrasyonunun yüksek olduğu numunelerin tamamında PCB 170 ölçülmüştür. PCB 31, 44, 53 ve 194 bileşiklerine ait konsantrasyonlar 10NY numunelerinin hiçbirinde ölçülebilir düzeyde tespit edilmemiştir. Ayrıca, aynı ilden temin edilen numunelerdeki PCB miktarları ve bileşik dağılımları dahi oldukça farklıdır. 10NY numunelerinde ölçülen PCB bileşiklerinin dağılımlarının oldukça değişken olması ilgili ürünlerin belirli bir standarda sahip olmadığını kanıtlar niteliktedir.

Çizelge 4.1. Atık yağ ve yağlı atık numunelerindeki PCB bileşiklerinin miktarları (min.-maks.(ort±std)) mg/kg)

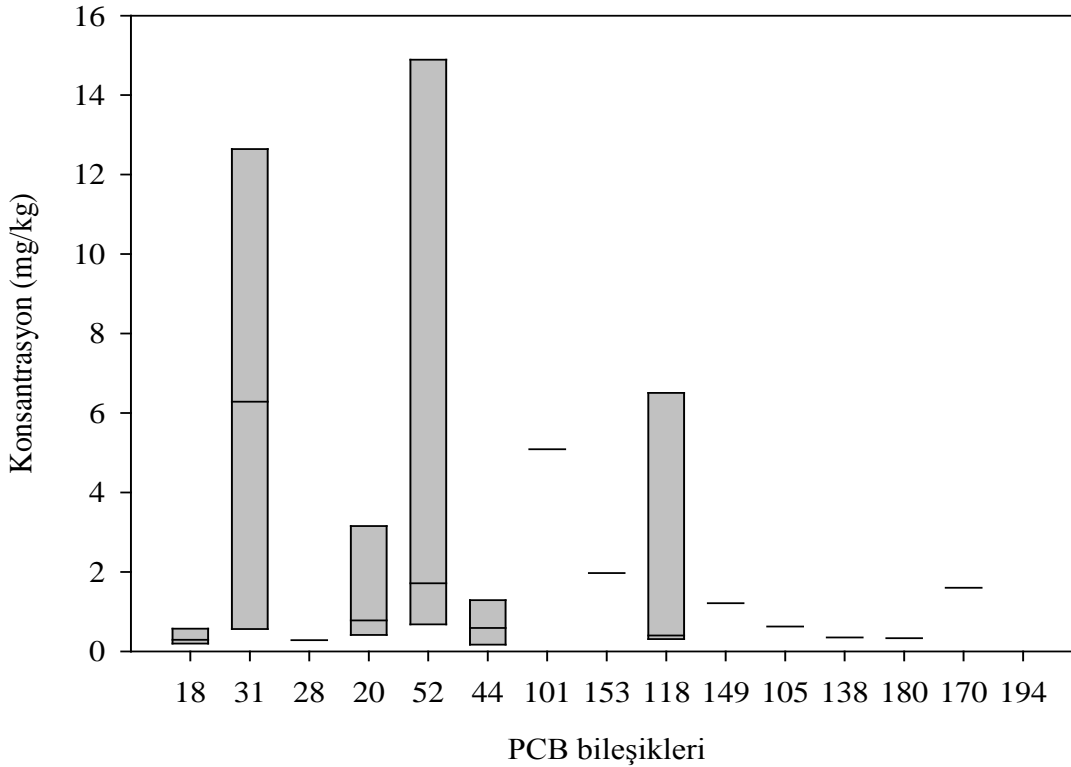
PCB	1Y	2Y	2K	3Y	3K	4Y	4K	5Y	5K	6Y	6K	7Y	7K	8Y	8K	9Y	9K
18	te*	tsa	te	te	te	tsa	tsa	te	te	te	te	tsa	te-tsa	te	tsa	te	tsa
31	tsa**	te	tsa	tsa	te	tsa	tsa	te	te	te	te	tsa	tsa	te-tsa	tsa	te	tsa
28	tsa	te	tsa	tsa	te	tsa	tsa	te	te	tsa	tsa	tsa	tsa	te-tsa	tsa	tsa	tsa
20	tsa	te	tsa	tsa	te	te	te	te	te	te	tsa	tsa	tsa	te-tsa	tsa	tsa	tsa
52	tsa	tsa	tsa	tsa	te	tsa	tsa	te	tsa	te	te	tsa	tsa	tsa	tsa	te	tsa
44	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	0,818	te	tsa	tsa	tsa	te-tsa	tsa	0,138	tsa
101	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	tsa	te	te	te	te	te	0,302
153	te	te	tsa	te	te	te	te	te	te	tsa	te	te	te-tsa	tsa	te	te	tsa
118	te	te	tsa	te	te	te	te	tsa	0,060	0,351	0,070	tsa-0,142	te	te	te	0,315	te
149	te	te	te	te	te	te	tsa	te	tsa	tsa	tsa	te	te-0,078	te-0,079	te	0,135	te
105	te	tsa	te	tsa	te	te	te	tsa	te	te	0,137	te-0,126	te	te-0,118	te-0,126	te	0,143
138	0,189	0,174	0,184	0,114	0,114	tsa	tsa	tsa	te	te	tsa	te	te-tsa	te	te	0,194	te
180	te	te	tsa	te	te	te	te	te	te	tsa	tsa	te	te-0,140	te	te	0,246	0,145
170	te	te	tsa	te	te	tsa	te	te	te	tsa	te	te-tsa	te	tsa-0,268	te-0,164	te	te
194	te	te	te	te	te	tsa	te	te	te	te	te	9,86-9,88	5,31-6,35	7,46-11,8	8,15-9,18	te	te
Σ15	0,189	0,174	0,184	0,114	0,114				0,878	0,351	0,207	9,88-10,1	5,31-6,57	7,73-12,0	8,31-9,31	1,03	0,590

*te: tespit edilmedi, **tsa: tayin sınırı altı

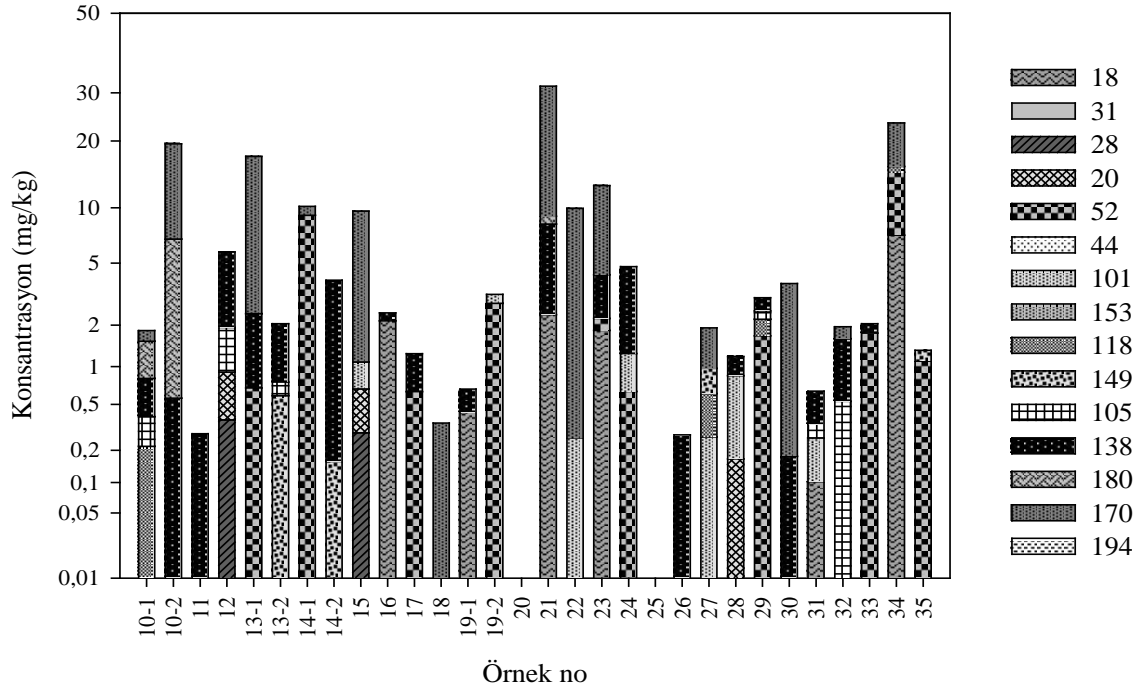
4.2. Metal Düzeyleri

4.2.1. Atık yenebilir yağlar

Atık yenebilir yağlardaki Σ metal miktarı 2,83-9,39 (6,22 \pm 3,29) μ g/g aralığında değişmektedir. Bitkisel ve hayvansal kökenli atık yenebilir yağlarda araştırılan metal bileşiklerine ait konsantrasyonlar Çizelge 4.2’de özetlenmiştir. Atık yenebilir yağlardaki metal dağılımları hem mevsimsel hem de mekânsal olarak incelendiğinde Cu, Cr ve Se bileşikleri numunelerin tamamında ölçülmüştür. Bunun yanı sıra, metal bileşenlerinin dağılımı Cr(5,43 \pm 2,34)> Cu(0,678 \pm 1,12)> Se(0,054 \pm 0,041)> Mn(0,053 \pm 0,07)> Sr(0,037 \pm 0)> As(0,023 \pm 0)> Rb(0,022 \pm 0) şeklindedir. Atık yenebilir yağ numuneleri hammadde kaynağına göre değerlendirildiğinde hayvansal atık yağ numunesine ait Σ metal içeriğinin her iki BAY numunesine göre daha yüksek ölçüldüğü görülmektedir. Öte yandan, BAY numuneleri mevsimsel olarak incelendiğinde yaz döneminde ölçülen Σ metal konsantrasyonu kış dönemine oranla daha fazla çıkmıştır. Dolayısıyla, yaz dönemine (7,92 \pm 2,07) ait numunelerdeki Σ metal içerikleri kış (2,83 \pm 0) dönemine kıyasla daha yüksektir.



Şekil 4.1. PCB bileşiklerinin 10NY numunelerindeki dağılımı



Şekil 4.2. 10NY numunelerinde PCB bileşiklerinin dağılımı

4.2.2. Atık motor yağları

Atık motor yağlarındaki Σ metal miktarı 26,5-67,1 ($43,4 \pm 17,0$) $\mu\text{g/g}$ aralığında değişmektedir (Bknz. Çizelge 4.2). Ayrıca, ölçülen metal bileşiklerinin dağılımı $\text{Cu} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Mn} > \text{Sr} > \text{Ba} > \text{Cd} > \text{Se} > \text{Bi} > \text{Ag} > \text{V} > \text{As}$ şeklindedir. Ni, Rb, Tl ve Zn bileşiklerine atık motor yağı numunelerinin hiçbirinde rastlanmamıştır. Atık motor yağlarındaki ortalama Σ metal konsantrasyonları incelendiğinde genel olarak yaz dönemi ($46,8 \pm 28,7$) konsantrasyonları kış dönemine ($39,9 \pm 0,405$) kıyasla daha yüksektir. Ancak, aynı noktadaki mevsimsel değişimler net olarak yorumlanamamaktadır. Bunun yanı sıra, 5 nolu örnekleme noktasındaki Σ metal içeriği her iki dönemde de yüksek çıkmıştır.

4.2.3. Yağlı atıklar

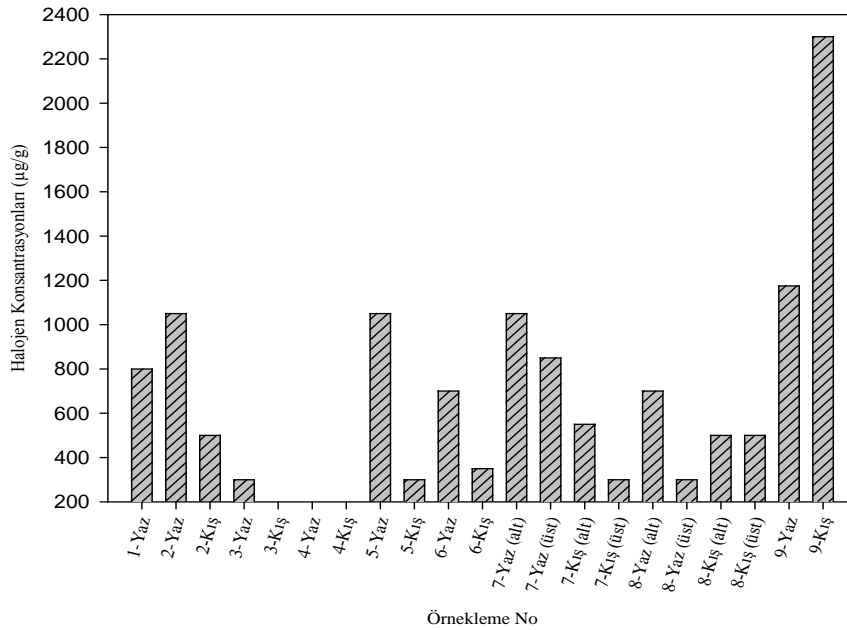
Yağlı atıklarda ölçülen Σ metal içeriği 1,29-104 ($26,6 \pm 32,8$) $\mu\text{g/g}$ aralığında değişmektedir. 5 farklı örnekleme noktasından yaz ve kış periyotlarında alınan 14 farklı yağlı atık numunelerine ait Σ metal miktarları Çizelge 4.2'de özetlenmiştir. Her iki dönemde en düşük Σ metal içeriğinin 7 nolu örnekleme noktasındaki kentsel AAT'de gözlenmiştir. Ayrıca, her iki kentsel AAT'nin üst akımından alınan numuneler en düşük metal içeriğine sahipken en yüksek Σ metal içeriği endüstriyel AAT'den kış döneminde alınan numunede ölçülmüştür. Yağlı atık numunelerinde en fazla ölçülen metal bileşiği Zn ($9,21 \pm 11,6$) iken Tl ve Se bileşiklerine numunelerin herhangi birinde rastlanmamıştır.

Çizelge 4.2. Atık yağ ve Yağlı Atıklardaki Metal İçerikleri (µg/g)

Örnek Kodu	Cu	As	Cd	Pb	Ag	Ba	Bi	Co	Ni	Cr	Li	Mn	Rb	Sr	Tl	V	Se	Zn
S1Y	0,049									6,25		0,099	0,022				0,038	
S2Y	1,97	0,023								7,25		0,007		0,037			0,101	
S2K	0,014									2,79							0,024	
S3Y	1,41	0,017		0,987		4,09		0,020	0,073	0,674	0,369	1,43	0,075	1,27		0,149		0,845
S3K	13,4	0,245		14,85	0,005		0,030	0,233	6,24	24,3	0,315	4,72	0,311	2,89		0,894		27,2
S4Y	3,81	0,048		2,10		9,70		0,022		7,68	0,087	0,832	0,073	1,20		0,166		8,12
S4K	0,928	0,040		1,25		2,95		0,035	9,23	0,645	0,165	1,50	0,114	1,42		0,203		2,97
S5Y	41,2	0,050	0,163	10,0		1,58		0,031		7,80	0,076	4,34		1,57		0,105	0,143	
S5K	17,9	0,066	0,232	8,39	0,137	0,501	0,084	0,035		9,14	0,039	1,91		1,63		0,058	0,103	
S6Y	15,2	0,040	0,074	3,27		0,229		0,014		5,63	0,026	0,767		1,13		0,018	0,087	
S6K	23,4	0,062	0,116	4,49	0,003	0,442		0,035		7,78	0,053	1,32		1,73		0,080	0,141	
S7Y-alt	1,39	0,027		0,357		3,33				0,801	0,164	6,66	0,126	13,5		0,161		4,98
S7Y-üst						0,121					0,002	0,005		1,25				0,528
S7K-alt	0,219			0,079	0,024	0,549		0,005		0,173	2,78	2,94	0,040	7,68		0,012		3,09
S7K-üst	0,014					0,181				0,217		0,037		0,836				
S8Y-alt	1,05			0,109		0,627		0,010			0,066	1,25	0,055	1,71		0,134		6,50
S8Y-üst	0,215			0,010		0,077				0,102	0,021		0,007	0,934				1,73
S8K-alt	2,07	0,115		0,099		1,853		0,031		0,756	0,126	2,42	0,132	3,43		0,305		5,85
S8K-üst	0,053					0,047				0,082	0,026	0,168	0,008	0,958				
S9Y	0,366			0,187		1,38		0,082	0,701	0,588	0,216	1,32	0,106	5,42		0,012	0,013	10,5
S9K	5,48	0,189		15,30		16,5		0,587		5,56	0,241	9,39	0,501	11,6		0,394	0,042	38,2

4.3. Toplam Halojen (Klor) Düzeyleri

Yağ sektörü ürün ve atıklarında toplam klor (ΣCl) miktarını belirlemek amacıyla yapılan analizler sonucu elde edilen konsantrasyonlar Şekil 4.3'te verilmiştir. Numunelerin %89,5'inde ölçülen ΣCl yalnızca küçük sanayi sitesinde yer alan 4 nolu örnekleme noktasından alınan yağlı atık numunelerinde tespit limiti altında kalmıştır. Tespit limiti altında kalanlar dikkate alınmadığında numunelerdeki ΣCl düzeyinin 200 - 2300 (713±503) ppm aralığında değiştiği görülmektedir. En yüksek klor seviyesi, AOSB endüstriyel AAT yağ tutucu ünitesinden kış döneminde alınan yağlı atık numunesinde ölçülmüştür. Noktasal olarak numunelerdeki ΣCl düzeyinin kendi arasında değişmesine rağmen, mevsimsel olarak bir ayırım yapmanın mümkün olmadığı gözlenmiştir. ΣCl miktarları numune türlerine bağlı olarak değerlendirildiğinde atık yenebilir yağ (783±275 ppm) > yağlı atık (727±584 ppm) > atık motor yağı (525±247 ppm) şeklinde sıralanmaktadır. Öte yandan, sanayiye yönelik faaliyetlerin gerçekleştirildiği noktalardan alınan numunelerdeki ΣCl miktarı 200-2300 (838±801) ppm aralığında değişirken, kentsel nitelikli AAT'lerindeki ΣCl miktarı 300-1050 (783±275) ppm olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle, endüstriyel AAT'leri ve yağ kaplarından elde edilen yağlı atıklara ait bulgular ile yağ içeriğinin çoğunu yenebilir yağların oluşturduğu kentsel AAT'lerinden elde edilen sonuçlar arasında ilişki kurulamamaktadır. Fl, Cl, Br, I gibi soygazlardan oluşan toplam halojen miktarını ifade etmektedir. Toplam klor miktarına eşit kabul edilen bu değer için AYKY'nde 200 ve 2000 ppm limit değerleri doğrultusunda sınıflandırma yapılmaktadır. Buradan hareketle, incelenen numunelerin Σ halojen içeriğine göre 4 nolu örnekleme noktası (birinci kategori) ve 9K numunesi (üçüncü kategori) dışındakilerin ikinci kategori olduğu görülmektedir. Buradan hareketle, yağ sektörü ürün veya atıklarının kullanıldığı ortam ya da uzaklaştırma durumuna bağlı olarak maruz kaldığı farklı kirleticileri bünyesine aldığı söylemek mümkündür.



Şekil 4.3. Halojen analizi sonuçları

4.4. Atık yağ ve yağlı atıklardaki muhtemel kirletici kaynakları

Küresel ölçekte oluşan atık hacmi dikkate alındığında, yağ sektörüne ait atıklar çevre ve insan sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır. Sektörden kaynaklanan atık yağ ve yağlı atıklara yönelik yapılan çalışmalar sınırlı olmakla birlikte güncel durumu yansıtmamaktadır. Yağ sektöründeki metal elementlerinin varlığı ve dağılımı bitkisel/hayvansal esaslı yağlarda daha çok gıda bilimi, mineral yağlarda ise petrokimyaya dair çalışmalarda irdelenmiştir. Yapılan çalışmalarda, “temiz” yani daha önce kullanılmamış olan yağlarda bakılan kirletici miktarları yağın yalnız kendi yapısındaki konsantrasyonları ifade etmektedir. Söz konusu ürünlerin kullanım aşamalarında kirleticileri bünyesine katacağı ve daha yüksek konsantrasyonlara ulaşacağı açıktır. Buradan hareketle, çalışma kapsamında bulunan metal miktarları Çizelge 4.7’deki farklı yağ sektörü ürün ve atıklarına dair yapılan çalışmalarla kıyaslanmıştır. Bakkali vd. (2012) tarafından araştırılan prina yağı, zeytinyağı fabrikalarında sıkılan ve fiziksel olarak içerisindeki yağ ile suyun büyük çoğunluğunun alındığı zeytin posasında kalan az miktardaki yağ pirina yağı olarak isimlendirilmektedir. Ülkemizde yıllardır sadece sabun yapımında kullanılan ancak, gıda tuzuklerinde yapılan değişikliklerin ardından pirina yağının rafine edildikten sonra riviera tipi zeytinyağlarına katılabilmesi veya sadece rafine pirina yağı ismiyle tüketime sunulmuştur. Bakkali vd. (2012) aynı çalışma kapsamında hem doğal zeytinyağındaki hem de prina yağındaki As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb elementlerine ait düzeyleri araştırmıştır. Her iki yağdaki elementlerin zeytin yağı içerisindeki dağılımlarının farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu durum, tohum ve meyve formlarında yapılan çalışmalar dikkate alındığında, tarımsal süreçten gelen kirliliğe ek olarak üretim proseslerinde kullanılan ekipman ve yöntemlere göre artarak element dağılımlarının değişebileceğini göstermektedir.

Ticari olarak üretilen PCB’lere ait isimler EK-1’de listelenmiş ve atık yağ ve yağlı atık numunelerinde tespit edilen PCB bileşiklerinin muhtemel kaynaklarının belirlenmesi amacıyla incelenen ticari PCB formülasyonları Çizelge 4.3’te verilmiştir. İlgili PCB formülasyonlarındaki bileşiklerin dağılımları elde edilen analiz sonuçlarındaki PCB dağılımlarıyla kıyaslanmıştır. Ancak, araştırma kapsamında incelenen numunelerdeki PCB dağılımlarının ticari formülasyonlara uygun eğilim izlemediği sonucuna ulaşılmıştır. PCB dağılımlarının Aroclor, Kanechlor, Delor, Clophen ve Chlorofen formülasyonlarıyla örtüşmemesi sebebiyle numunelerdeki PCB’lere yönelik kaynak tahmini doğrudan yapılamamaktadır. Ancak, numunelerdeki PCB’lerin bulaşma yoluyla numune içerisine karıştığını söylenebilmektedir (Devoogt 1991, Frame vd. 1996, Schulz vd. 1989, Taniyasu vd. 2003, Wyrzykowska vd. 2006).

Çizelge 4.3 Ticari PCB bileşiği formülasyonları

Ticari formülasyon	
Aroclor	1221, 1232, 1016, 1242, 1248, 1254, 1260, 1262, 1268
Kanechlor	KC300, KC400, KC500, KC600
Delor	103, 104, 105, 106
Clophen	A30, A40, A50, A60
Chlorofen	

Bu çalışma ile PCB içermesi muhtemel atık yağ ve yağlı atıklar mevsimsel ve mekânsal olarak incelenmiş ve Çizelge 4.4'te özetlendiği gibi en yüksek Σ PCB seviyesine 10NY grubunda rastlanmıştır. Bu doğrultuda, ortalama Σ PCB miktarlarına göre numune türleri sırasıyla 10 NY ($5,90 \pm 7,83$)> yağlı atıklar ($4,35 \pm 4,51$)> atık motor yağı ($0,359 \pm 0,375$)> hayvansal atık yağ ($0,189$)> bitkisel atık yağ ($0,179 \pm 0,007$) şeklindedir. Numunelerdeki PCB bileşiklerinin ortalamalara göre dağılımları sırasıyla 194 ($8,50 \pm 2,11$), 170 ($6,11 \pm 6,79$), 52 ($2,64 \pm 3,13$), 18 ($2,35 \pm 2,55$), 180 ($1,39 \pm 2,41$), 138 ($1,09 \pm 1,51$), 44 ($0,478 \pm 0,481$), 101 ($0,387 \pm 0,183$), 20 ($0,363 \pm 0,186$), 28 ($0,329 \pm 0,060$), 118 ($0,321 \pm 0,255$), 105 ($0,267 \pm 0,279$), 149 ($0,232 \pm 0,185$) şeklindedir. PCB 31 ve 153 bileşikleri numunelerin hiçbirinde tayin edilebilir düzeyde değildir.

Çizelge 4.4. Atık yağ ve yağlı atıkların PCB içeriği
(min.-maks.(ort \pm std) mg/kg)

PCB	Atık yenebilir yağlar	Atık motor yağları	Yağlı atıklar	10 Numara Yağlar
18	te*-tsa**	te	te-tsa	te-7,20 (2,35 \pm 2,55)
31	te-tsa	te	te-tsa	te-0,371 (0,329 \pm 0,060)
28	te-tsa	te-tsa	te-tsa	te-0,538 (0,363 \pm 0,186)
20	te-tsa	te-tsa	te-tsa	te-9,18 (2,64 \pm 3,13)
52	tsa	te-tsa	te-tsa	te-0,138 (0,138 \pm 0)
44	tsa	te-0,818 (0,818 \pm 0)	te-0,138 (0,138 \pm 0)	te-0,302 (0,302 \pm 0)
101	te	te-tsa	te-tsa	te-0,685 (0,399 \pm 0,194)
153	te-tsa	te-tsa	te-tsa	te-0,876 (0,489 \pm 0,285)
118	te-tsa	tsa-0,351 (0,160 \pm 0,165)	te-0,315 (0,229 \pm 0,123)	te-0,590 (0,332 \pm 0,191)
149	te	te-tsa	te-0,135 (0,097 \pm 0,033)	te-1,02 (0,380 \pm 0,349)
105	te-tsa	te-0,137 (0,137 \pm 0)	te-0,143 (0,128 \pm 0,010)	te-5,90 (1,37 \pm 1,63)
138	0,174-0,189 (0,182 \pm 0,007)	te-tsa	te-0,194 (0,141 \pm 0,047)	te-6,28 (2,61 \pm 3,18)
180	te-tsa	te-tsa	te-0,246 (0,177 \pm 0,060)	te-22,5 (7,01 \pm 6,86)
170	te-tsa	te-tsa	te-0,268 (0,216 \pm 0,074)	te-11,8 (8,50 \pm 2,11)
194	te	te	te-11,8 (8,50 \pm 2,11)	te-31,6 (5,90 \pm 7,83)
Σ_{15}	0,174-0,189 (0,182 \pm 0,007)	tsa-0,878 (0,359 \pm 0,375)	tsa-12,0 (4,35 \pm 4,51)	te-31,6 (5,90 \pm 7,83)

*te: tespit edilmedi, **tsa: tayin sınırı altı

İncelenen yağ sektörü ürün ve atıklarına ait PCB analiz sonuçları Çizelge 4.5'te uluslararası çalışmalarla birlikte özetlenmiştir. Atık yağlarda PCB içeriği PCB'lerin kullanım alanları gereği en fazla madeni atık yağlarda araştırılmıştır. Bu çalışmada yapılan, atık yağların uzaklaştırmaları esnasında ulaştıkları noktalardaki yağlı atık numunelerine ait PCB içeriği hem ulusal hem de uluslararası platform kapsamında ilk olma özelliğindedir. Benzer şekilde, yenebilir yağ numunelerinde genel olarak gıda ve kozmetik amaçlı kullanılan ürünlerde PCB içeriği incelenmiş atık yenebilir yağlardaki konsantrasyonları araştırılmamıştır. Araştırma kapsamındaki numuneler PCB içeriklerine göre AYKY'nde verilen sınır değerlere göre I. (≤ 10 ppm) ve II. (≤ 50 ppm) kategoride yer almaktadır. Dolayısıyla, ilgili numunelerin tamamı hammadde geri kazanım ve/veya enerji geri kazanımı için uygun niteliktedir. Bu durum, ulusal literatürümüzdeki atık madeni yağlara yönelik yapılan kategori belirleme çalışmaları ile benzerlik göstermektedir. Örneğin, atık yağların kimyasal içeriğine dair 2009 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Petrol Araştırma Laboratuvarında (PAL) yapılan bir diğer çalışmada halojen, PCB ve parlama noktası özelliklerine göre analiz edilen atık madeni yağların %6'sı III. kategori, %14'ü II. kategori ve geriye kalan %80'i I. kategori olarak bulunmuştur (Okandan 2009). Pelitli (2009) tarafından atık motor yağlarının kategorilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada İstanbul ve Kocaeli'nde bulunan çeşitli marka, model, yaş ve kilometrelerdeki binek ve ticari araçlar ile iş makinelerinden alınan toplam 69 numunede parlama noktası, ağır metal (As, Cd, Cr, Pb), toplam halojen, klorür miktarları ve PCB içeriği araştırılmış, genel olarak I. Kategori olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Atık yağların karakterizasyonunu konu alan diğer çalışmalarda ise ağır metal, halojenler, fenoller, PCB'ler ve PAH'lar gibi çevre ve insan sağlığı için önem arz eden bileşikler yeterince irdelenmemiştir. Ticari olarak üretimi sonrasında piyasadaki 10NY ürünlerinin insan sağlığı için ne derece tehlikeli olduğu PETDER tarafından yapılan araştırma ile ortaya konulmuştur (PETDER 2012-a). 2012 yılında yapılan çalışmada piyasada işlem gören ve 10NY kullanan araçların deposundan alınan 10NY numuneleri bazı özellikleri açısından incelenmiştir (TPIA 2012). Toplamda on adet numunede yapılan parlama noktası, yoğunluk, kükürt, viskozite ve kaynama noktası analiz sonuçlarına göre standart motorine kıyasla değişkenlik gösterdiği tespit edilmiş, analiz edilen parametrelerdeki göreceli farklılıklar, 10NY adı altında satılan ürünün içerisinde madeni yağ, solvent veya atık yağ gibi maddelerin olma ihtimalini güçlendirmiştir (TPIA 2012). İnceltici olarak yanıcı kimyasalların kullanıldığı karışımli akaryakıt ürünü 10NY kullandığı bilinen kamyon, otobüs gibi taşıtların motorlarında aşınma, ısınma ve alevlenme problemlerinin meydana gelmesiyle araçların hareket halindeyken yanmasına ve insan hayatı için tehlike oluşturup can ve mal kayıplarına neden olmaktadır.

Metal bileşiklerinin miktar ve dağılımlarının kirletici kaynağına bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Özellikle, endüstriyel kirletici gruplarından kaynaklanan numunelerdeki metal içeriği ($46,1 \pm 32,1$ $\mu\text{g/g}$) kentsel kaynaklı ($9,46 \pm 9,48$ $\mu\text{g/g}$) olanlara kıyasla yaklaşık 5 kat fazla ölçülmüştür. Bu durum, endüstriyel ortamlarda kullanılan metal içeriği yüksek makine ve ekipmanlardaki kirleticilerin sürtünme, bozunma, aşınma ve benzeri sebeplerle yağ atıklarına bulaşmasıyla açıklanabilmektedir. Öte yandan, kentsel yağlı atıklarda bulunan yağların büyük çoğunluğu kullanım ömrünü tamamlamış yenebilir yağlardan kaynaklanmaktadır. Ancak, atık yenebilir yağlardaki kirletici yükü $6,22 \pm 3,29$ $\mu\text{g/g}$ olmasına rağmen kentsel yağlı atıklarda diğer atık grupları ile karışık haldeyken arttığı açıktır.

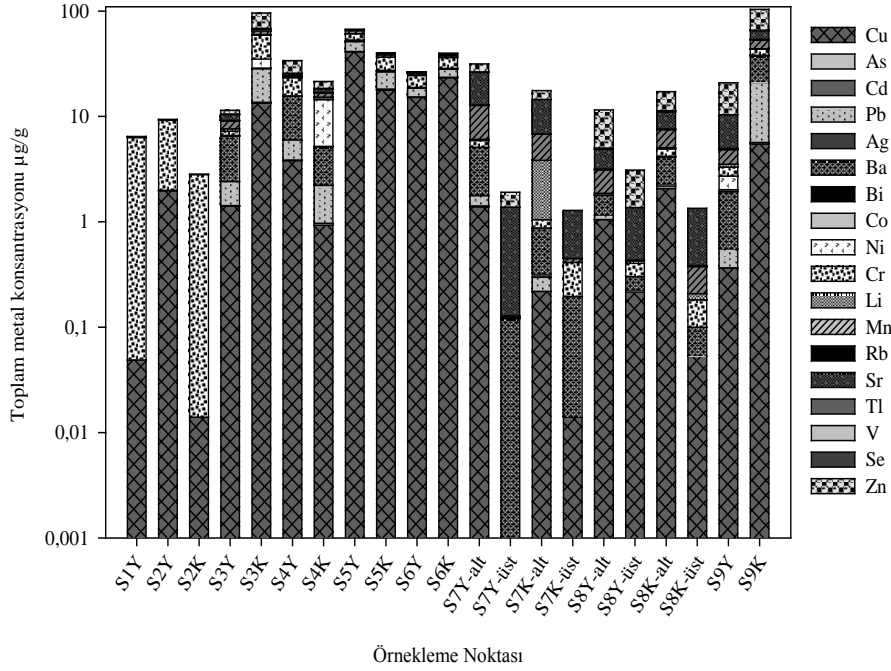
Çizelge 4.5. Çeşitli atık yağlardaki PCB konsantrasyonları

Örnek ⁿ *	Yer	Σ _{PCB}	min. maks. (ort±std) ng/g	Kaynak
Limon yağı ¹¹⁵		Σ ₁₂	0,005-0,226 (0,218±0,693)	(Cautela vd. 2007)
Mandalina yağı ¹¹⁵	İtalya	Σ ₁₂	0,00012-0,760 (0,410±0,242)	(Cautela vd. 2007)
Portakal yağı ¹¹²		Σ ₁₂	<0,00001-0,879 (0,387±0,279)	(Cautela vd. 2007)
Bergamot yağı ¹¹²		Σ ₁₂	<0,00001-0,599 (0,249±0,152)	(Cautela vd. 2007)
Yenebilir yağ ⁴⁷	Birleşik Krallık	Σ ₇	4,73-44,4	(Adenugba vd. 2008)
Atık yağ	Japonya	Σ ₁₀	3,2-0,022	(Honda vd. 2009)
Biyodizel (atık yağ)	Tayvan		103-286 (145) pg/m ³	(Chang vd. 2014)
Transformatör yağı	Güney Kore	Aroclor 1242, 1248, 1254, 1260	0,003-0,048 (0,019±0,019)	(Shin ve Kim 2006)
		Σ ₇ , Aroclor 1242, 1254,		(Lulek 1998)
Motor yağı	Polonya	1260, Clophen A60	2880-53420	
		Σ ₇ , Aroclor 1242, 1254,		(Lulek 1998)
Transformatör yağı	Polonya	1260, Clophen A60	2330-30670	
Transformatör yağı	Gana		<50000	(Buah-Kwofie vd. 2011)
Atık yağ (madeni)		Σ ₆	2,71±1,28	(Lulek 1998)
Atık yağ (madeni)		Σ ₆	6,68±2,41	(Lulek 1998)
Domuz yağı	Belçika	Σ ₇	<30-5000	(Covaci ve Grob 2002)
Tavuk yağı		Σ ₇	200-4800	(Covaci ve Grob 2002)
Yenebilir yağlar	Birleşik Krallık	Σ ₇	4,73-44,4	(Adenugba vd. 2008)
Bitkisel yağlar	Polonya	Σ ₁₈	0,127-24,882	(Roszko vd. 2012)
Bitkisel atık yağlar	Türkiye	Σ ₁₅	0,174-0,184 (0,179±0,007)	Bu çalışma
Hayvansal atık yağ	Türkiye	Σ ₁₅	0,189	Bu çalışma
Atık motor yağları	Türkiye	Σ ₁₅	t _{sa} -0,878 (0,359±0,375)	Bu çalışma
Yağlı atık 10 numara yağlar	Türkiye	Σ ₁₅	t _{sa} -12,0 (4,35±4,51)	Bu çalışma
	Türkiye	Σ ₁₅	t _{sa} -31,6 (5,90±7,83)	Bu çalışma

* n: örnek sayısı

Çalışma kapsamında araştırılan metal kirletici yüklerine göre atık yağ ve yağlı atık grupları sırasıyla atık motor yağları (43,4±17,0 µg/g)> yağlı atıklar (26,6±32,8 µg/g)> atık yenebilir yağlar (6,22±3,29 µg/g) şeklindedir. Numunelerde en fazla Zn (9,21±11,6) az Bi (0,057±0,038 µg/g) elementleri tespit edilirken Tl elementine örneklerin herhangi birinde rastlanmamıştır. Atık yağ numunelerindeki element dağılımının ve konsantrasyonlarının farklılık göstermesi atık yağların belli bir standarda sahip olmadığını hammaddesi, kullanım yeri ve temin edildiği ortamlara göre değiştiğini göstermektedir. Atık yağların sınıflandırılmasında kullanılan elementlere ait konsantrasyonlar sırasıyla Cr (4,64±5,82 µg/g)> Pb (4,10±5,42 µg/g)> Cd (0,146±0,068 µg/g)> As (0,077±0,071 µg/g) şeklinde değişirken tamamı AYKY'de verilen limitlerin

altında yer almaktadır. Bu nedenle, söz konusu yağlar metal içerikleri bakımından birinci kategoride yer almaktadır.



Şekil 4.4. Metal analizi sonuçları

Ulusal baz yağ standardına göre (TS 13369), numunelerde ölçülen klor seviyeleri standartta yayınlanan $<50 \mu\text{g/g}$ değerini aşmaktadır. Ayrıca, örneklerde görülen Cl konsantrasyonları önceki çalışmalarla kıyaslanabilir düzeydedir (Çizelge 4.6) (Concawe 1996, Vazquez-Duhalt 1989). Öte yandan, AYKY’de yer alan I., II. ve III. sınıf atık yağlar için sırasıyla <200 , <2000 ve >2000 ppm değerleri limit olarak yer almaktadır. Buna bağlı olarak, klor içeren 10 numara yağ örnekleri halojenler ile kirlenmiş kabul edilmeli (II. kategori atık yağ olarak sınıflandırılabilir) ve bu yağlar, motorine eşdeğer olarak kullanılmak yerine lisanslı tesislerde ek yakıt olarak yakılmalıdır. Wikstrom vd. (1996) tarafından belirtilene göre yakıt içerisindeki klor seviyesi %1’i aştığı zaman PCDDs/Fs ve PCB oluşum oranı artış göstermektedir. Dolayısıyla, güvenli ve kontrollü yakma seçenekleri dışında, 10 numara yağların dizel motorlarda yakılması sonucu oluşabilecek kirlenici formları net değildir ve detaylı araştırmaya ihtiyaç duyulan bir konudur.

Çizelge 4.6. Yağ sektörü ürün ve atıklarındaki toplam halojen içeriği (ppm)

Numune türü	ΣCl	Kaynak
Kullanılmış motor yağı	300-3500	(Concawe 1996, Vazquez-Duhalt 1989)
Transformatör yağı	71,3-267	(Buah-Kwofie vd. 2011)
10 numara yağ	200-825 (363±215)	(Gedik ve Yurdakul 2014)
Atık motor yağı	350-700 (525±247)	Bu çalışma
Atık yenilebilir yağ	500-1050 (783±275)	Bu çalışma
Yağlı atıklar	200-2300 (727±584)	Bu çalışma

Çizelge 4.7. Yağ sektörü ürün ve atıklarındaki metal içerikleri
(ppm)

Yağ Türü	Yer	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Sr	V	Zn	Kaynak
Kolza yağı		0,006			0,013			0,032		0,888	1,908	0,075		0,011			0,070	
Yenebilir yağ karışımı		0,002			0,010			0,017		0,078	0,202	0,008		0,005			0,104	
Soya fasülyesi yağı		0,001			0,001			0,018		0,019	0,018	0,015		0,006			0,048	
Ayçiçeği yağı		0,001			0,006			0,016		0,060	0,016	0,007		0,003			0,027	
Mısır yağı	Çin	0,004			0,003			0,011		0,073	0,025	0,024		0,002			0,066	(He vd. 2014)
Yerfıstığı yağı		0,003			0,116			0,019		1,221	6,336	0,243		0,004			0,141	
Pirinç kepeği yağı		0,003			0,004			0,017		0,083	0,020	0,001		0,001			0,054	
Kamelya yağı		0,008			0,059			0,016		0,328	2,240	0,826		0,010			0,064	
Kanola yağı		0,006			0,035			0,017		0,177	0,862	0,369		0,016			0,037	
Limona yağı		7,2	5064	7	36	1,96	42,3	182	1044	2337		190	194	5,9			665	
Mandalina yağı	İtalya	0,3	1,4	5,2	24	0,59	3,1	2,2	2,1	98,6		13,8	181	12,2			143	(Cautela vd. 2007)
Portakal yağı		7,3	825	3,1	20	0,62	89,1	21	1371	1433		309	294	23,2			882	
Bergamot yağı		4,1	956	4,3	104	4,42	5,3	14,1	29,3	269		88,2	17,2	46,1			418	
Doğal zeytin yağı				4,10		7,10	4,30	7,30	13,1			15,5	4,30	86,6				(Bakkali vd. 2012)
Prina (zeytin atığı) yağı	Fas			7,20		3,60	14,7	2,00	55,2			11,2	10,1	32,0				
Parafinik yağ	Azerbaycan	<2,4					<4,39	<6,23	<3,19	<176	95,8	79,9	87,8	<2,90		-	39,9	(Samedova vd. 2009)
10 Numara Yağ	Türkiye	0,014	0,000	0,092	0,290	0,066	0,050	0,073	0,210			0,182	0,029	0,045	0,249		27,6	(Gedik ve Yurdakul 2014)
Atık motor yağı		0,070		0,055	0,688	0,146	0,029	7,59	24,4			2,08		6,54	1,52	0,065		
Atık yenebilir yağ	Türkiye			0,023				5,43	0,678			0,053			0,037			
Yağlı atık		0,015		0,097	3,185		0,114	3,46	2,34			2,51	4,06	3,21	3,86	0,243	9,21	Bu çalışma

Yağ sektörü ürün ve atıkları olarak nitelendirilen ve çalışma kapsamında PCB, metal ve halojen karakterizasyonları yapılarak belirlenen kirletici parametreleri Çizelge 4.8’de özetlenmiştir. Öte yandan, yağların sertleşebilmelerinin karşılaştırılması için çift bağlara hidrojen ve halojen katılabilir. Bu nedenle, toplam halojen düzeyinin atık motor yağlarına kıyasla atık yenabilir yağlarda daha yüksek çıkması bitkisel ve hayvansal yağları doymun hale getirmek için yapılan halojenasyon işlemi ile açıklanabilir. Çünkü, halojenasyon işlemi ile yağlardaki doymamış bağlar Cl, Br, I gibi halojenlerin eklenmesiyle istenen doymunluk sağlanmaktadır.

Çizelge 4.8. Kirletici parametrelerin birbirleri ile ilişkisi

	Σ PCB	Σ Metal	Σ Klor
Atık yenabilir yağ	0,174 - 0,189 (0,182±0,007)	2,83-9,39 (6,22±3,29)	500-1050 (783±275)
Atık motor yağı	t _{sa} - 0,878 (0,359±0,275)	26,5-67,1 (43,4±17,0)	350-700 (525±247)
Yağlı atık 10 NY	t _{sa} -12,0 (435±4,51) t _{sa} -31,6 (5,90±7,32)	1,29-104 (26,6±32,8) -	<200-2300 (727±584) -

Yakıt olarak 10 Numara Yağ kullanan taşıtlardan salınan partiküllerin metal ve halojene doymun bir şekilde atmosfere ulaşacağı ve halk sağlığını olumsuz yönde etkileyeceği kaçınılmaz bir gerçektir. Ekonomik ve çevresel açıdan endişeye neden olan bu problem diğer ülkelerde de karşılaşılabileceğinden düzenli olarak denetimi öncelik arz etmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, çeşitli tip ve özellikteki yağ sektörü ürün ve atıklarında PCB, metal ve toplam halojen içeriklerinin belirlenmesi, dağılımı, muhtemel kaynakları ve çevresel akıbetlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Örneklem evrenine bağlı olarak, çalışma sonucunda;

- ✓ Numunelerdeki \sum_{15} PCB tespit limiti-31,6 (4,71±6,67) mg/kg aralığındadır.
- ✓ Bazı spesifik PCB'ler, PCB 194 (8,50±2,11 mg/kg), PCB 170 (6,11±6,79 mg/kg), PCB 52 (2,64±3,13), PCB 18 (2,35±2,55) en yüksek içeriği teşkil etmektedir.
- ✓ Yüksek klorlu PCB bileşikleri daha çok endüstriyel faaliyetlerin dahil olduğu ortamlardan alınan numunelerde tespit edilmiştir. Bu durum, endüstriyel olarak kullanılan yağların PCB içeren ortamlarla karşılaşabildiğini göstermektedir.
- ✓ Atık yağ ve yağlı atık örneklerindeki \sum_{21} metal ve toplam halojen konsantrasyonları sırası ile 1,29-104 µg/g ve tespit limiti-2300 µg/g aralığında ölçülmüştür.
- ✓ Yürürlükte olan AYKY'ne göre atık yağların sınıflandırmasında kullanılan metal (Σ metal sınır değeri: 110 µg/g) ve klor (Σ Cl/Halojen sınır değerleri: 200-2000 µg/g) konsantrasyonları dikkate alındığında araştırılan örneklerin bir kısmının enerji geri kazanımı için uygun olmadığı görülmüştür.
- ✓ Söz konusu ortamlarda, doğrudan kirletici içeren sıvılarla karıştırıldığına dair herhangi bir bulgu olmamasına rağmen kontamine olduğu açıktır.
- ✓ Kullanımı uzun yıllar önce yasaklanan PCB bileşiklerine günümüzde hala rastlandığı görülmüştür.
- ✓ Çeşitli örnek türlerinin incelenmesiyle atık yağ ve yağlı atıkların yönetimine dair bir çok mevzuatın olduğu ancak bunlar arasındaki boşlukların uygun olmayan farklı bertaraf yöntemlerine sebebiyet verdiği gözlenmiştir.
- ✓ Yağ sektörünü ürün ve atıklarının içeriği ve kaynaklarına dair detaylı denetimlerin yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Araştırma sonucunda, daha çok endüstriyel faaliyetlerin dahil olduğu ortamlardan alınan numunelerde yüksek klorlu PCB bileşikleri tespit edilmiştir. Bu durum, endüstriyel olarak kullanılan yağların PCB içeren ortamlarla karışabildiğini göstermektedir. Söz konusu ortamlarda, doğrudan PCB içeren sıvılarla karıştırıldığına dair herhangi bir bulgu olmamasına rağmen kontamine olduğu açıktır. İlave, bitkisel ve hayvansal kökenli atık yağlarda tespit edilen düşük klorlu PCB'lerin kullanılmamış formlarında dahi bulunabilmesine ek olarak uzun mesafe taşınımları da dikkate alındığında çevresel ortamlardan kaynaklanabileceği sonucuna ulaşılmaktadır. Öte yandan, ülkemiz genelinde, içeriği tam olarak bilinmeyen 10 numara yağlara benzer şekilde atık yenebilir yağ karışımları da eklenerek akaryakıt olarak kullanılmaktadır. Yasal olmayan söz konusu faaliyet devam ederken atık yağ ve yağlı atıkların bileşen analizleri yapılmalı, atık yağ yönetimine dair uygulanabilir düzenlemeler yapılarak çevre ve halk sağlığı üzerine olumsuz etkileri önlenmelidir. Sonuç olarak, sorunun boyutu, çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri, geri kazanım ve bertaraf edilme yöntemlerinin detaylı olarak araştırılması ve uygulamaları esnasında eş zamanlı kirletici emisyon örnekleme yapılarak ya da uygulama ortamlarında uzun dönem çevresel incelemeler yapılarak net olarak ortaya çıkarılabilecektir.

6. KAYNAKLAR

- ADENUGBA, A.A., HEADLEY, J., MCMARTIN, D. and BECK, A.J. 2008. Comparison of levels of polychlorinated biphenyls in edible oils and oil-based products--possible link to environmental factors. *J Environ Sci Health B*, 43 (5): 422-8.
- AKKAPILI, Y. 2012. Madeni Yağ Ansiklopedisi. Solver Kimya, Adana.
- ALPTEKİN, E. ve ÇANAKÇI, M. 2011. Hayvansal Kökenli Yağlardan Biyodizel Üretimi. VI Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Kayseri.
- ALTUN, Ş. ve ÖNER, C. 2010. Hayvansal yağların dizel motor yakıtı olarak değerlendirilmesi. *Electronic Journal of Vehicle Technologies (EJVT)*, 2 (3): 1-11.
- AOKI, Y. 2001. Polychlorinated biphenyls, polychlorinated dibenzo-p-dioxins, and polychlorinated dibenzofurans as endocrine disrupters - What we have learned from Yusho disease. *Environmental Research*, 86 (1): 2-11.
- ATSDR. 1995. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. U.S. Department of Health and Human Services-Public Health Service: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, USA.
- ATSDR. 1997. Toxicological Profile for Used Mineral-Based Crankcase Oil. U.S. Department of Health and Human Services-Public Health Service: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, USA.
- BAARS, A., BAKKER, M., BAUMANN, R., BOON, P., FREIJER, J., HOOGENBOOM, L., HOOGERBRUGGE, R., VAN KLAVEREN, J., LIEM, A. and TRAAG, W. 2004. Dioxins, dioxin-like PCBs and non-dioxin-like PCBs in foodstuffs: occurrence and dietary intake in The Netherlands. *Toxicology letters*, 151 (1): 51-61.
- BAKKALI, K., MARTOS, N.R., SOUHAIL, B. and BALLESTEROS, E. 2012. Determination of heavy metal content in vegetables and oils from Spain and Morocco by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analytical Letters*, 45 (8): 907-919.
- BASU, B., SINGH, M., KAPUR, G., ALI, N., SASTRY, M., JAIN, S., SRIVASTAVA, S. and BHATNAGAR, A. 1998. Prediction of biodegradability of mineral base oils from chemical composition using artificial neural networks. *Tribology international*, 31 (4): 159-168.
- BEER, T. 2000. Life-Cycle Emissions Analysis of Alternative Fuels for Heavy Vehicles: Stage 1. Australian Greenhouse Office.
- BIRNBAUM, L.S. 1994. The mechanism of dioxin toxicity: relationship to risk assessment. *Environmental health perspectives*, 102 (Suppl 9): 157.

- BREIVIK, K., SWEETMAN, A., PACYNA, J.M. and JONES, K.C. 2002. Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners—a mass balance approach: 1. Global production and consumption. *Science of the Total Environment*, 290 (1): 181-198.
- BROKER, G. and GLIWA, H. 1986. Dioxin and furan emissions from used-oil combustion. *Staub Reinhaltung Der Luft*, 46 (10): 435-436.
- BSYD. 2014. Bitkisel Yağ Sanayicileri Derneği Türkiye İstatistikleri. <http://www.bysd.org.tr/Istatistikler.aspx>. [Son erişim tarihi: 12.12.2014]
- BUAH-KWOFIE, A., YEBOAH, P.O. and PWAMANG, J. 2011. Determination of levels of polychlorinated biphenyl in transformers oil from some selected transformers in parts of the Greater Accra Region of Ghana. *Chemosphere*, 82 (1): 103-6.
- CATERPILLAR. 1996. Blending used crankcase oil with diesel fuel for use in Caterpillar heavy duty diesel engines.
- CAUTELA, D., CASTALDO, D., SANTELLI, F., LARATTA, B., PIRRELLO, A.G., MALORNI, A. and BOSCAINO, F. 2007. Survey of Polychlorinated Dibenzop-dioxins (PCDDs), Polychlorinated Dibenzop-furans (PCDFs), Polychlorinated Biphenyls (PCBs), and Mineral Components in Italian Citrus Cold-Pressed Essential Oils. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55 (4): 1627-1637.
- CHANG, Y.C., LEE, W.J., WANG, L.C., YANG, H.H., CHENG, M.T., LU, J.H., TSAI, Y.I. and YOUNG, L.H. 2014. Effects of waste cooking oil-based biodiesel on the toxic organic pollutant emissions from a diesel engine. *Applied Energy*, 113 631-638.
- CHEN, D.Z., LIU, W.J., LIU, X.D., WESTGATE, J.N. and WANIA, F. 2008. Cold-trapping of persistent organic pollutants in the mountain soils of Western Sichuan, China. *Environmental Science & Technology*, 42 (24): 9086-9091.
- CHEUNG, K., NTZIACHRISTOS, L., TZAMKIOZIS, T., SCHAUER, J., SAMARAS, Z., MOORE, K. and SIOUTAS, C. 2010. Emissions of particulate trace elements, metals and organic species from gasoline, diesel, and biodiesel passenger vehicles and their relation to oxidative potential. *Aerosol Science and Technology*, 44 (7): 500-513.
- CONCAWE. 1996. Collection and Disposal of Used Lubricating Oil.
- COVACI, A. and GROB, K. 2002. Mineral oil and PCB/dioxin analysis in some European food contamination episodes. *European Food Research and Technology*, 215 (1): 51-54.
- ÇANAKÇI, M. ve AKINCI, İ. 2007. Antalya ili seralarında kullanılan havalandırma ve ısıtma sistemleri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20 (2): 241-252.
- ÇANAKÇI, M. 2008. Kullanılmış Kızartmalık Yağlarla İlgili Dünyadaki Uygulamalar.

- ÇENGELCİ, E., BAYRAKÇEKEN, H. ve AKSOY, F. 2011. Hayvansal ve Bitkisel Yağlardan Elde Edilen Biyodizelin Dizel Yakıtı ile Karşılaştırılması. *Electronic Journal of Vehicle Technologies (EJVT)*, 3 (1): 41-53.
- ÇOB. 2008. Atık Yönetimi Eylem Planı: 2008-2012.
- ÇOB. 2010. Bitkisel Atık Yağların Yönetimi.
- ÇOB. 2010. PCB Özel İhtisas Komisyonu Raporu.
- ÇŞB. 2014. İzin Lisans.
<http://izinlisans.cevre.gov.tr/Sorgular/YazilimNetIzinLisansSorgula.aspx>. [Son erişim tarihi: 29.05.2015]
- DALTON, T.P., KERZEE, J.K., WANG, B., MILLER, M., DIETER, M.Z., LORENZ, J.N., SHERTZER, H.G., NEBERT, D.W. and PUGA, P.A. 2001. Dioxin exposure is an environmental risk factor for ischemic heart disease. *Cardiovascular toxicology*, 1 (4): 285-298.
- DELISTRATY, D. and STONE, A. 2007. Dioxins, metals, and fish toxicity in ash residue from space heaters burning used motor oil. *Chemosphere*, 68 (5): 907-914.
- DEVOOGT, P. 1991. The determination of polychlorinated-biphenyls in waste mineral oils-A Review. *Chemosphere*, 23 (7): 901-914.
- DOMENO, C. and NERIN, C. 2003. Fate of polyaromatic hydrocarbons in the pyrolysis of industrial waste oils. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 67 (2): 237-246.
- DONG, L., SHU, G., LIANG, X., WANG, Y. and LIU, L. 2012. Effect of lubricating oil additives on particle size distribution and total number concentration in diesel engine. *Lubrication Science*, 24 (7): 325-338.
- DÖNMEZ, M.K. 2006. Kalıcı Organik Kirleticiler ve Stockholm POPs Sözleşmesi. Küresel Çevre Fonu (GEF)-Ulusal Diyalog Çalıştayı, 26-27 Haziran 2006.
- EPA. 2014. Other Organics.
http://www.epa.gov/risk_assessment/expobox/chemicalclass/other-overview.htm. [Son erişim tarihi: 25.11.2014]
- EPA. 2014-b. Waste Oil Combustion.
<http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch01/final/c01s11.pdf>. [Son erişim tarihi: 12.12.2014]
- EPDK. 2013. Petrol piyasası sektör raporu 2013.
- ERICKSON, M.D. ve KALEY II, R.G. 2011. Applications of polychlorinated biphenyls. *Environmental Science and Pollution Research*, 18 (2): 135-151.

- ERYILMAZ, T., HÜSEYİN, Ö., HİDAYET, O. and BACAĞ, S. 2010. Investigation of the Performance and Emission Values of Non-Standard Fuels at Diesel Engines. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 6 (1).
- FONTCUBERTA, M., ARQUÉS, J., VILLALBI, J., MARTINEZ, M., CENTRICH, F., SERRAHIMA, E., PINEDA, L., DURAN, J. and CASAS, C. 2008. Chlorinated organic pesticides in marketed food: Barcelona, 2001–06. *Science of the total environment*, 389 (1): 52-57.
- FRAME, G.M., WAGNER, R.E., CARNAHAN, J.C., BROWN, J.F., MAY, R.J., SMULLEN, L.A. and BEDARD, D.L. 1996. Comprehensive, quantitative, congener-specific analyses of eight aroclors and complete PCB congener assignments on DB-1 capillary GC columns. *Chemosphere*, 33 (4): 603-623.
- GEDİK, K. and İMAMOĞLU, İ. 2010. An assessment of the spatial distribution of polychlorinated biphenyl contamination in Turkey. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 38 (2): 117-128.
- GEDİK, K. and YURDAKUL, M. 2014. Assessment of chemical content of base oil blends used as alternative diesel fuel for environmental safety. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 30 86-94.
- GEDİK, K. and UZUN, Y. 2015. Characterization of the properties of diesel-base oil-solvent-waste oil blends used as generic fuel in diesel engines. *Fuel Processing Technology*, 139 135-141.
- GONZÁLVEZ, A., GHANJAOUİ, M., EL RHAZI, M. and DE LA GUARDIA, M. 2010. Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy determination of trace element composition of argan oil. *Food Science and Technology International*, 16 (1): 65-71.
- GRABOSKI, M.S. and MCCORMICK, R.L. 1998. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. *Progress in energy and combustion science*, 24 (2): 125-164.
- GUI, M. M., LEE, K.T. and BHATIA, S. 2008. Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock. *Energy*, 33 (11): 1646-1653.
- GÜLYURTLU, I., LOPES, H. and CABRITA, I. 1996. The determination of emissions of pollutants from burning waste oils. *Fuel*, 75 (8): 940-944.
- HALL, R.E., COOKE, W.M. and BARBOUR, R.L. 1983. Comparison of air pollutant emissions from vaporizing and air atomizing waste oil heaters. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 33 (7): 683-687.
- HAUS, F., GERMAN, J. and JUNTER, G.A. 2001. Primary biodegradability of mineral base oils in relation to their chemical and physical characteristics. *Chemosphere*, 45 (6): 983-990.

- HE, Y.M., CHEN, J.J., ZHOU, Y., WANG, X.J. and LIU, X.Y. 2014. Extraction induced by emulsion breaking for trace multi-element determination in edible vegetable oils by ICP-MS. *Analytical Methods*, 6 (14): 5105-5111.
- HONDA, T., WADA, M. and NAKASHIMA, K. 2009. PCBs and PCDD/Fs in waste oil illegally dumped and neglected for more than 20 years. *Journal of Environmental Science and Health Part a-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 44 (7): 654-660.
- KAMAL, A., NAQVI, S. and KHAN, F. 2009. Production of low metal content re-refined lubricating oil. *Petroleum Science and Technology*, 27 (16): 1810-1820.
- KAMPA, M. and CASTANAS, E. 2008. Human health effects of air pollution. *Environmental pollution*, 151 (2): 362-367.
- KAPLAN, O., YILDIRIM, N.C., YILDIRIM, N. and CIMEN, M. 2011. Toxic Elements in Animal Products and Environmental Health. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 6 (3): 228-232.
- KENNEDY, J., DELANEY, L., MCGLOIN, A. and WALL, P.G. 2009. Public perceptions of the dioxin crisis in Irish Pork.
- KIMBROUGH, R.D., CARTER, C.D., LIDDLE, J.A., CLINE, R.E. and PHILLIPS, P.E. 1977. Epidemiology and pathology of a tetrachlorodibenzodioxin poisoning episode. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 32 (2): 77-86.
- KÖROĞLU, H.J. 2011. Atık madeni yağların kontrol ve izleme sisteminin oluşturulması.
- KTB. 2015. Yabancı Ziyaretçi Sayıları ve Milliyet Dağılımı (2010-2013 Yılları Kümülatif) <http://www.antalyakulturturizm.gov.tr/TR,67130/yabanci-ziyaretci-sayilari-ve-milliyet-dagilimi-2010-20-.html> [Son erişim tarihi: 07.05.2015].
- KULKARNI, M.G. and DALAI, A.K. 2006. Waste cooking oil-an economical source for biodiesel: A review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45 (9): 2901-2913.
- KUNITA, N., KASHIMOTO, T., MIYATA, H., FUKUSHIMA, S., HORI, S. and OBANA, H. 1984. Causal agents of Yusho. *American journal of industrial medicine*, 5 (1-2): 45-58.
- LAM, M.K., LEE, M.T. and MOHAMED, A.R. 2010. Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: A review. *Biotechnology Advances*, 28 (4): 500-518.
- LEMIEUX, P.M., LUTES, C.C. and SANTOIANI, D.A. 2004. Emissions of organic air toxics from open burning: a comprehensive review. *Progress in energy and combustion science*, 30 (1): 1-32.
- LLORENT-MARTÍNEZ, E., ORTEGA-BARRALES, P., FERNÁNDEZ-DE CÓRDOVA, M., DOMÍNGUEZ-VIDAL, A. and RUIZ-MEDINA, A. 2011.

- Investigation by ICP-MS of trace element levels in vegetable edible oils produced in Spain. *Food chemistry*, 127 (3): 1257-1262.
- LULEK, J. 1998. Levels of polychlorinated biphenyls in some waste motor and transformer oils from Poland. *Chemosphere*, 37 (9-12): 2021-2030.
- MAHANEY, P.A. 1994. Effects of fresh-water petroleum contamination on amphibian hatching and metamorphosis. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 13 (2): 259-265.
- MANG, T. and DRESEL, W. 2007. Lubricants and lubrication. John Wiley & Sons.
- MAPESAD. 2008. Türkiye'de Madeni Yağ Sektöründe 10 Numara Yağ Sorunu ile İlgili Rapor.
- MASUDA, Y. 1996. Approach to risk assessment of chlorinated dioxins from Yusho PCB poisoning. *Chemosphere*, 32 (3): 583-594.
- MMO. 2005. Kazan ve Brülörlerde Optimum Yanma Ayarı Baca Gazı & Yanma Verimliliği Analizörleri. <http://www.arsiv.mmo.org.tr/pdf/12012.pdf>. [Son erişim tarihi: 12.12.2014]
- MÜJDECİ, S. and KALELİ, H. 2010. Engine oil additives, their properties and interactions. *Sigma*, 28 138-149.
- NEED. 2014. Graphics. http://needmedia.smugmug.com/Graphics/Graphics/17024036_Bdmf8C/1289372890_x2rkPxg#!i=1289372890&k=x2rkPxg. [Son erişim tarihi: 15.01.2015]
- NERIN, C., DOMENO, C., DELALAMO, A. and ECHARRI, I. 1996. Fate of metals in the combustion of industrial waste oils. *Analyst*, 121 (11): 1731-1736.
- NERIN, C., DOMENO, C., ECHARI, I. and TORNES, A. R. 1996. Determination of PCBs in some mineral waste oils. *Toxicology and Environmental Chemistry*, 56 1-10.
- NERIN, C., DOMENO, C., MOLINER, R., LAZARO, M., SUELVES, I. and VALDERRAMA, J. 2000. Behaviour of different industrial waste oils in a pyrolysis process: metals distribution and valuable products. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 55 (2): 171-183.
- NIXON, H. and SAPHORES, J.D. 2002. Used oil policies to protect the environment: An overview of Canadian experiences.
- NJUE, W., KINYUA, A.M. and THINGURI, M.T. 1999. Determination of heavy metals and sulphur in waste engine oils. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 13(2) 99-104.
- OANH, N.T.K., POLPRASERT, C., KITTIPONGVISES, S., KARTENSEN, K.H., DAN, N. P., NGHIEM, L. H. and CHANG-CHIEN, G. P. 2010. Characterization of stack emission from simple incinerator burning PCB contaminated oil.

- OEHHA. 2007. A Review of the Potential Human and Environmental Health Impacts of Synthetic Motor Oil.
- OKANDAN, E. 2009. Dolaşımda olan akaryakıtların teknik özellikleri ve laboratuvar ölçümlerini değerlendirme.
- ONOZUKA, D., YOSHIMURA, T., KANEKO, S. and FURUE, M. 2009. Mortality after exposure to polychlorinated biphenyls and polychlorinated dibenzofurans: a 40-year follow-up study of Yusho patients. *American journal of epidemiology*, 169 (1): 86-95.
- ÖZBEY, A. ve METİN, E. 2010. PETDER Atık Yağların Yönetimi Projesi Sonuçları.
- ÖZBEY, A. ve METİN, E. 2013. Atık Yağların Yönetimi ve Enerji Geri Kazanımı Waste Oil Management and Energy Recovery.
- PELİTLİ, V. 2009. Araçlardan kaynaklanan atık motor yağlarının geri kazanımı ve kategorilerinin belirlenmesi. Yüksek lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- PENNING, C.H. 1930. Physical characteristics and commercial possibilities of chlorinated diphenyl. *Industrial & Engineering Chemistry*, 22 (11): 1180-1182.
- PETDER. 2008. 2008 Yılı Sektör Raporu.
- PETDER. 2009. 2009 Yılı Sektör Raporu.
- PETDER. 2011. Sektör Raporu.
- PETDER. 2011. Madeni Yağlar-Üretim, Kullanım ve Geri Kazanım Yöntemleri. Ekin Yayınevi, Bursa.
- PETDER. 2012-a. Sektör Raporu 2012.
- PETDER. 2012-b. 10 Numara Yağ Sorununa İlişkin Değerlendirmeler ve Çözüm Önerileri.
- PETDER. 2014. Atık Yağların Yönetimi 2013 Yılı Faaliyet Raporu.
- RAUCKYTE, T., HARGREAVES, D.J. and PAWLAK, Z. 2006. Determination of heavy metals and volatile aromatic compounds in used engine oils and sludges. *Fuel*, 85 (4): 481-485.
- RESMÎ GAZETE 25682. 2004. Gemilerden Atık Alınması ve Atıkların Kontrolü Yönetmeliği.
- RESMÎ GAZETE 25755. 2005. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği.
- RESMÎ GAZETE 25791. 2005. Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği.
- RESMÎ GAZETE 26927. 2008. Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik.
- RESMÎ GAZETE 26952. 2008. Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği.
- RESMÎ GAZETE 27369. 2009. Gümrük Yönetmeliği.

- RESMÎ GAZETE 27721. 2010. Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik.
- RESMÎ GAZETE 29036. 2014. Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği.
- ROSZKO, M., SZTERK, A., SZYMCZYK, K. and WASZKIEWICZ-ROBAK, B. 2012. PAHs, PCBs, PBDEs and Pesticides in Cold-Pressed Vegetable Oils. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 89 (3): 389-400.
- SAMEDOVA, F.I., GUSEINOVA, B.A., KULIEV, A.D. and ALIEVA, F.Z. 2009. Trace elements in crude oil from some new South Caspian oil fields. *Petroleum Chemistry*, 49 (4): 288-291.
- SATANA, A. 2002. Türkiye ve Trakya'da bitkisel yağ üretimi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (5).
- SCHULZ, D.E., PETRLCK, G. and DULNKER, J.C. 1989. Complete Characterization of Polychlorinated Biphenyl Congeners in Commercial Aroclor and Clophen Mixtures by Multidimensional Gas Chromatography-Electron Capture Detection. *Environmental Science & Technology*, 23 859-863.
- SEATON, A., GODDEN, D., MACNEE, W. and DONALDSON, K. 1995. Particulate air pollution and acute health effects. *The Lancet*, 345 (8943): 176-178.
- SHIN, S.K. and KIM, T.S. 2006. Levels of polychlorinated biphenyls (PCBs) in transformer oils from Korea. *J Hazard Mater*, 137 (3): 1514-22.
- SİVAS İÇDR. 2010. Sivas 2010 Çevre Durum Raporu.
- TANIYASU, S., KANNAN, K., HOLOUBEK, I., ANSORGOVA, A., HORII, Y., HANARI, N., YAMASHITA, N. and ALDOUS, K.M. 2003. Isomer-specific analysis of chlorinated biphenyls, naphthalenes and dibenzofurans in Delor: polychlorinated biphenyl preparations from the former Czechoslovakia. *Environmental Pollution*, 126 (2): 169-178.
- TAŞKIRAN, Y. 1991. Taşıt Yağlarının Genel Özellikleri, Katıklar ve Sınıflandırma. *Madeni Yağlar Sempozyumu, Kimya Mühendisleri Odası, Bursa, 7-25.*
- TÇMB. 2014. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği; Fabrika Listeleri. <http://www.tcma.org.tr/index.php?page=icerikgoster&cntID=99>. [Son erişim tarihi: 4.11.2014]
- THOMANETZ, E. 2012. Solid recovered fuels in the cement industry with special respect to hazardous waste. *Waste Management & Research*, 30 (4): 404-412.
- TOP-TAŞKAYA, B. 2010. Bitkisel atık yağlar. *Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü*, 11 (18).
- TPIA 2012. 10 Numara Yağ Soruna İlişkin Değerlendirmeler ve Çözüm Önerileri (In Turkish).
- TÜİK 2013. Seçilmiş göstergelerle Antalya. *Türkiye İstatistik Kurumu*.

- TÜKÇEV 2013. Bitkisel Atık Yağlar. <http://cevreonline.com/atik2/bitkiseyag.htm>. [Son erişim tarihi: 31.12.2013]
- UDH BAKANLIĞI. 2011. Transportation in Turkey, Country Report.
- UNEP 2014. Listing of POPs in the Stockholm Convention. <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/ListingofPOPs/tabid/2509/Default.aspx>. [Son erişim tarihi: 07.07.2014]
- UNEP 1999. Guidelines for the Identification of PCBs and Materials Containing PCBs. United Nations Environment Programme.
- UYAROĞLU, A., YÜCESU, H.S. ve ÇITAK, R. 2010. Piston arızalarının analizi. *Selçuk Teknik Online Dergisi*, 9 (2): 110-130.
- UZUN, Y. ve GEDİK, K. 2012. Akdeniz Bölgesinde oluşan atık yağların çevresel akıbetinin incelenmesi. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi (UKAY), s.37, 17-20 Ekim 2012, Antalya.
- VAZQUEZ-DUHALT, R. 1989. Environmental impact of used motor oil. *Science of the total environment*, 79 (1): 1-23.
- WALL, P., REILLY, A., HERAGHTY, M., DALTON, T., KEEGAN, J., O'BRIEN, K. and MALONEY, M. 2009. Report of The Inter-Agency Review Group on the Dioxin Contamination Incident in Ireland in December 2008. *Dublin: Department of Agriculture, Food and The Marine*.
- WATANABE, S., LAOVAKUL, W., BOONYATHUMANONDH, R., TABUCANON, M. S. and OHGAKI, S. 1996. Concentrations and composition of PCB congeners in the air around stored used capacitors containing PCB insulator oil in a suburb of Bangkok, Thailand. *Environmental Pollution*, 92 (3): 289-297.
- WIKSTROM, E., LOFVENIUS, G., RAPPE, C. and MARKLUND, S. 1996. Influence of level and form of chlorine on the formation of chlorinated dioxins, dibenzofurans, and benzenes during combustion of an artificial fuel in a laboratory reactor. *Environmental Science & Technology*, 30 (5): 1637-1644.
- WYRZYKOWSKA, B., BOCHENTIN, I., HANARI, N., ORLIKOWSKA, A., FALANDYSZ, J., YUICHI, H. and YAMASHITA, N. 2006. Source determination of highly chlorinated biphenyl isomers in pine needles—comparison to several PCB preparations. *Environmental Pollution*, 143 (1): 46-59.
- YAŞAR, O. 2002. Sanayi coğrafyası açısından bir araştırma: Türkiye'de tarıma dayalı sanayiler. Çantay Kitabevi.
- YAŞAR, O. 2004. TÜRK BİTKİSEL YAĞ SANAYİİ VE SORUNLARI/Turkish Manufacture of Vegetable and Their Problems. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 9 (12).

7. EKLER

Ek 1: Poliklorlu Bifenillerin Ticari İsimleri

Çizelge 7.1. PCB'lerin ticari isimleri

Aceclor	Delor/ Delorene	Nepolin
Adkarel	Diphenyl, chlorinated	No-Flamol/ NoFlamol/ Non-Flamol
ALC	DK	Olex-sf-d
Apirolio/ Apirorio	Ducanol/ Dykanol	Orophene
Arochlor/ Arochlors/ Aroclor/ Aroclors	Educarel	Pheaoclor/ Phenochlor/ Phenoclor
Arubren	EEC – 18	Plastivar
Asbestol	Decachlorodiphenyl	Polychlorinated biphenyl/ Polychlorinated biphenyls/ Polychlorobiphenyl
ASK	Delor/ Delorene	Polychlorinated diphenyl/ Polychlorinated diphenyls/ Polychlorodiphenyl
Askael/ Askarel	Elaol	Prodelec
Auxol	Electrophenyl	Pydraul
Bakola	Elemex	Pyraclor/ Pyroclor
Biphenyl, chlorinated/ Chlorinated biphenyl	Elinol	Pyralene
Chlophen	Eucarel	Pyranol/ Pyronol
Chloretol/ Chlorextol	Fenchlor/ Fenclor/ Fenocloro	Saf - T - Kuhl/ Saf - T - Kohl
Chlorinated diphenyl	Gilotherm	Santosol
Chlorphen	Hydol/ Hyrol/ Hyvol	Santotherm/ Santothern
Chorextol	Inclor	Santovac
Chorinol	Interteen/ Inertenn	Solvol/ Sorol/ Soval/ Sovol/ Sovtol
Clophen/Clophenharz	Kanechlor/ Kanechlor/ Kaneclor/ Kennechlor/ Kenneclor	Terphenychnore
Cloresil	Leromoll	Therminol
Clorinal	Magvar	Therminol
Clorphen	MCS 1489	Turbinol
Decachlorodiphenyl	Montar	

Ek 2: Elementlere Ait Analitik Ölçüm Sonuçları

Çizelge 7.2. Yaz dönemi atık yağ ve yağlı atık numuneleri PCB bileşikleri konsantrasyonu (mg/kg)

PCB	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	6Y	7Y- üst	7Y-alt	8Y- üst	8Y- alt	9Y
18	te	tsa	te	tsa	te	te	tsa	tsa	te	te	te
31	tsa	te	tsa	tsa	te	te	tsa	tsa	tsa	te	te
28	tsa	te	tsa	tsa	te	tsa	tsa	tsa	tsa	te	tsa
20	tsa	te	tsa	te	te	te	tsa	tsa	tsa	te	tsa
52	tsa	tsa	tsa	tsa	te	te	tsa	tsa	tsa	tsa	te
44	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	te	tsa	tsa	tsa	te	0,690
101	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te
153	te	te	te	te	te	tsa	te	te	tsa	tsa	te
118	te	te	te	te	tsa	1,75	0,711	tsa	te	te	1,58
149	te	te	te	te	te	tsa	te	te	0,393	te	0,676
105	te	tsa	tsa	te	tsa	te	0,631	te	0,589	te	te
138	0,943	0,87	0,57	tsa	tsa	te	te	te	te	te	0,972
180	te	te	te	te	te	tsa	te	te	te	te	1,23
170	te	te	te	tsa	te	tsa	tsa	te	tsa	1,34	te
194	te	te	te	tsa	te	te	49,3	49,4	59,0	37,3	te

*te:tespit edilmedi, **tsa: tayin sınırı altında

Çizelge 7.3. Kış dönemi atık yağve yağlı atık numuneleri PCB bileşikleri konsantrasyonu (mg/kg)

PCB	2K	3K	4K	5K	6K	7K-alt	7K- üst	8K-alt	8K- üst	9K
18	te	te	tsa	te	te	te	tsa	tsa	tsa	tsa
31	tsa	te	tsa	te	te	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa
28	tsa	te	tsa	te	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa
20	tsa	te	te	te	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa
52	tsa	te	tsa	tsa	te	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa
44	tsa	tsa	tsa	4,09	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa
101	te	te	te	te	tsa	te	te	te	te	1,51
153	tsa	te	te	te	te	tsa	te	te	te	tsa
118	tsa	te	te	0,301	0,35	te	te	te	te	te
149	te	te	tsa	tsa	tsa	0,392	te	te	te	te
105	te	te	te	te	0,685	te	te	0,631	te	0,714
138	0,921	0,568	tsa	te	tsa	tsa	te	te	te	te
180	tsa	te	te	te	tsa	0,7	te	te	te	0,725
170	tsa	te	te	te	te	te	te	te	0,822	te
194	te	te	te	te	te	31,7	26,5	45,9	40,8	te

* tsa: tayin sınırı altında, **te:tespit edilmedi

Çizelge 7.4. 10 numara yağ numuneleri PCB bileşikleri konsantrasyonu-1
(mg/kg)

PCB	10-1	10-2	11	12	13-1	13-2	14-1	14-2	15	16
18	te	te	te	te	te	te	te	te	te	10,7
31	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te
28	te	te	te	1,86	te	te	te	te	1,43	te
20	te	te	te	2,69	te	te	te	te	1,92	te
52	te	tsta	te	te	3,41	tsta	45,9	te	tsta	te
44	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te
101	te	te	te	te	te	te	te	te	2,07	te
153	tsta	te	te	te	te	tsta	te	te	te	te
118	1,09	te	te	te	te	te	tsta	te	te	te
149	te	te	te	te	te	2,95	te	0,792	te	te
105	0,891	te	te	5,09	te	0,84	te	te	te	te
138	2,07	2,82	1,41	19,4	8,58	6,45	te	18,9	tsta	1,41
180	3,66	31,4	te	te	te	te	te	te	te	te
170	1,45	63,3	te	te	74,5	te	4,99	te	42,7	te
194	te	te	te	te	te	te	tsta	te	te	te

* tsta: tayin sınırı altında, **te:tespit edilmedi

Çizelge 7.5. 10 numara yağ numuneleri PCB bileşikleri konsantrasyonu-2
(mg/kg)

PCB	17	18	19-1	19-2	20	21	22	23	24	25
18	te	te	2,15	te	te	11,8	te	9,21	te	te
31	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te
28	te	te	te	te	te	te	tsta	te	te	tsta
20	te	te	te	te	te	te	tsta	te	te	tsta
52	3,18	te	te	14,0	tsta	te	tsta	1,92	3,19	tsta
44	te	tsta	te	te	te	te	te	te	te	te
101	te	te	te	1,99	te	te	1,29	te	3,08	te
153	te	te	te	te	tsta	te	te	te	te	te
118	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te
149	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te
105	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te
138	3,07	te	1,18	te	te	29,5	te	10,1	17,5	te
180	te	te	te	te	te	4,057	te	te	te	te
170	te	1,74	te	te	te	113	48,4	42,8	te	te
194	te	te	te	te	tsta	te	te	te	te	te

* tsta: tayin sınırı altında, **te:tespit edilmedi

Çizelge 7.6. 10 numara yağ numuneleri PCB bileşikleri konsantrasyonu-3
(mg/kg)

PCB	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32	S33	S34	S35
18	te	te	te	te	te	0,510	te	te	36,0	te
31	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te
28	te	te	tsa	te	te	te	te	te	te	te
20	te	te	0,835	te	te	te	te	te	te	te
52	te	tsa	te	8,42	te	tsa	te	8,80	37,8	5,49
44	te	tsa	te	te	te	te	tsa	te	te	te
101	te	1,32	3,43	te	te	0,783	te	te	te	te
153	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te
118	te	1,75	te	2,56	te	te	te	te	4,38	te
149	te	1,78	te	te	te	te	te	te	te	1,12
105	te	te	tsa	1,53	te	0,415	2,65	te	te	te
138	1,38	te	1,68	2,77	0,882	1,50	5,38	1,43	te	te
180	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te
170	te	4,73	te	te	17,9	te	1,72	te	39,3	te
194	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te

* tsa: tayin sınırı altında, **te:tespit edilmedi

Çizelge 7.7. ICP-MS ölçüm sonuçları (µg/L)

Örnek Kodu	Cu	As	Fe	Cd	Pb	Mg	Ag	Ba	Bi	Co	Ni	Cr	Li	Mn	Rb	Sr	Tl	V	Al	Se	Zn
S1Y	1,33		159		0,241	24,8					31,2	52,9		3,29	0,180	0,085				0,306	26,5
S2Y	16,7	0,182	76,8		0,543	26,7		0,344			27,4	61,0		2,55		0,440				0,808	40,5
S2K	1,05		41,2		0,664	13,2					9,55	25,2		1,03						0,188	20,8
S3Y	12,3	0,140	680		8,70			33,3		0,158	37,3	8,31	2,96	13,9	0,604	10,3		1,19			51,0
S3K	108	1,96	3778		120		0,043		0,237	1,87	86,7	197	2,53	40,3	2,49	23,3		7,17			262
S4Y	31,4	0,381	726		17,6			78,1		0,175	34,1	64,4	0,698	9,15	0,586	9,71		1,33			109
S4K	8,37	0,320	825		10,8			24,1		0,277	111	8,08	1,32	14,5	0,917	11,5		1,63			68,0
S5Y	331	0,403	1004	1,31	81,3			13,2	0,002	0,248	27,5	65,4	0,609	37,3		12,7		0,843	287	1,15	2,90
S5K	144	0,5290	1107	1,85	67,9		1,09	4,52	0,674	0,283	29,7	76,1	0,316	17,8		13,2		0,462		0,823	2,90
S6Y	123	0,319	351	0,589	26,9			2,35		0,114	19,7	47,9	0,210	8,63		9,21		0,146		0,698	2,90
S6K	188	0,499	512	0,928	36,7		0,027	4,05		0,282	22,2	65,2	0,428	13,1		14,0		0,643	170	1,13	2,90
S7Y-alt	12,0	0,216	9540		3,65			27,1		0,169	26,2	9,31	1,31	55,8	1,01	108		1,28			84,0
S7Y-üst	0,659		49,8		0,333			1,48			27,1	2,73	0,013	2,54		10,1					48,4
S7K-alt	2,69		229		1,42		0,196	4,91		0,039	22,9	4,29	22,2	26,0	0,324	61,6		0,100		0,001	68,9
S7K-üst	1,04		84,5		0,315			1,96			7,70	4,65		2,79		6,85			272		19,4
S8Y-alt	9,30	0,477	390		1,67			5,53		0,081	34,6	2,86	0,530	12,5	0,438	13,8		1,07			96,2
S8Y-üst	2,65		84,1		0,872	358		1,13			18,8	3,72	0,170	2,35	0,052	7,61					58,0
S8K-alt	17,5	0,921	849		1,59			15,4		0,246	10,0	8,97	1,01	21,9	1,06	27,7		2,44			91,0
S8K-üst	1,36		82,7		0	350		0,892			14,0	3,57	0,206	3,844	0,066	7,82			303		33,4
S9Y	3,86		254		2,288			11,6		0,656	42,4	7,61	1,73	13,1	0,850	43,5		0,096		0,107	128
S9K	44,9	1,52	2769		123			133		4,71	32,4	47,5	1,93	77,8	4,02	93,1		3,16		0,338	350

ÖZGEÇMİŞ



Dilek BOLAT 1990 yılında Adana'da doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 2008 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında Çevre Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı zamanda, 2010 yılında başladığı, Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Bölümünü 2015 yılında tamamladı. Eylül 2013 yılında başladığı Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'ndaki Yüksek Lisans öğrenimini süresince TÜBİTAK (Proje no: 112Y175) bursiyeri olarak çalıştı. Haziran 2015-Kasım 2015 arasında Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı Projesi (Trans Anatolian Natural Gas Project-TANAP)

inşaatında Çevre Mühendisi olarak görev aldı. Aralık 2015 itibari ile ülkemizin yetişmiş insan kaynağı ihtiyacını karşılamak amacıyla 1416 sayılı Kanun kapsamında Orman ve Su İşleri Bakanlığı adına yurt dışında lisansüstü öğrenim görmeye hak kazanarak resmi bursiyer oldu.