

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PETROL TÜREVLİ ATIK YAĞLARIN ULTRASONİK
YÖNTEMLE SUSUZLAŞTIRILMASI

NURULLAH ÖZDOĞAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2018

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PETROL TÜREVLİ ATIK YAĞLARIN
ULTRASONİK YÖNTEMLE
SUSUZLAŞTIRILMASI

NURULLAH ÖZDOĞAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. EBUBEKİR YÜKSEL

GEBZE
2018

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**DEWATERING OF PETROLEUM DERIVED
WASTE OILS BY ULTRASONIC METHOD**

NURULLAH ÖZDOĞAN
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ENVIROMENTAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. EBUBEKİR YÜKSEL

GEBZE

2018

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16.05.2018 tarih ve 2018/26 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 01.06.2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Nurullah ÖZDOĞAN'ın tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

:PROF. DR. EBUBEKİR YÜKSEL

Yüksel S

ÜYE

:PROF. DR. ÖMER AKGİRAY

Ö. Akgiray

ÜYE

:PROF. DR. NİHAL BEKTAŞ

N. Bektaş

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Gemi atıkları arıtma tesisleri; gemilerden kaynaklanan atıkların, deniz kirliliği oluşturmayacak şekilde uluslararası sözleşmeler çerçevesinde kontrollü olarak toplanıp arıtıldığı ve bu tür gemi kaynaklı petrol atıklarının sintine sularından ayrılması sonucu elde edilen petrol ve petrol türevli ürünlerinin endüstride ikincil yakıt olarak kullanılması ile ekonomiye ayrı bir kazanç temin edildiği arıtma tesisleridir. Bu amaç doğrultusunda kullanılan ısı, kimyasal ve mekanik yöntemler; enerji (ısıtma ve elektrik gibi) ihtiyacı, bakım maliyetleri, işletme süresi ve kimyasal maliyeti açısından yüksek giderlere sahiptir.

Bu tez kapsamında, tesise gelen gemilerin, gemi makine ve yardımcı makine alt tankları, koferdamlar, ambarlar veya benzer bölümlerinde oluşan sızıntı suları ve gemi kargo tanklarının yıkanması ile oluşan yağlı atık suları ile karışmış petrol ve petrol türevli atık yağlarının ultrases teknolojisi ile demülsifiye hale getirilerek geri kazanılması amaçlanmıştır. Böylelikle, tesisteki mevcut susuzlaştırma prosesine alternatif olarak, susuzlaştırmanın artırılması ve mevcut prosesinin halihazır yüksek enerji ihtiyacını, bakım ve kimyasal maliyetlerini ve işletme süresini azaltacak yeni bir yöntemin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Yerel yönetim ve İSTAÇ arasındaki anlaşma gereği bahsedilen atık yağlardaki susuzlaştırma hedefi, sintine sularındaki susuzlaştırma su oranını %10 veya altındaki bir değere düşürmektir. Bu amaçla ultrasonik prob, farklı işletme süresleri, farklı emülsiyon kırıcı (EK) dozajları ve farklı elektriksel güç gibi deneysel koşulları altında denenmiş ve optimum işletme koşulları araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda belirlenen optimum koşullar altında (120 dak., 900 mg/L ve 2000 Watt) atık yağın su içeriği %6,78 değerine düşürülerek hedef su içeriği elde edilmiştir. Petrol ve petrol türevi atık yağların mevcut yöntemlere kıyasla hedeflenen su oranına, %103 gibi yüksek verim, %94 düşük işleme süresi, %25 emülsiyon kırıcı tasarrufu ve %40 daha az bir işletme maliyeti ile ulaşılmış olup, bu çalışma neticesinde ultrases ile yapılan atık yağ susuzlaştırma metodunun; yüksek verimli yeni bir alternatif metot olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Emülsiyon Kırıcı, Kavitasyon, Petrol Türevli Atık Yağlar, Susuzlaştırma, Ultrases.

SUMMARY

Ship wastewater treatment plants provide control of marine pollution by ensuring that wastes from ships are collected under control and treated within the framework of international contracts, ensuring that such ships are separated from the bilge waters of the oil waste, resulting in the use of petroleum and petroleum derivatives as secondary fuels in the industry provides a distinct benefit to the economy. Thermal, chemical and mechanical methods used in accordance with this purpose; The need for energy (such as heating and electricity), maintenance costs, operating time and chemical costs have high expenses. The objective of this thesis is to recover the petroleum and petroleum-derived waste oils mixed with the oil wastewater generated by ship cargo tanks and the leakage water formed in ship vessels, ship machinery and auxiliary machinery sub-tanks, cofferdams, warehouses or similar sections by demulsification with ultrasonic technology. Thus, as an alternative to the existing dewatering process in facilitate, it is aimed to increase the dewatering and to develop a new process which will reduce the maintenance and chemical costs of the present process, as well as the running costs and the operating time.

The goal of dewatering in the waste oils mentioned by the agreement between the local government and the request is to reduce the water rate in bilge waters to a value of 10% or less. For this purpose, the ultrasonic probe has been investigated under experimental conditions such as different operating conditions, different emulsion crusher (additional) dosages and different electrical power, and the optimum operating condition. The water content of waste oil (120 min., 900 mg/L and 2000 watts) under optimum conditions determined as a result of the researches has been reduced to 6.78% and the target water content has been obtained. Oil and petroleum derivative waste oils have been achieved with the targeted water ratio compared to existing methods, 103% high yield, 94% low machining time, 25% demulsifier savings and 40% less operating cost, ultrasound assisted waste oil dewatering is concluded that the method is a new alternative method and highly efficient.

Keywords: Emulsion breaker, Cavitation, Petroleum-derived waste oils, Dewatering, Ultrasound.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip, değerli bilgisi ile bu çalışmanın nihayte varmasında büyük emeği olan danışmanım Prof. Dr. Ebubekir YÜKSEL'e;

Bir İSTAÇ A.Ş çalışanı olarak, yüksek lisans eğitimim boyunca göstermiş olduğu her türlü destek ve çalışma ortamı imkânı sağlayan çok değerli Birim Müdürümüz Sayın İbrahim Ruhi KELLEÇİ 'ye ve Tesis Şefim Sayın Temel DEREMENCİ'ye;

Tez uygulama çalışmaları esnasında hep yanımda olan, değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve tezimin tamamlanmasında bana yol gösterici olan değerli Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat EYVAZ'a;

Tez çalışmalarında bilgisi ve tecrübeleriyle fikirlerinden yararlandığım ve çalışmalarımın sonlandırılması hususunda bana gerekli desteği veren saygıdeğer büyüğüm Sayın Metin GÖBÜLÜK'e

Laboratuvar çalışmalarında bilgisi ve desteğiyle her zaman yanımda olan değerli okul arkadaşlarım Arş. Gör. Ercan GÜRBULAK, Dr. Okan GÜNAYDIN, Serkan ARSLAN'a ve Tek. Fahrettin DUYUM'a;

Yüksek Lisans Eğitimi süresi boyunca, gerek eğitimime devamlılığım konusunda, gerekse de değerli bilgi ve görüşlerini benimle paylaşarak her zaman yanımda olan iş arkadaşım ve meslektaşım Kimyager Şafak ASLAN'a;

Tez yazım çalışması boyunca her zaman bilgi ve tecrübeleri benimle paylaşan değerli arkadaşlarım Sayın Tuba Nur YILMAZ ve Sayın Ayşegül COŞKUN'a;

Saha çalışmalarında bana yardımcı olan tesis formeni Sayın Şaban AYGİN'a, tesis mekanik ustaları Sayın Harun AKSOY'a, Sayın Sultan Mehmet ER'e ve tesis çalışanı arkadaşlarıma;

Ve göstermiş olduğu her türlü özveri ve desteklerinden dolayı da ayrıca eşim Ayşe ÖZDOĞAN ve oğlum Özhan Eren ÖZDOĞAN'a en içten teşekkürlerimi arz ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
TABLolar DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	3
2. DENİZ KİRLİLİĞİ	5
2.1. Genel Deniz Taşımacılığı	5
2.2. Türkiye’de Denizyolu Taşımacılığı	7
2.3. Deniz Kirliliği Kaynakları	8
2.3.1. Gemi Kaynaklı Kirlilik	8
2.4. Yasal Düzenlemeler	10
2.4.1. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)	10
2.4.2. MARPOL 73/78 (R.G. 24.06.1990-20558)	11
2.4.3. Gemilerden Atık Alınması ve Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (R.G. 26.12.2004-25682)	14
2.4.4. Gemilerden Atık Alınması ve Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (R.G. 18.03.2010-27525)	14
2.5. Gemi Atıkları Arıtma Tesisleri	15
2.5.1. Gemi Atıkları Arıtma Tesisleri Nedir?	15
2.5.2. Gemi Atık Kabul Tesisleri Yeterlilikleri	15
2.5.3. Gemi Atık Kabul Tesisleri Yükümlülükleri	16
2.5.4. Türkiye Gemi Atık Kabul Tesisleri	17
2.6. Gemi Atıkları Alımı ve Kontrolünün Sağlanması	19
2.6.1. Haydarpaşa Gemi Atıkları Arıtma Tesisleri	19
2.6.1.1. Gemi Atıkları Alım Prosedürü	21

2.6.1.1.1. Atık Talebi	21
2.6.1.1.2. Talebin Alınması	21
2.6.1.1.3. Atığın Alınması	21
2.6.1.2. Atığın Tesise Alınması	23
2.6.1.3. Atık Alım Kolektörü	24
2.6.1.4. Isıtma Ünitesi	26
2.6.1.5. Depolama Ünitesi	27
2.6.1.6. Susuzlaştırma Ünitesi	28
2.6.1.7. Dekantör Ünitesi	32
2.6.1.8. Arıtma Ünitesi	33
2.6.1.9. 2005 ve 2016 Yılları Arası Faaliyet Rakamları	37
2.6.1.10. Proses Akış Şeması	39
2.6.1.11. Proses Özet	40
3. ULTRASESİN TANIMI VE UYGULAMALARI	41
3.1. Ultrases ve Özellikleri	41
3.2. Ultrasesin Uygulama Alanları	47
4. MATERYAL VE METOD	54
4.1. Materyaller	54
4.1.1. Atık Yağ Numunesi	54
4.1.2. Ultrasonik Prob ve Özellikleri	54
4.1.3. Ultrases Reaktörü ve Şematik Deney Düzeneği	55
4.1.4. Kullanılan Kimyasallar	57
4.1.5. Çalışma Alanı	57
4.2. Petrol Türevli Atık Yağ Susuzlaştırmada Uygulanan Mevcut Yöntemler	59
4.2.1. Isıl İşlem	59
4.2.2. Mekanik İşlem	60
4.2.3. Kimyasal İşlem	61
4.2.4. Ultrasonik İşlem	62
4.2.4.1. Numune Hacmi Ölçme Ve Homojenleştirme	62
4.2.4.2. Deneysel İşlem	63
4.3. Analitik Metot	65
4.3.1. Petrol Türevli Atık Yağlarda Distilasyon Yoluyla Su Tayini Yöntemi (ASTM D95)	65

4.3.2. Deneysel Yöntem İle Atık Yağ Su İçeriğinin Hesaplanması	66
4.3.3. Uygulama Yöntemi Sonrası Üst Yağ Fazı Su Oranının Hesaplanması	66
4.3.4. Uygulama Hedef Başarı Yüzdesinin Hesaplanması	67
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	68
5.1. Düşük Kimyasal Dozajında Gücün ve İşletme Süresinin Susuzlaştırmaya Etkisi	68
5.2. Orta Kimyasal Dozajında Gücün ve İşletme Süresinin Susuzlaştırmaya Etkisi	69
5.3. Yüksek Kimyasal Dozajında Gücün ve İşletme Süresinin Susuzlaştırmaya Etkisi	71
5.4. Tesisteki Mevcut Susuzlaştırma Yöntemleri ile Ultrasonik Yöntemin Mukayesesi	73
5.4.1. Isıl İşlem ile Susuzlaştırma	73
5.4.2. Isıl İşlem + Kimyasal ile Susuzlaştırma	74
5.4.3. Ultrases + Kimyasal ile Susuzlaştırma	76
6. SONUÇLAR VE YORUMLAR	79
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	84
EKLER	85

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
α	Santimetredeki Soğurma Katsayısı
μg	Mikrogram
π	İrrasyonel Matematik Sabiti
%	Yüzde İfadesi
A	Ses Dalgalarının Genliği
AKYK	Atık Yağların Kontrol Yönetmeliği
ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
D95	
BP	İngiliz Petrol Şirketi
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece (Sıcaklık Ölçüm Birimi)
cm	Santimetre
cm^2	Santimetrekare
d	Ortamin Yoğunluğu
DAF	Çözülmüş Hava Flotasyonu
dk	Dakika
DWT	Ölü Ağırlık Tonajı
ECOSOC	Birleşmiş Milletler Ekonomik Ve Sosyal Konsey
ECOTEC	İtalya Menşeli Özel Şirket
NE	
ECO20	İtalya Menşeli Ultrasonik Jeneratör Modeli
EK	Emülsiyon Kırıcı
EN	Avrupa Normları
EPA	Çevre Koruma Ajansı
f	Frekans
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
GESAMP	Birleşmiş Milletler Deniz Kirlilik Kaynaklarını Bilimsel Yönleriyle İnceleyen Araştırmacı Grubu
GHz	Gigahertz
gr	Gram
GTÜ	Gebze Teknik Üniversitesi

h	Saat
Hz	Hertz
I	Ultrasesin Enerji Şiddeti (Watt/m ²)
IMO	Uluslararası Deniz Örgütü
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İSKİ	İstanbul Su Ve Kanalizasyon İdaresi
İSTAÇ	İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
kcal/h	Kilokalori/saat
kg	Kilogram
KHz	Kilohertz
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
kW	Kilovat (Elektriksel yoğunluk)
L	Litre
LNG	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gaz
MARPOL	Denizlerin Gemiler Tarafından Kirlenmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Sözleşme
MEPC	Deniz Çevre Koruma Komitesi
mg	Miligram
MHz	Megahertz
mix	Karıştırıcı
mL	Mililitre
mm	Milimetre
MPa	Karışım Basınç Düşüşü
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
OILPOL	Petrol Kirliliği Önleme Sözleşmesi.
p	Basınç Genliği
PAC	Polialüminyumklorür
pH	Çözeltideki Hidrojen İyonu Konsantrasyonu
PLC	Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
ppb	Milyarda Bir Birime Verilen İsim
ppm	Milyonda Bir Birime Verilen İsim

RO-RO	Tır, Kamyon ve Vagon Gibi Tekerlekli Yük Taşıyan Gemi Türleri
sa	Saniye
TL	Türk Lirası
TS	Türkiye Standartları
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
UN	Birleşmiş Milletler
UNESCO	Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü
v	Hız
V ₀	Çalışılan Numune Hacmi
V _s	Ksilol Ölçüm Tüpünde Biriken Su Hacmi
V ₁	: Numune Su İçeriği Yüzdesi
V ₂	: Numune Toplam Su İçeriği Hacmi
V ₃	: Alt Su Fazı Hacmi
V ₄	: Üst Yağ Faz Su İçeriği Yüzdesi
V ₅	: Çıkması Gereken Alt Su Fazı Hacmi
V ₆	: Teorikte Ve Gerçekte Bulunan At Su Fazı Hacim Farkı
V ₇	: Hedeflenen Başarıya Uzaklık Yüzdesi
V ₈	: Uygulama Hedef Başarı Yüzdesi
Watt	Uluslararası Ölçüm Sisteminde Güç Birimi
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü
w/v	Ağırlık/hacimce
x	Derinlik
YPC	Yangzi Petrokimya Şirketi (Çin Halk Cumhuriyeti)
Z	Akustik Empedans (kg/m ² s)

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Atık kabul hizmeti veren limanlar.	18
2.2: Haydarpaşa gemi atıkları arıtma tesisi.	20
2.3: Atık alım gemisi.	22
2.4: Gemilerden atık alım işlemi.	22
2.5: Gemilerden atık alım süreç şeması.	23
2.6: Atığın atık alım tesisine transferi.	24
2.7: Atığın gemi tankından alınım şeması.	24
2.8: Gemi atık alım kolektörü.	25
2.9: Pnömatik vana.	25
2.10: Kızgın yağ destekli tank içi serpantin ısıtma ünitesi.	26
2.11: Kızgın yağ ünitesi.	26
2.12: Proses plc kontrol ekranı.	28
2.13: Depolama tank sahası.	28
2.14: Deneysel yağ-su ayrımı yatay görünüm.	29
2.15: Deneysel yağ-su ayrımı dikey görünüm.	30
2.16: Seperatör iç mekanizma.	30
2.17: Eşanjör ısıtma sistemi.	31
2.18: Eşanjör ünitesi.	31
2.19: Separatör ünitesi akış şeması.	31
2.20: Separatör ünitesi.	32
2.21: Dekantör iç mekanizma.	32
2.22: Dekantör ünitesi.	33
2.23: Ön havuz tankı.	34
2.24: Atık su yağ savaklama bölmesi.	34
2.25: Daf ünitesi (çözünmüş hava flotasyonu).	35
2.26: Flokülasyon tankı.	36
2.27: Durultucu tankı savaklama bölmesi.	37
2.28: Filtre-pres.	37
2.29: Tesis genel proses akış şeması.	39
3.1: Sesin frekans aralıkları.	41

3.2:	Ultrasonik prob iç mekanizma.	43
3.3:	Elektriksel alanda boyları uzayıp kısalabilen ferromanyetik metal.	44
3.4:	Piezoelektrik özelliğine sahip seramik kristaller.	44
3.5:	Piezoelektrik etki.	45
3.6:	Piezoelektrik kristale uygulanan basınç ile oluşan kutuplaşma.	45
3.7:	Kullanılan ultrasonik düzenek.	49
3.8:	Demülsifier öncesi ve sonrası.	50
3.9:	Ultrases ve ultrases demülsifier sonrası.	50
3.10:	Ultrasonik kimyasal metot deney düzeneği.	51
3.11:	Ham petrol emülsiyonundaki su damlacıklarının yayılımı.	51
3.12:	Ultrases uygulama öncesi yağ-su emülsiyeye karışım görünümü.	52
3.13:	Ultrases uygulama sonrası yağ-su emülsiyeye karışım görünümü.	52
3.14:	Ham petrol susuzlaştırma ve tuzsuzlaştırma ultrasonik proses düzeneği.	53
4.1:	Çalışmada kullanılan petrol türevli atık yağ numunesi.	54
4.2:	Radyal etkili ultrases probu fotoğrafı ve şematik görünümü.	55
4.3:	Ultrases jeneratörü.	55
4.4:	Metal silindirik reaktör.	56
4.5:	Ultrases uygulama deney düzeneği.	57
4.6:	İstaç gemi atıkları arıtma tesisi atık yağ susuzlaştırma proses adımları.	58
4.7:	Kızgın yağ destekli tank içi serpantin ısıtma ünitesi.	59
4.8:	Depolama tank içi temsili faz ayrımı görünümü.	60
4.9:	Seperatör ünitesi.	60
4.10:	Laboratuvar çalışması emülsiyon kırıcı faz ayırım görünümü.	62
4.11:	Mekanik karıştırıcı ve ölçekli mezür, a) mekanik karıştırıcı, b) ölçekli mezür.	63
4.12:	Uygulama yöntemi akış şeması.	64
4.13:	Astm D95 deney düzeneği şematik görünümü.	65
5.1:	Farklı ultrases uygulama sürelerinde ultrasonik gücün susuzlaştırmaya etkisi (ek: 300 mg/l).	68
5.2:	Farklı ultrases uygulama sürelerinde ultrasonik gücün susuzlaştırmaya etkisi (ek: 600 mg/l).	70
5.3:	Farklı ultrases uygulama sürelerinde ultrasonik gücün susuzlaştırmaya etkisi (ek: 900 mg/l).	72

- 5.4: Ultrases işlemi sonrası reaktör içi faz ayrımı görünümü, a) 15 dakika sonrası, b) 30 dakika sonrası, c) 60 dakika sonrası. 73
- 5.5: Ultrases yöntemi ile susuzlaştırmada kullanılacak yeni proses akış şeması. 76

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Yıllara göre dünya deniz ticareti taşımacılık faaliyetleri (milyon ton).	6
2.2: Petrol türevli atık kirletici türleri	12
2.3: Atık alım hizmeti ve atık kabul tesisleri kıyaslaması	18
2.4: Yıllara göre gemilerden alınan atık miktarı (metreküp).	38
2.5: Yıllara göre geri dönüştürülen atık yağ miktarı (metreküp).	38
4.1: Radyal etkili ultrases probu teknik özellikleri	55
4.2: Alan ve hacme uygulanan ultrasonik şiddet ve güç değerleri	56
4.3: Deneysel işlemler ve detayları	64
5.1: 300 mg/l ek dozlaması yapılan deneylerin sonuçları	69
5.2: 600 mg/l ek dozlaması yapılan deneylerin sonuçları	71
5.3: 900 mg/l ek dozlaması yapılan deneylerin sonuçları	72
5.4: Laboratuvar ölçekli ısıtma işlemi ile susuzlaştırma deneyleri ve sonuçları	74
5.5: Laboratuvar ölçekli ısıtma işlemi + kimyasal ile susuzlaştırma deneyleri ve sonuçları	75
5.6: Tesisteki mevcut susuzlaştırma yöntemleri ile ultrases yönteminin deney şartları ve sonuçları açısından karşılaştırılması	77

1. GİRİŞ

Günümüzde dünya ticaretinin hemen hemen %90'ı denizyolu ile sağlanmaktadır. Özellikle petrol ve doğalgaz madenlerinin büyük bir kısmının denizler altında olması, dünyamızın 3/4'ünün sularla çevrili olması, denizyolu taşımacılığının önemini daha da artırmaktadır. Deniz taşımacılığının sebep olduğu gemi kaynaklı petrol ve petrol türevli atıkların denizlerde meydana getirmiş olduğu kirlilik büyük sorun haline gelmiştir. Gemi kaynaklı bu atıklar, içeriğinde yüksek oranda petrol ve türevleri ile beraber, yağ ve hidrokarbon bulunduran sintine, slop, slaç, kirli balast sularıdır [Ulucan, 2011]. Üç tarafı denizlerle sınırlı ülkemizde, deniz kirliliği ve kıyılar ile alakalı problemler ayrı bir önem arz etmektedir. Bu kirliliği bertaraf etmekle görevli olan gemi atık kabul tesisleri, gemilerden kaynaklanan atıkları, uluslararası sözleşmeler çerçevesinde kontrollü bir şekilde toplamakta ve yönetmektedir.

Gemi atıkları arıtma tesisleri; gemilerden kaynaklanan atıkların, deniz kirliliği oluşturmamak şeklinde uluslararası sözleşmeler çerçevesinde kontrollü olarak toplanıp arıtıldığı, deniz kirliliği ve ekosistemi açısından çok önemli bir misyonu olan arıtma tesisleridir. Bu tür gemi petrol atıkları hem sintine sularından ayrılmakta hem de nihayetinde oluşturduğu, petrol ve türevi ürünlerinin endüstride ikincil yakıt olarak kullanılması sonucunda ekonomiye ayrı bir getiri sağlamaktadır.

Üç tarafı denizlerle sınırlı ülkemizde, deniz kirliliği ve kıyıları ile ilgili sorunlar ayrı bir önem arz etmektedir. Endüstri, deniz taşımacılığı faaliyetleri, şehircilik, turizm ve kirleticili atıkların tahliyesinin yanı sıra meydana gelen deniz kazaları sonucunda da her geçen gün denizlerimiz daha da hızlı kirlenmeye başlamıştır. Dünya ticaretinin yaklaşık %90'ı denizyolu ile sağlanmaktadır. Ülkemizde bu oran Türkiye İstatistik Kurumu'nun kayıtlarına göre 2011 yılında Türk dış ticaret taşımlarında ihracatın hemen hemen %80'i ve ithalatın ise %90'ı toplamda ise %88'i bu yol ile yapılmaktadır [Şipal, 2014].

Türkiye deniz taşımacılığı yönünden oldukça stratejik bir öneme sahip bölge konumunda olup, İstanbul ve Çanakkale Boğazlarından 2016 yılı itibariyle geçen gemi sayısı sırasıyla 42.553 ve 44.035 olup toplamda 86.588 adettir. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarından geçen bu gemilerin %21'i petrol, petrol türevli atıklar ve tehlikeli kimyasal yük taşıyarak geçişini tamamlamıştır [Web 3. 2017]. Son 5 yılda İstanbul Boğazı'ndan 22.136 adet gemi geçmiş, 38.386 adet gemiye atık alım hizmeti verilmiş,

825.985 m³ MARPOL Ek I atık alımı yapılmış ve 85.622 m³ petrol türevli atık yağ ekonomiye geri kazanılmıştır [İstaç, 2016].

Bu amaç doğrultusunda kullanılan ısı, kimyasal ve mekanik yöntemler; enerji (ısıtma ve elektrik gibi) ihtiyacı, bakım maliyetleri , işletme süresi ve kimyasal maliyeti açısından yüksek giderlere sahiptir. Bu sebeple daha verimli ve daha çevreci ayırma proseslerinin geliştirilmesi ve kullanılması büyük öneme sahiptir. Ultrases kullanılarak yapılacak olan atık yağ susuzlaştırma işlemi bu yenilikçi yöntemlerden biridir.

Her genç ve sağlıklı bir kişinin işitebileceği ses aralığı 20Hz ve 20.000Hz aralığındadır. Bu ses aralığı üstündeki insan kulağının işitemeyeceği kadar güçlü frekans dalgaları ultrases olarak tanımlanır [İngeç ve Tekin, 2002]. Ultrases üretiminde piezoelektrik özellik gösteren seramik ve kristaller kullanılır. Bu tür malzemeler üzerine dışarıdan mekanik bir basınç uygulandığında malzeme üzerinde elektriksel bir gerilimin oluşması piezoelektrik olarak açıklanır. Yüksek basınçta elektrik üretirken, düşük voltajda frekans üretebilen (ses dalgası) bu tür malzemeler, ultrases üretebilen transdüser cihazlarında sıkça kullanılmaktadır. Transdüserler elektriksel enerjiyi ultrasonik probta bulunan ve elektriksel alanda boyları kısalıp uzayabilen ferroelektrik maddelere iletirler. Bu maddeler, transdüserden gelen elektrik alanına maruz kaldığında, metal çubuk boyunda nanometrik ölçeklerde uzamalar ve kısaltmalar meydana gelir. Ferroelektrik metalde meydana gelen bu uzama ve kısalma hareketleri metal çubuk yönü üzerinde bulunan piezoelektrik özellikteki seramik kristallere iletilmektedir. Kristaller üzerine gelen bu hareketler, kristaller üzerinde titreşim meydana getirerek prop baş ve uç kısmına kadar radyal bir şekilde iletilir. Böylelikle belirli frekans aralıklarına sahip insan sesinin işitemeyeceği ultrasonik titreşimler meydana gelmiş olur [İngeç ve Tekin, 2002]. Ultrasonik ses dalgaları su ve yağ içerisindeki iletkenlik özelliğinden dolayı, tüm emülsiyе karışımlar içerisinde iyi bir demülsifiye görevi görür. Kimyasal katkı maddeleri ultrasonik ses dalgalarına maruz kalarak oldukça hızlı yer değiştirme hareketleri yapar. Su ve yağ içerisindeki emülsiyе partiküller, ultrasonik ses dalga etkileri ile dalga düğümlerine dönüşür. İşlem devamında birbirlerine çarparak büyüyen emülsiyе partiküller yerçekimi etkisiyle de emülsiyе ortamından kendilerini ayırabilirler. Ultrasonk ses dalgaları emülsiyon içerisinde iletilirken absorplanarak ısı enerjisine dönüşür. Bu ısı etkisi ortam

sıcaklığını artırarak emülsiyonu karışımın viskozitesini düşürerek, demülsifiye hale gelmesinde etkili olur [Mingxu et al., 2016].

Ultrases (ses ötesi) dalgaları su içerisinde hareket ederken kavitasyon meydana getirirler. Kavitasyon, sıvı içerisinde basınç değişimleri sonucu baloncuk oluşumu, gelişimi ve patlamasıdır [Hua and Thompson, 2000]. Ultrasonik kavitasyon nedeniyle su moleküllerinin ayrışması sonucu hidroksil (OH^-) ve hidrojen (H^+) radikalleri oluşur [Riesz et al., 1985]. Bu radikaller kimyasal reaksiyonlar başlatır ve ayrıca ultrasonik kavitasyon, karıştırma, parçacıkların parçalanması, katı yüzey alanının artması ve kütle transferinin artması gibi mekanik etkilere de sebep olur [Riesz and Kondo, 1992]. Ultrases jeneratörü elektrik, mekanik veya basınç enerjisini yüksek frekansta ses dalgalarına çeviren bir cihazdır. Bu cihaz sularda yumuşatma, filtrasyon, mekanik ve/veya kirlilik arıtılması amacıyla kullanılır. Ultrases sistemi içme suyu hazırlamada, merkezi ısıtma sistemlerinde ve Ca/Mg tortusu bulunabilecek her türlü cihazda kullanılabilir. Ultrases kristalizatörü su kalitesini olumsuz etkilemediği gibi çevre için de zararsız bir cihazdır. Ultrases uygulamaları biyoloji ve biyokimyada saflaştırma ve hücre parçalama işlemlerinde; mühendislikte delme, öğütme ve kesme işlemleri, cam ve seramik üretimi, plastik ve metal şekillendirmede; diş hekimliğinde diş temizliği ve dolgu işlemlerinde; jeoloji ve coğrafyada maden ve petrol arama işlemleri ile haritacılıkta çeşitli ölçümlerde; endüstride başta metal ve kimya endüstrisi olmak üzere pek çok endüstri dalındaki çeşitli uygulamalarda ve tıpta tanı koyma, kanser ve kansızlık tedavisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Ultrases bu genel uygulama alanlarının yanında çevre mühendisliğinde su ve atıksu dezenfeksiyonunda, arıtma çamurlarının susuzlaştırılmasında ve membran filtrelerin temizlenmesinde etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır [Makino et al., 1982].

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Proje çalışmadaki amaç, gemi taşımacılığında kaynaklanan petrol ve petrol türevli atık yağları, belli frekans aralığında ultrases dalgalarına maruz bırakarak, ses titreşim enerjisinin ısı enerjisine dönüşümüyle ortam sıcaklığını artması sonucu, emülsiyeye olmuş farklı yoğunluklardaki sıvı karışımların molekül zincirlerinin ayrışmasına sağlayarak, sıvı karışımı demülsifiye hale getirmektir [Ulucan, 2011].

Bu çalışmada, İSTAÇ A.Ş. gemi atıkları arıtma tesisine gelen gemilerin, gemi makine ve yardımcı makine alt tanklarında oluşan sızıntı suları ve gemi tanklarının

yıkanması ile oluşan yağlı atık suları ile karışmış petrol ve petrol türevli atık yağlarının ultrases teknolojisi ile demülsifiye hale getirilerek geri kazanılması amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda çalışmada tesis içinde kullanılan klasik yöntemlerin; yüksek enerji (ısıtma ve elektrik gibi) ihtiyacını, bakım maliyetlerini, işletme süresini ve kimyasal maliyetini azaltacak yeni bir yöntemin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ultrases ile susuzlaştırma prosesinin, mevcut susuzlaştırma proseslerine alternatif yeni bir yöntem olabileceğini göstermektedir.

Bu tez kapsamında, öncelikle ikinci bölümde günümüz deniz taşımacılığının önemi, getirmiş olduğu deniz kirliliği ve bu kirlilikle mücadele yöntemleri ele alınmıştır. Üçüncü bölüm başlık adı altında proje uygulama metodu olan ultrasesin ne olduğu, nasıl üretildiği ve hangi alanlarda kullanıldığına dair bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde ise deniz yolu gemi taşımacılığında kaynaklanan petrol ve petrol türevli atık yağların günümüz yöntemleri ile nasıl susuzlaştırılarak bertaraf edildiği ve bu yöntemlere alternatif bir metot olan ultrases metodunun ne tür materyal ve malzeme ile nasıl yapılacağına dair bilgiler mevcuttur. Son olarak beşinci ve altıncı bölümlerde ise petrol ve petrol türevli atık yağların susuzlaştırılmasında kullanılan mevcut yöntemlerle elde edilen verilerin, ultrases metoduyla kıyaslanarak proje çalışması başarı yüzdesi hakkında bilgiler verilmiş ve elde edilen sonuçlar ile ilgili yorumlar yapılarak, bu tür atık yağların ultrases metodu ile susuzlaştırılmasına dair faydaları ve önerileri verilmiştir.

2. DENİZ KİRLİLİĞİ

Deniz kirliliği 1982 Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi'ndeki birinci maddenin dördüncü fıkrasında yapılan tanıma göre: “deniz çevresinin kirlenmesinden canlı kaynaklara ve deniz yaşamına zarar verme, insan sağlığı için tehlike oluşturma, balıkçılık ve denizlerin diğer yasal amaçlarla kullanımı da dâhil olmak üzere, denizcilik faaliyetleri engelleme, deniz suyunu niteliğini değiştirme ve güzelliklerini bozma gibi zararlı etkileri olan veya olabilecek maddelerin veya enerjinin, insan tarafından doğrudan doğruya veya dolaylı olarak, haliçler de dâhil olmak üzere, deniz çevresine dâhil edilmesi anlaşılmaktadır” [Abdulayev, 2003]. Deniz kirliliğini tanımlayan uluslararası ilk hukuk belgesi bu değildir. Bunun yanı sıra Birleşmiş Milletler Deniz Kirliliğinin Bilimsel Yönlerini Araştırma Grubu (GESAMP)¹ tarafından da “deniz kirliliği, canlı kaynaklara zarar verme, insan sağlığı için tehlike oluşturma, balıkçılık dâhil denizcilik faaliyetlerini engelleme, deniz suyunun niteliğini bozma ve güzelliklerini azaltma gibi zararlı etkileri olan bir madde veya enerjinin insan eliyle doğrudan veya dolaylı olarak, haliçler dâhil deniz çevresine sokulmasıdır” ifadesiyle tanımlanmış ve bu ifade birçok uluslararası hukuk belgelerinde olduğu gibi kullanılmıştır [Abdulayev, 2003].

2.1. Genel Deniz Taşımacılığı

Günümüzde dünya ticareti faaliyetlerinin neredeyse %90'ı denizyolu ile yapılmaktadır. Özellikle petrol ve doğalgaz madenlerinin büyük bir kısmının denizler altında olması, dünyamızın 3/4'ün sularla çevrili olması, denizyolu taşımacılığının önemini daha da artırmaktadır. Toplamda büyüklüğü 1,23 milyar DWT'ye ulaşan dünya deniz ticaretinin filosunun hacmi ise günümüzde 8,17 milyar tona ulaşmıştır. Dünya deniz ticareti faaliyetleri sonuncunda her yıl ortalama 400 milyar dolar civarında bir kazanaç elde edilmektedir. Bu değerler taşımacılıkta denizyolunun oldukça büyük öneme sahip olduğunu göstermektedir [Yenal, 2011].

¹ (Joint Group Of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution) Bu grup Birleşmiş Milletlerin örgütleri olan IMO/FAO/UNESCO/WMO tarafından himaye edilen ve bu örgütler tarafından atanan ataması yapılmış bilim adamlarından oluşan bir danışma meclisidir.

Globalleşen dünyada ülkeler ve kıtalararası ulaşım oldukça önem kazanmıştır. Taşımacılık sektöründe deniz taşımacılığının ucuz ve büyük miktarlarda olması diğer taşıma türlerine göre daha çok tercih edilmektedir [Demiray, 2006].

Özellikle sanayi hammaddelerini oluşturan yükleri bir seferde büyük tonajlarda taşıma özelliği, diğer taşıma şekillerine göre daha ekonomik olması (denizyolu taşımalarının, karayoluna nazaran 7, havayoluna göre ise 22 ve demir yoluna nazaran 3,5 kat daha ekonomik olduğu açıklanmaktadır), denizyolu taşımacılığının bu alanda önemli avantajlarıdır. [Yenal, 2011]. Bu tercih denizyolu taşımacılığından doğan birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Deniz taşımacılığının sebep olduğu gemi kaynaklı petrol ve petrol türevli atıkların denizlerde meydana getirmiş olduğu kirlilik büyük sorun haline gelmiştir. Gemi kaynaklı bu atıklar, içeriğinde yüksek oranda petrol ve türevleri ile beraber, yağ ve hidrokarbon bulunduran sintine, slop, slaç, kirli balast sularıdır [Ulucan, 2011]. Ülkemizde gemi kaynaklı deniz kirliliği birçok sahilimizde önemli boyutlara ulaşmıştır. Her üç tarafı da denizlerle sınırlı ülkemizde, deniz kirliliği ve kıyılar ile ilgili kirlilik problemleri son derece önem taşımaktadır. Endüstri, deniz taşımacılığı faaliyetleri, şehircilik, turizm ve kirletici atıkların tahliyesinin yanı sıra meydana gelen deniz kazaları sonucunda da her geçen gün denizlerimiz daha da hızlı kirlenmeye başlamıştır.

Aşağıdaki Tablo 2.1’de [Web 1, 2017] görüldüğü gibi yıllar itibariyle gelişen denizyolu taşımacılığı ticaretinin sürekli bir artış içinde olduğunu görmekteyiz. Temel Yükler: Demir Cevheri, Tahıl, Kömür, Boksit, Alüminyum ve Fosfat’ tan ibarettir. 2006-2015 yılları arası rakamlar, elde edilen nihai raporlara göre revize edilerek Tablo 2.1’de verilmiştir. 2015 rakamları ise mevcut son yıl temel alınarak yine bu tabloda raporlanmıştır

Tablo 2.1: Yıllara göre dünya deniz ticareti taşımacılık faaliyetleri (milyon ton).

YIL	PETROL	ANA YÜKLER	DİĞER KURU CİNS YÜKLER	TOPLAM
1970	1.440	448	717	2.605
1980	1.871	608	1.225	3.704
1990	1.755	988	1.265	4.008

Tablo 2.1: Devam.

2000	2.163	1.295	2.526	5.984
2005	2.422	1.709	2.978	7.109
2006	2.698	1.814	3.188	7.700
2007	2.747	1.953	3.334	8.304
2008	2.742	2.065	3.422	8.229
2009	2.642	2.085	3.131	7.858
2010	2.772	2.335	3.302	8.409
2011	2.794	2.486	3.505	8.785
2012	2.841	2.742	3.614	9.197
2013	2.829	2.923	3.762	9.514
2014	2825	2.985	4.033	9.843
2015	2.947	2.951	4.150	10.047

2.2. Türkiye’de Denizyolu Taşımacılığı

Üç tarafı denizlerle sınırlı Türkiye, 8.333 km’lik sahil şeridine sahip olması neticesiyle deniz ulaşımının ülkemizde oldukça etkili bir rolü vardır. Ülkemizde deniz taşımacılık sektörüne hizmet veren 30’un üzerinde kıyı işletme bazlı çalışma alanları mevcuttur. [Web 2, 2017]. Türkiye, Kuzey-Güney ve Doğu-Batı arasında bağlantıyı sağlayan 174 adet limanı ile denizyolu taşımacılığının Asya ve Avrupa arasındaki sürekliliğini sağlayabilen etkin bir bölge haline gelmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu’nun mevcut kayıtlarına göre 2011 yılı Türk dış ticaret taşımalarında ihracatın hemen hemen %80 iken bu oran ithalatda ise %90’ı bulmakta ve toplamda ise %88’i denizyolu ile yapılmaktadır [Şipal, 2014].

Türkiye deniz taşımacılığı yönünden oldukça stratejik bir öneme sahip bölge konumunda olup, İstanbul ve Çanakkale Boğazlarından 2016 yılı itibariyle geçen gemi sayısı sırasıyla 42.553 ve 44.035 olup toplamda 86.588 adettir. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarından geçen bu gemilerin %21’i petrol, petrol türevli atıklar ve tehlikeli kimyasal yük taşıyarak geçişini tamamlamıştır. Bu gemilerle 2016 yılı itibariyle 18.184 ton petrol, petrol türevi atık ve tehlikeli kimyasal yük taşınmıştır [Web 3. 2017].

2.3. Deniz Kirliliği Kaynakları

Denizlerin karadan, havadan ve denizden gelen çeşitli kaynaklarına göre kirlenmesi söz konusudur. Denizlerin kirlenmesine sebep olan kirletici kaynakların, denizden gelen etkisi oldukça büyüktür. Deniz kaynaklı kirliliklere bakacak olursak;

- Denizlerde seyrüsefer halinde olan her türlü gemi ve deniz araçları tarafından bırakılan evsel ve yağlı atık sulardan kaynaklanan kirlilik,
- Doldurma ve boşaltma işlemleri için limanlara yanaşan gemilerin sebep oldukları kirlilik,
- Petrol çıkarmak için denizlerde bulunan hususi platformların, denizlerde yaptığı sondajlama faaliyetleri sonucu meydana gelen kirlilik,
- Deniz dip tarama ve araştırma faaliyetlerinin meydana getirmiş olduğu kirlilik,
- Deniz mahsulü ürünlerinin yakalanması ile oluşan kirlilik,
- Askeri savunma sistemi faaliyetleri sonucu oluşan kirlilik gibi etmenleri sayabiliriz [Daşhan, 2010].

2.3.1. Gemi Kaynaklı Kirlilik

Ülkeler ve kıtalararası taşımacılıkta daha ucuz olması sebebiyle ve tek seferde büyük miktarlarda yük taşınması imkânı ile tercih edilen deniz taşımacılığı, denizlerin gemiler tarafından kirlenmesi sorunu da beraberinde getirmektedir. Gemiler seyir ve limanda kalma zamanlarına göre geminin makine yapısı, seyir zamanı, yakıt harcaması, gemi çalışan personel sayısı ve geminin taşımakta olduğu yüke paralel olarak artmaktadır [Web 4, 2017].

Denizlerde taşımacılıkta kullanılan gemi tipleri sıralayacak olursak;

- Kargo-Konteyner Gemileri (Standartlaştırılmış Boyutta Kutu ve Konteyner Taşımak),
- RO-RO Gemiler (Tır, Kamyon ve Vagon Gibi Tekerlekli Yük Taşımak),
- Yolcu Gemiler (Turistik Yolcu Taşımak),
- Kimyasal Tanker Gemiler (Parlayabilen Dökme Sıvı Taşımak),
- Özel Yük Taşıyan Gemiler (LPG-LNG-Dökme Yük Taşımak),

- Savaş Gemileri (Denizaltılar, Hücumbotlar, Korvetler, Firkateynler, Muhripler ve Uçak- Helikopter Gemileri) [Web 5, 2017].

Denizlerde taşımacılıkta ve özel amaçlar için kullanılan gemilerin gerek seyir halindeyken gerek sabit bir limanda demirlerken ve gerekse de bakım ve onarım için tersanede duraklarken bile denizler için her zaman kirlilik riski teşkil etmektedir. Denizlerdeki gemi kaynaklı kirliliğin nasıl ve ne şekilde meydana geldiğini irdelersek;

- Kargo ve Konteyner gemilerinde tahliye esnasında gemi-sahil arasında donanım kullanım hatalarıyla oluşan kirlenmeler, gemi ambarlarının temizlenmesi sırasında oluşan kuru ve sıvı atık kirliliği,
- Ro-Ro ver Yolcu gemilerinde araçlardan sızan yağ ve benzeri sıvı atıkların gemi içlerine kadar sızması ile kirlilik oluşan bölgelerin temizlenmesi ile personel ve yolcuların sigara, naylon poşet vb. kirlilik oluşturacak malzemelerin denize atmasıyla oluşan kirlilik,
- Kimyasal Tanker gemilerinin çarpışması ile oluşan deniz çevre felaketi olarak adlandırdığımız kirlilik ve bu gemilerin taşıma sonrası tanklarının temizliği sırasında oluşan slop atığını, atık tankına transfer etmek yerine direk denize deşarj etmesi ile oluşan kirlilik,
- Her çeşit gemilerin, gemi makine dairesi donanımlarından kaynaklanan sızıntı kirliliği, güverte makine devrelerinden kaynaklanan sızıntıların yağmur suyu ile karışarak denizlerde meydana getirmiş olduğu kirlilik,
- Tersanede bakıma giren her çeşit geminin dış iskeletinde kullanılan antipas ve koruyucu boyaların atmosfere ve denize karıması ile oluşan kirlilik,
- Gemi donanımında bulunan kuler (hava-sıvı akışkan soğutucular) ve hiter (gemi ısıtıcı tipleri) gibi cihazların temizlenmesi esnasında ortaya çıkan yağ, yakıt, su vb. maddelerden kaynaklanan kirlilik,
- Egzoz üreten her çeşit geminin atmosferde oluşturuldu zehirli-kirli gazlar,
- Gemilerde soğutma amaçlı kullanılan gazların kaçakları sonucu oluşan atmosferik kirlilik,
- Gemi dengesi için alınan balast sularının, alındığı bölge dışındaki başka deniz bölgesine boşaltılmasıyla o bölgede oluşan plankton ve kirli su kirliliği,

- Özel yük taşıyan gemi ve kimyasal tankerlerin başka yük taşımak amacıyla boşalttığı tank bölmelerini temizlemesi sırasında oluşan yağlı sıvı atıklardan (slop, slaç, sintine, atık yağ vb.) kaynaklanan kirlilik,
- Her çeşit gemide oluşabilecek yaşam mahalli atıklar, lavabo, mutfak ve fosseptik suları atıkları, pişirme yağları atıkları ve canlı hayvan taşıyan gemilerdeki hayvan dışkıları ve cansız hayvan uzuvlarından kaynaklanan kirlilikleri sayabiliriz [Web 4, 2017].

2.4. Yasal Düzenlemeler

2.4.1. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)

IMO (Uluslararası Denizcilik Örgütü)'un 6 Mart 1948 yılında Birleşmiş Milletler tarafından düzenlenen bir konferansla kurulması konusundaki sözleşme kabul edilmiştir. 1958 yılından beri Türkiye'nin üyesi olduğu Londra merkezli kuruluşun 172 ülkeden oluşan üyesi vardır. Deniz emniyeti ve güveliği ile deniz kirliliği konusunda hizmet veren bir örgüttür [Web 6, 2017].

Gemi kaynaklı deniz kirliliği petrol taşıyan gemilerin taşıdığı petrolle sınırlı kalmamaktadır. Petrol dışında, kimyasal taşıyan tankerler ve diğer gemi işletmeciliğinden kaynaklanan gemi pis suları, katı çöpleri ve diğer sıvı tür atıkların illegal olarak denizlere boşaltılmasıyla da deniz kirliliği ortaya çıkmaktadır. Deniz kirliliği sadece gemilerde oluşan atıklardan kaynaklanmamakla beraber, deniz yolu taşımacılığında meydana gelmiş ve gelebilecek tanker ve benzeri kazalar sonucu oluşabilecek kirlilikte, denizlerimiz için ayrı bir risk teşkil etmektedir. Deniz güvenliğinin arttırılması ve deniz kirliliğinin önüne geçilmesi IMO'nun en önemli hedefleri haline gelmiştir.

Deniz kirliliği ile mücadele ilk olarak, Birleşmiş Milletler (UN)²'in Ekonomi ve Sosyal Konsey(ECOSOC)³'inin alt bir örgütü olan Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)⁴ tarafından yapılan 1954 tarihli ''Petrol Kirliliği Önleme Sözleşmesi'' (OILPOL)⁵'inde ele alınmıştır. Yapılan bu ilk sözleşme sonrası 1967'de meydana gelen büyük tanker faciası olarak adlandırılan ve British Petroleum (BP)⁶ şirketine ait olan 120.000 tonluk Torrey Canyon tankerinin yapmış olduğu vahim kaza, petrol taşımacılığının deniz çevresi için ne derecede büyük bir tehdit oluşturduğunu gözler önüne sermiştir. Bu kaza sonrası, İngiltere ve Fransa kıyıları petrole maruz kaldı, on

binlerce deniz canlısı yaşamını yitirdi veya zarar gördü. Yaşanan bu elim kaza sonrası Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) 1969 tarihinde, petrol kirliliğinden oluşan zararın sorumluluğu ve bu kirlilik olaylarında müdahale hakkında 2 ayrı uluslararası sözleşme yaparak, gelecekte olabilecek deniz kirliliği üzerine yeni önlemler aldı [Web 6, 2017].

2.4.2. MARPOL 73/78 (R.G. 24.06.1990-20558)

Gemi işletmeciliğinden kaynaklanan artan kazalar ve kirlilik olayları sebebiyle, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), 1973 MARPOL⁷ sözleşmesi ve takibinde 1976 ve 1977 yıllarında meydana gelen tanker kazalarından doğan tanker güvenliği ve kirliliği üzerine yeni tedbirler alarak 1978 protokolü yaptı. Bu protokol Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Hakkındaki Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL 73/78) adı altında yapılarak, 2 Ekim 1983 tarihinde yürürlüğe girmiştir [ResGaz, 1]. Yapılan bu uluslararası sözleşmeler ile gemi işletmeciliğinden kaynaklanan atıkların takip ve kontrolünün yapılarak oluşabilecek deniz kirliliğinin önüne geçilmesi sağlanmış olacak.

² United Nations (UN) 24 Ekim 1945'te kurulmuş olan Birleşmiş Milletler Cemiyeti, dünya barışını, güvenliğini korumak ve uluslararası ekonomik, toplumsal ve kültürel bir iş birliği oluşturmak için kurulan uluslararası bir örgüt.

³ United Nations Economic and Social Council (ECOSOC) Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal Konsey, üye ülkeler sistemine göre ele alınan politika önerileri formüle etmekte ve uluslararası ekonomik ve sosyal konuları tartışmakta merkezi bir forum olarak hizmet vermektedir.

⁴ International Maritime Organization (IMO) Uluslararası Denizcilik Örgütü, 17 Mart 1948 tarihinde kurulmuş, deniz emniyeti ve güvenliği ile gemilerden kaynaklanan kirliliğin önlenmesi konusunda hizmet vermektedir.

⁵ The International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil (OILPOL) 'Petrol Kirliliği Önleme Sözleşmesi.

⁶ British Petroleum (BP), merkezi İngiltere Londra'da olan dünyanın en büyük altıncı uluslararası petrol şirketidir

⁷ International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78) "Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğinin Önlenmesi için Uluslararası Sözleşme.

IMO tarafından deniz kirliliğinin önlenmesine yönelik yapılan MARPOL 73/78 sözleşmesi, gemiler tarafından üretilen/türetilen atık çeşitleri 6 ek olarak ibraz edilmiştir. Bu Ekler içerdiği gemi atık çeşidine göre aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Yapılan sözleşme gereği bu atık türlerine taraf ülkeler ve kabul tarifleri Tablo 2.2’de [Web 6, 2017] verilmiştir.

- Ek I: Petrol ve petrol türevi bulaşmış atıklar (sintine, slaç, katı slaç, kirli balast, atık yağ),
- Ek II: Zehirli sıvı atıkları,
- Ek III: Paketlenmiş olarak taşınan zehirli sıvı atıklar,
- Ek IV: Gemi pis sularından oluşan atıklar (tuvalet atıkları),
- Ek V: Gemilerden atılan katı çöp atıkları,
- Ek VI: Gemi baca gazlarından çıkan kirletici atıkları,

Tablo 2.2: Petrol türevli atık kirletici türleri.

EKLER	KİRLETİCİ TÜRLERİ	KABUL TARİHLERİ	TARAF ÜLKE SAYISI
EK I	Petrol Türevli Atıklar	1983	158
EK II	Zehirli Sıvı Atıklar	1983	158
EK III	Ambalajlı Zararlı Atıklar	1992	149
EK IV	Pis Su Atıkları	2003	144
EK V	Katı Çöp Atıklar	1988	155
EK VI	Hava Kirletici Atıklar	2005	90

MARPOL 73/78 Sözleşmesi gereği liman gemi atık kabul tesislerinin aldığı Ek I atık türü olan petrol ve petrol türevi karışmış atıkların (sintine, slop, slaç, kirli balast, atık yağ) ne olduğunu ve nasıl oluştuğunu sırasıyla açıklayacak olursak;

Sintine, makine dairesi valf ve vana devrelerinden, makine soğutma suyu devrelerinden, makine dairesi yangın devrelerinden, gemide ihtiyaç için kullanılan tatlı su devrelerinden, deniz suyu hidrofor devrelerinden, makine yağ ya da yakıt devrelerinden, makinede kullanılan yağ ve yakıtların depolandığı yedek yağ ve yakıt tanklarından kaçan sızıntıların oluşturduğu her türlü yağlı-sıvı karışımlar, gemi sintine atığını oluşturmaktadır. Sintine bölgesi, gemi makine dairesinin tüm alt bölümleri,

gemi sintine bölgesi olarak adlandırılır. Sintine suyu, Gemi makine dairesi alt tabanında biriken tüm yağlı-sıvı karışımlara sintine atığı denir. Sintine tankı, gemi makine dairesinde oluşan yağlı-sıvı atıkların oluşturduğu sintine atığının depolandığı tanka sintine tankı denir.

Slop atığı, gemi tankların yıkanması ile oluşan ve genelde tank yıkama kimyasalları olarak bilinen atığa denir. Gemi tankı üst kısmında biriken sıvı faz slop atığı, altta biriken sıvı faz ise slop suyu olarak bilinir. Bu atığın depolandığı tanka slop tankı denir.

Slaç atıkları, gemi tersaneye alındığında gemi tank diplerine, manuel temizlik yapılır ya da gemi limana demirlediğinde, dışarıdan gelen özel bir temizlik ekibi tarafından yapılır. Bu işlem sonrası kalan katı atıklar slaç olarak birikir. Gemi makine daire sintine tankları dâhil, gemide bulunan tüm ana tanklarının dibinde biriken, cürufarmış, çamurumsu görünümde olan, kalorifik değeri oldukça az, yarı-akışkan kalıntı bir atıktır. Bu atıkların toplandığı tanka ise slaç tankı denir.

Kirli Balast Suyu, gemi baş-kıç dengesini ve iskele-sancak dengesini sağlamak ve geminin seyir halinde iken geminin bir miktar batarak daha iyi manevra almasını sağlamak amacıyla, denizden alınan dengeleme suyudur.

MARPOL, sözleşmesinin iki temel amacı vardır. Denizlerin petrol, zehirli sıvılar, ambalajlı zararlı maddeler pis sular, çöpler, gaz emisyonları ile kasıtlı kirletilmesi önlenmesi ve gemilerin neden olduğu kaza sonucunda doğabilecek deniz kirlenmesinin en aza indirilmesidir [Daşhan, 2010]. Türkiye, 24.06.1990 yılında MARPOL 73/78 Sözleşmesinin Ek I, II ve V türünde atıklarına, taraf olmuştur. Sözleşmenin Ek I, II ve V. türleri ülkemizde 10 Ocak 1991 tarihinde yürürlüğe girmiş olup, diğer Ek III, IV ve VI türleri için ise taraf olma yönünde çalışmalar devam etmektedir [ResGaz, 1], [Web 7, 2017].

MARPOL, sözleşmesine taraf ülkeler, limanlarına gelen gemiler için liman atık kabul tesisleri bulundurma zorunluluğu getirmiştir. Taraf ülke limanları işletim kapasitelerine göre ihtiyaca uygun şekilde sıvı ve katı atık alım tesisleri bulundurmak zorundadırlar. Bu sözleşme, sözleşmeye taraf her sınır ülke içerisinde transit geçen ve demirleyen gemi, hiçbir şekilde denize yağ, yağ karışımı atık, katı çöp ve tuvalet atığını dökmeyi yasaklamaktadır [ResGaz, 1], [Web 7, 2017].

2.4.3. Gemilerden Atık Alınması ve Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (R.G. 26.12.2004-25682)

Bu yönetmeliğin uygulanmasındaki amaç, gemilerin normal faaliyetlerinden kaynaklanan sıvı ve katı atıkların deniz ortamına illegal yolla bırakılmasının önüne geçilmesi amacıyla gemilerden; bu tür atıkların alımının yapılması, düzenli depolanması ve bertaraf tesislerine tahliyesi ile ilgili uygulamaların yapılması ve bu amaçlar doğrultusunda atık kabul tesislerinin limanlarda dizayn edilmesi ve işletilmesi ve atık alma gemilerine yönelik usul ve esasları düzenlemektir [ResGaz, 2].

2.4.4. Gemilerden Atık Alınması ve Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (R.G. 18.03.2010-27525)

Yapılan bu yönetmelik değişikliği ile atık kabul tesislerinin dizaynı ve işletilmesi ile atık alma gemilerine ilişkin kural ve kaideleri belirlemektir. Yapılan değişiklikler;

- Atık kabul tesislerini ve atık alma gemilerini,
- Atık gemilerin ürettiği atıklar ile yük artıklarını,
- Büyükşehir Belediyesi Kanununa göre gemilerden atık alma yükümlülüğünü,
- Atık alma gemilerini,
- Gemi atıkları almak amacıyla kurulmuş atık kabul tesislerini,
- Gemi atıklarının atıkların geri kazanımı, düzenli depolanması, yakılması ve arıtılmasını,
- Deniz sınırı olan Büyükşehir Belediyelerinin sorumluluklarını,
- Atık kabul tesisleri için alınması gereken izin ve lisansları,
- Gemi demirleme yerlerini,
- Atık kabul tesislerinin Faaliyet raporu beyanını,
- Alınması gereken izin ve lisanslar,
- Gemilerin ürettiği atıklar türleri tanımlamalarını,
- Atık alım yükümlülerinin yükümlülüklerini,
- Limanlar atık kabul tesisleri işletim muafiyetlerini,
- Atık alma gemisi işleten, gemi işleticilerinin yükümlülüğü,

- Türkiye'nin deniz yetki alanlarında bulunan uğraksız gemiler haricindeki gemilerin atıklarını alma gemilerine geciktirmeksizin vermekle yükümlüğünü,
- Her geminin limana gelmeden önce yapmaları gereken atık beyanlarını,
- Gemi atıkları arıtma tesisleri için çevre lisansı işlemlerini,
- Atık verecek gemilerden atık alma işlemini gerçekleştirecek gemiler için lisans işlemlerini,
- Lisans belgesinin iptali işlemlerini,
- Gemilerin Ek-4 veya Ek-5'de yer alan atık tahliye formları ile ilgili bilgileri kapsamaktadır [ResGaz, 3].

2.5. Gemi Atıkları Arıtma Tesisleri

2.5.1. Gemi Atıkları Arıtma Tesisi Nedir?

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından yapılan, MARPOL 73/78 Sözleşmesi'ne taraf ülkelerin, kendi ülke liman sahasına girerek atık verme talebinde bulunan her türlü geminin bünyesinde oluşan MARPOL Ek türlerine ait atıkları almakla mükellef özel veya tüzel liman içi işletim tesisleridir. Bu tesislerin yeterlilikleri IMO (International Maritime Organization), MEPC⁸ (Marine Environment Protection Committee) in liman atık kabul tesisleri yeterlilikleri (Guidelines for Ensuring the Adequacy of Port Waste Reception Facilities) adı başlıklı 44. oturumunda belirtilmektedir [Web 6. 2017].

2.5.2. Gemi Atık Kabul Tesisleri Yeterlilikleri

MARPOL 73/78 Sözleşmesi gereği, taraf ülke liman sahasını kullanacak her türlü geminin operasyonel ihtiyacı dikkate alınarak, gemi bünyesinde oluşan atık türü ve miktarları için hizmet verebilme tesisleri sağlanmalıdır. Atık alım konusunda gemilere hizmet verecek tesisler atık alım süresini zamanında yapabilmelidir. Atık alım hizmet işlem süresi, hizmet alacak gemi ve atık tipine göre programlı bir şekilde yürümelidir. Atık alım hizmet bedelleri konusundaki işleyişin açık ve anlaşılır bir düzende yürütülmesi sağlanmalıdır [Daşhan, 2010].

⁸ Marine Environment Protection Committee (MEPC) Deniz Çevre Koruma Komitesi

MEPC 44.oturum atık alım tesisleri planlanmasında, aşağıdaki bazı etkenlerin dikkate alınması gerektiğini vurgulamıştır.

- Tesisler gemin limana giriş sırasında hazır olması,
- Tesisleri kullanacak gemi işletmecilerinin atık verme isteklerini olumsuz etkileyecek maliyetlerden uzak durmalı,
- Geniler için ayrılmış alanların hazır ve kullanışlı halde tutmaları,
- Limana sahasını kullanacak gelecek her türlü geminin atığını alabilecek özellikte ve kapasite bir tesis olması,
- Gemi atıklarının tahliye zamanı konusunda gemilere bilgi vermeli ve gereksiz gecikmelere sebebiyet verilmemelidir [Daşhan, 2010].

2.5.3. Gemi Atık Kabul Tesisleri Yükümlülükleri

26 Aralık 2004 tarih ve 25682 sayılı "Gemilerden Atık Alınması ve Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" gereğince Türkiye'deki tüm limanlar gemi atık kabul tesisleri kurmak ve işletme lisanslı almakla yükümlü hale getirilmiştir.

Bu yönetmeliğe aykırı bir durumda 2872 sayılı''Çevre Kanunun'' ilgili idari ceza hükümleri uygulanır.

Türkiye'nin 8.333 km'lik kıyı şeridinde liman, iskele, yat limanı (marina), balıkçı barınağı ve çekek olarak bilinen 295 adet kıyı işletmesi mevcuttur. MARPOL 73/78 Sözleşmesi gereğince sözleşmeye taraf ülke limanları atık kabul tesisi bulundurmak ve gemilere atık alım hizmeti vermek durumundadır. Gemilerden alınacak atıkların MARPOL 73/78 Sözleşmesi Ek atık türleri olarak tanımı yapılmıştır. Bunlar kısacası sırasıyla, petrol, zehirli sıvı, ambalajlanmış zararlı madde, pis su, katı çöp ve hava kirletici atıklarıdır. Gemi bünyesinde oluşan bu atıklar hiçbir şekilde denize atılamaz veya boşaltılamaz. Gemiler bu atıklarının liman atık kabul tesislerine vermek yükümlülüğündedir.

MARPOL 73/78 Sözleşmesi'ne göre limanlarda mevcut olması gereken gemi atık kabul tesisleri sahip olması gereken donanımları aşağıda sıralanmıştır. Bunlar:

- Petrol ve petrol türevi bulaşmış atıkları alma,
- Zehirli sıvıları içeren atıkları alma,

- Sıvı atıkları için atık su arıtma tesisleri bulundurma,
- Katı atıkları geçici depolayabilme alanları,
- Atık kabul onayı ve ölçümler için laboratuvar ünitesi bulundurma,
- Yükleme ve tahliye sistemleri ile gemilerin boru ve bağlantı sistemlerine uygun teknik donanımına sahip olması,
- Tesis için diğer gerekli tesis ve cihazları bulundurma gibi yükümlülükleri vardır [Daşhan, 2010].

2.5.4. Türkiye Gemi Atık Kabul Tesisleri

Limanlardaki gemi atık kabul tesisleri, yıllık bölgesel bazlı atık alım potansiyeline göre farklı kapasite ve niteliktedir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi (İSTAÇ A.Ş.) personelleri olarak, 2014 yılında 3 farklı gruba ayrılarak görevlendirme yapılmıştır. Bu görevlendirmenin amacı, Ege, Akdeniz ve Karadeniz de bulunan mevcut gemi atık kabul tesislerinin durumunu yerinde incelenmektir. Görevlerimizden bir tanesi de, elde edilecek bilgiler doğrultusunda İSTAÇ A.Ş. Haydarpaşa Gemi Atık Kabul Tesisinin ülkemizdeki diğer tesisler ile kıyaslamasını yapmaktır. Nihayetinde MARPOL 73/78 Sözleşmesi gereği, denizlerin gemiler tarafından kirletilmesinin önlenmesi aşamasındaki yeterlilik durumumuz ülkesel olarak, ortaya konulacaktı. Ülkemizdeki mevcut gemi atık kabul tesisleri olarak daha çok, taraf olduğumuz MARPOL 73/78 Sözleşmesi'nin Ek I, Ek IV ve Ek V atıklarından, Ek I atıkları olan sintine ve kirli balast suyu alımına yönelik hizmetlerimizin daha çok olduğu görülmüştür. Gemilerden alınan yağlı sintine ve kirli balast atıkları, bazı tesislerde mevcut lisanslı kara tankeri ile bazı tesislerde ise direk olarak mevcut atık alım kolektörler ile tesis depolama tanklarına transfer edilmektedir. Bu tanklarda bekletilen yağlı sintine ve kirli balast suları ısıtma sistemi yardımıyla fiziksel olarak ayrıştırıldıktan sonra, kısmen susuzlaştırılmış üst yağ fazı özel firmalar tarafından ücret karşılığında alınarak farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Geriye kalan tank altı kirli atık sular ise bazı tesislerde mevcut kurulu fiziko-kimyasal arıtma sistemleri ile bazı tesislerde ise paket arıtma sistemlerinde arıtılarak alıcı ortam kriterlerine bir şekilde deşarj edilmektedir. Türkiye'de atık alım hizmeti veren limanlar (Şekil 2.1) [Daşhan, 2010] ve yapılan atık

alım hizmeti ve atık kabul tesisleri kıyaslaması Tablo 2.3’de [İstaç, 2016] olarak aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.1: Atık kabul hizmeti veren limanlar.

Tablo 2.3: Atık alım hizmeti ve atık kabul tesisleri kıyaslaması.

Atık Kabul Tesisleri	Atık Alım Kapasitesi (m ³)		Tesis Depolama Kapasitesi (m ³)	Aylık Ortalama Hizmet Verilen Gemi Adedi	Ek-I Petrol Türevli (m ³)	Ek-IV Pis Su Atıkları (m ³)	Ek-V Katı Çöp Atıkları (m ³)
	Gemi	Kara Tankeri					
Çanakkale Kepez Limanı	9.300	-	20.000	65	16.667	5	45
İstanbul Haydarpaşa Limanı	4.925	75	1550	660	8.750	2.250	1.000
İzmir Alsancak Limanı	-	50	1.280	80	450	18	383
İskenderun Limanı	178	65	1.114	140	600	77	240
Samsun Limanı	130	115	622	70	125	0	500
Ünye Limanı	-	10	433	5	100	20	100
İzmit Derince Limanı	740	25	383	290	100	10	100
Trabzon Limanı	-	25	250	45	20	20	40
Kuşadası Limanı	-	50	170	33	185	0	525
Giresun Limanı	-	10	60	5	2	0	2

2.6. Gemi Atıkları Alımı ve Kontrolünün Sağlanması

2.6.1. Haydarpaşa Gemi Atıkları Arıtma Tesis

Ülkemizin 1990 yılında taraf olduğu “Denizlerin Gemiler Tarafından Kirlenmesinin Önlenmesi Hakkında Uluslararası Sözleşme” (MARPOL 73/78) gereğince Liman Devletlerinde Atık Alma Tesis yükümlülüğü getirmiştir. Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin tasarladığı gemi kaynaklı atıklar için liman gemi atıkları arıtma tesisleri içerikli direktiflerinde üye devletlerin limanlarında, limana uğrayan her türlü geminin atıklarını gecikmeye neden olmadan, atıklarını alabilecek yeterli kapasitede liman kabul tesislerini ve atık yönetim planlarının olması gerektiği belirtilmektedir [ResGaz, 1], [Web 7, 2017].

Bu sözleşmeler ve direktifler gereğince yayımlanmış olan 10.7.2004 tarihli ve 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunun 7’nci maddesinin (i) bendine “deniz araçlarının atıklarını toplamak, toplatmak, arıtmak ve bununla ilgili gerekli düzenlemeleri yapmak” görevini vermektedir [ResGaz, 3].

İBB yukarıda kanunla kendisine verilen bu görevi yerine getirmek için TCDD Genel Müdürlüğü ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi arasında 04.07.2005 tarihinde “Haydarpaşa Liman İşletmesinin Katı, Sıvı ve Pissu Atıkları Alım Hizmetine Ait Alt ve Üst Yapı Tesislerinin İşletilmesine İlişkin Protokol” imzalanarak çalışmalara başlanmıştır.

Stratejik açıdan da oldukça büyük öneme sahip olan ve yoğun gemi deniz trafiğinin olduğu İstanbul’da, gemilerden kaynaklanan katı ve sıvı atıklara yönelik gemilere sunulacak bu atık alım hizmeti, Büyükşehir Belediyemizin yönetiminde, Türkiye’nin en büyük çevre firması olan İSTAÇ A.Ş. tarafından sağlanmaktadır.

İSTAÇ A.Ş. ’ye verilen yetki ile firmamız Haydarpaşa Gemi Atıkları Arıtma Tesis yapımı işini 18.11.2005 yılında ihalesi bitirilerek sözleşme imzalamış ve 6 aylık süre içerisinde yapımı bitirilmiş ve hizmete sunulmuştur. Tesis Haydarpaşa liman sahası içinde 1040 m² alan üzerine kurulu olup, günde 1000 m³ petrol ve petrol türevi atığı işleyebilecek şekilde inşa edilmiştir [İstaç, 2010].

Tesisin amacı; gemilerden kaynaklanan sıvı atıkları kontrol altına alarak, deniz kirliliğinin önlenmesini sağlayarak ve alınan gemi atıklarından elde edilen petrol ve türevi ürünlerin Çevre ve Şehircilik Bakanlığından Lisans alan Bertaraf Tesislerinde

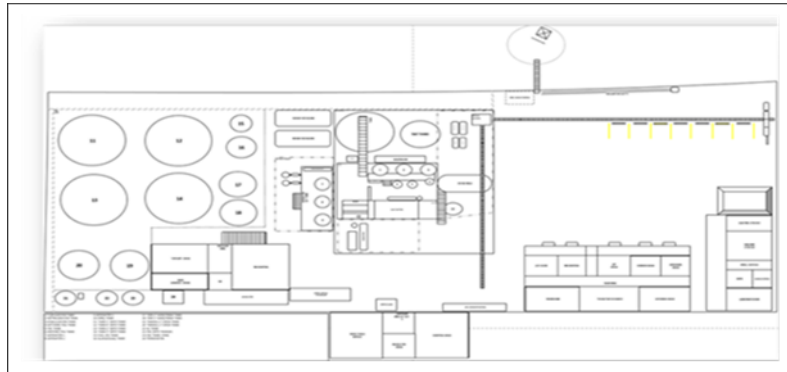
ikincil yakıt olarak kullanılmasını yardımcı olarak ÷lkemize ekonomik gelir sağlanmaktadır.



Genel görünüm 1



Genel görünüm 2



Tesis krokisi.

Şekil 2.2: Haydarpaşa gemi atıkları arıtma tesisi.

2.6.1.1. Gemi Atıkları Alım Prosedürü

2.6.1.1.1. Atık Talebi

Türkiye'nin denizleri sınırları içerisinde bulunan ve bu sınırlar içerisinde bulunmayan gemeiler hariç diğer tüm gemiler çeşitli faaliyetlerle bünyesinde oluşturduğu “Gemilerden Atık Alınması ve Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” kapsamında belirtilen tanıma uyan her türlü atıklarını, yine bu yönetmelik kapsamınmda belirtilen yetkili atık kabul tesislerine veya lisasnslı atık alma gemilerine vermekle sorumludurlar [ResGaz, 2].

Atık verecek geminin sorumluluğunu üstelenen gemi acentesi, gemide var olan atık miktarını atık alma merkezine 24 saat öncesinden haber vermelidir. Acente ayrıca sorumlusu olduğu gemide oluşan atık türünü ve geminin atığını nerede ve ne zaman vereceğinde belirtmesi gerekmektedir. Acente yapacağı bu işlemler için Atık Talep Formunu doldurarak atık türü ve miktarına karşılık gelen ücreti, atığı alacak sorumlu hesabına yatırarak almış olduğu dekontu ve atık talep formunu atık alım merkezine faks veya e-posta ile iletir. Acente bu işlemler sonrasında oluşak her türlü sorun ve değişiklikleri, atığı alma sorumlusunun yapacağı bu hizmetten en az dört saat öncesinden haber vermesi gerekmektedir.

2.6.1.1.2. Talebin Alınması

Atık alıma sorumlusuna gelen talep ve hesap belgesi (dekont) incelendikten sonra verilecek hizmet için organizasyon yapılır. Dekontsuz gelen atık verme talepleri dikkate alınmaz. Acentelerin yapmış oldukları atık talepleri çevre şartları müsaade ettiği sürece lisaslı atık alım gemileri, eğitimli ve sorumlumu personellerden tarafından yerinde ve zamanında yapılır [Web 8, 2017].

2.6.1.1.3. Atığın Alınması

Gelen atık verme talebi bilgileri doğrultusunda bu talebe uygun lisanslı atık alım gemisi görev yerine yönlendirilir. Atık verecek ve atık alacak gemiler arasında ilk iletişim sağlandıktan sonra, atık verme işleminin geminin hangi yönünden yapılacağı ve atık veren geminin boşaltım devresinin mekanik özellikleri öğrenilir. Atığın miktarı

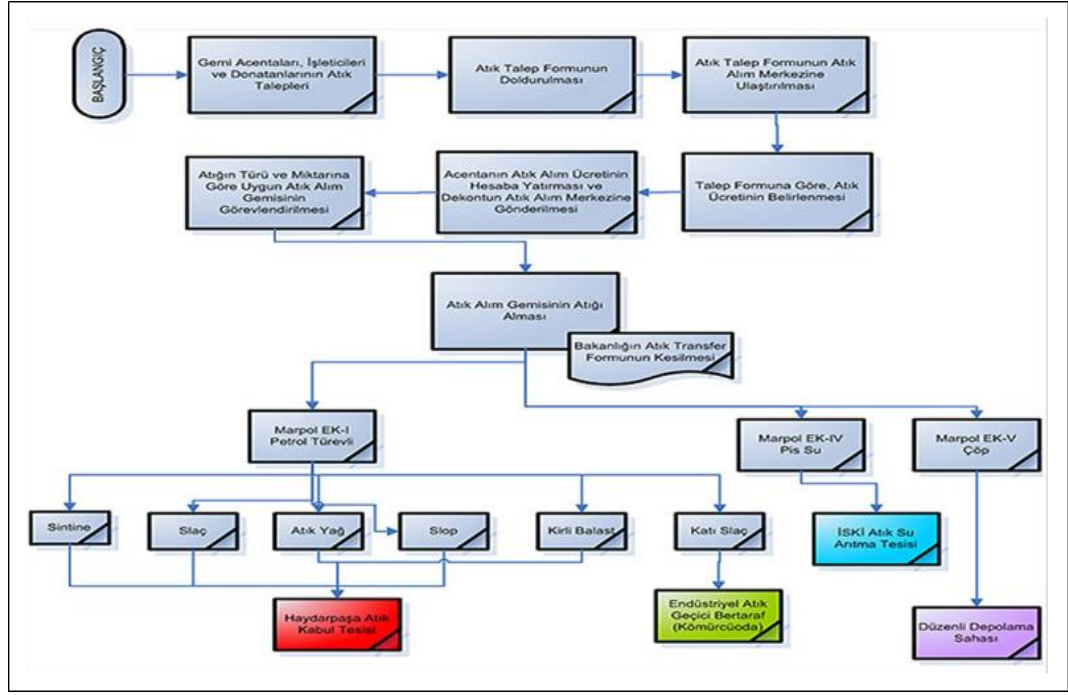
ve türü sorumlularca son bir defa daha teyit edilir. Atık alma gemisinden atık tahliyesi başlanmadan önce, atık veren ve alan gemi görevlileri tarafından iskandil (tank içi sıvı atık miktarı) ölçüsü alınır. Gerekli atık tahliye bağlantıları yapıldıktan sonra atık transfer verme işlemi başlar. Atık alım süreci bittikten sonra, alınan atık miktarı ile verilen atık miktarı karşılaştırması yapılır. Alınan atık miktarı konusunda, atık veren sorumlu ile mutabık kalınır. Yapılan işlem atık transfer formuna kaydedilerek atık veren sorumlu gemi kaptana imzalatılır ve kaşeletilerek bir örneği gemi kaptanına bırakılır [Web 8, 2017].



Şekil 2.3: Atık alım gemisi.



Şekil 2.4: Gemilerden atık alım işlemi.

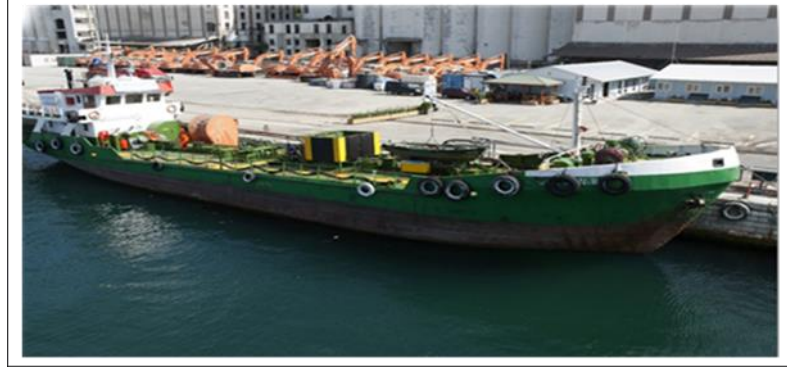


Şekil 2.5: Gemilerden atık alım süreç şeması.

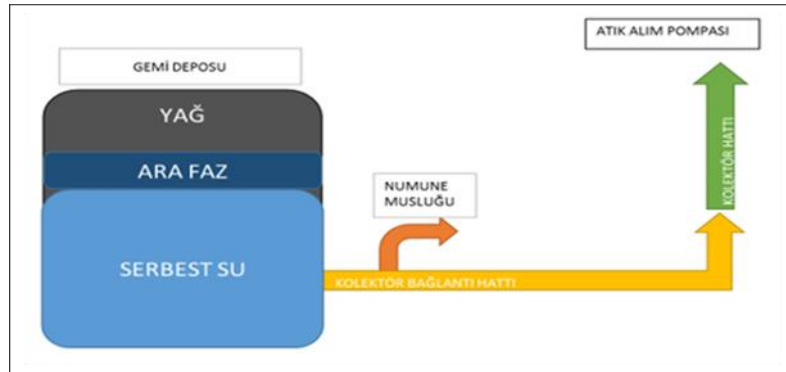
2.6.1.2. Atığın Tesise Alınması

Atık toplama gemileriyle İstanbul sınırları içerisinde gemilerden atık alınması ve atıkların kontrolü yönetmeliğine uygun şekilde MAROL 73/78 Ek1 kapsamındaki (sintine, slop, slaç, kirli balast, atık yağ), Ek IV (pis su), Ek V (çöp) kapsamındaki atıklar lisanslı atık toplama gemilerimizle atık kabul tesisimize getirilir. MARPOL Ek I kapsamındaki atıklar tesise kabul edilmeden numune alma eğitimlerini almış kimyagerler tarafından atık toplama gemilerinin tanklarından numuneler alınarak laboratuvarımızda analizleri yapılır. Özellikle atığın tehlikeli kimyasallar içermemiş olması ve arıtma prosesine uygunluğu bu numunelerden kontrol edilir. Yapılan analiz sonucu uygun bulunan atık, Şekil 2.8’de görülen kolektör hattı vasıtasıyla uygun tanklara alınır. Bu işlem geminin tanklarından alttan çekilerek yapıldığından, önce tanklarda doğal bekleme ile ayrılmış serbest su alınır, yağ fazına geçildiği zaman ise atık yağ farklı bir tanka alınır. Bu işlem hem gemi personeli hem de tesis personeli tarafından, akışa paralel hazırlanmış numune musluklarından kontrol edilir, böylelikle su fazı ve yağ fazı daha tesise alınmadan belirli oranda ayrılmış olur. Bu ayırım atığın türüne göre değişiklik göstermektedir. Tesise kabul edilen atıklar ortalama %80-90 su, %10-20 yağ ihtiva etmektedir. Olası durumlarda tesise getirilen atık, kabul kriterlerine

uymuyorsa bu uygunsuzluk tehlikeli atık kategorisinde bir durum değilse, laboratuvar ortamında tesiste var olan atıkla seyreltilir ve tekrar analiz edilir. Sonucunda başarılı olunursa tesise kabul edilir. Eğer atık tehlikeli madde (MARPOL Ek II) içeriyorsa direkt bertaraf tesisine gönderilir.



Şekil 2.6: Atığın atık alım tesisine transferi.



Şekil 2.7: Atığın gemi tankından alınım şeması.

2.6.1.3. Atık Alım Kolektörü

Atık alım kolektörü atığın tesise ilk kabul edildiği yerdir. Gemilerden alınan tüm atıklar transfer hortumlarıyla uluslararası standartlara uygun flaş ölçülerine göre dizayn edilmiş atık alım kolektör hattından tesis depolama tanklarına aktarılmaktadır. Ayrıca tesiste atığın işlenmesi sonucu elde edilen mamulün tesisten dışarıya transferi için yine aynı standartlara uygun mamul transfer hattı bulunmaktadır. Pis su tesise, atık alım kolektöründe bulunan pis su hattından kabul edilmektedir. Atık alım kolektöründe aşırı yük binmesi durumunda olası sızıntıların önlenmesi için kolektör

hattının sabit bağlantı noktalarının hemen arkasında acil bırakma kaplinleri bulunur. Acil bırakma kaplinleri atık alımı esnasında bir basınç artışı olması durumunda kolektör ile atık alım hortumunu kilitleyip bölerek sistemi ayırır. Bunun dışında gerek bağlantı gerekse sökme esnasında bağlantı ucundan damlamalara karşı geniş bir damlama tepsisi kolektör bağlantı noktasının alt kısmında bulunmaktadır. Tesiste kullanılan atık alım kolektörü 3 yollu çalışmaktadır; Atık yağ alım ve basım hattı, 4'' paslanmaz çelik malzemeden yaklaşık 150 m uzunluğundadır. Mamul basım hattı; 3'' paslanmaz çelik malzemeden yaklaşık 150 m uzunluğundadır.



Şekil 2.8: Gemi atık alım kolektörü.

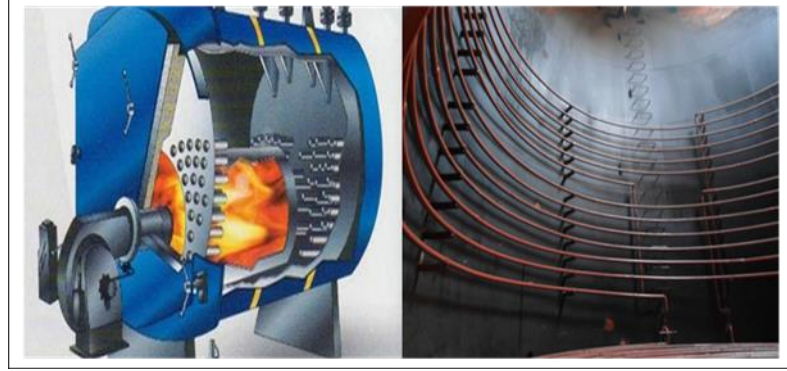
Atık alımı atık toplama gemilerinin pompaları vasıtasıyla başlatılıp tesiste bulunan 2 adet pompa ile devam etmektedir, geminin pompaları atığı yaklaşık 25 m kadar içeride bulunan atık alım pompalarına kadar iletmekte, atık alım pompaları ise atığı önceden belirlenmiş tanklara pompalamaktadır. Tanklar arasında atıkların iletimi pnömatik (basınçla çalışan otomatik) vanalar ve pompalar vasıtasıyla yapılmaktadır.



Şekil 2.9: Pnömatik vana.

2.6.1.4. Isıtma Ünitesi

Tesis içerisinde 2 adet 1.000.000 kcal/sa'lık ısıtma gücüne sahip kızgın yağ kazanı bulunmaktadır. Bu sistem bünyesinde ısıtılan kızgın yağ, tesisin tüm tankarı içerisine dizayn edilmiş serpantin sistemlerini, seperatör ve dekantör ünitesini ve transfer hatları boyunca uzanan boru ceketlerini kolektör aracılığıyla dolaşarak geçtiği ortamın sıcaklığını artırmaktadır. Bu ısıtma sistemi yardımıyla mevcut tanklarda bulunan emülsiyeye olmuş atık yağın sıcaklığı 40 derecelere kadar çıkartılarak, emülsiyeye olmuş atık yağın sudan fiziksel olarak kısmen ayrılmasını sağlanmaktadır. Bu ısıtma ünitesi aynı zamanda, susuzlaştırma işlemi için mixer tanklarında bulunan atık yağı istenilen sıcaklığa getirmede ve. eşanjörlerden seperatörlere verilen bu atık yağı nihai sıcaklık derecesine kadar ısıtmada yardımcı olmaktadır.



Şekil 2.10: Kızgın yağ destekli tank içi serpantin ısıtma ünitesi.



Şekil 2.11: Kızgın yağ ünitesi.

2.6.1.5. Depolama Ünitesi

Tesisin toplam tank kapasitesi 1580 m³ olup aktif kullanılabilir kapasitesi 600-700 m³ civarındır. Bunun nedeni proses süresince atığın belli noktalarda ayrı ayrı toplanması ve bekletilmesi gerektiğindendir. Tanklar arası transferleri sağlayan toplam 2 adet ortalama 70 m³/h kapasiteli pompa bulunmaktadır. Bu pompalar ve transfer yönünü ayarlayan pnomatik vanaların tümü PLC sistemi ile kontrol edilmektedir. Depolama alanı prosesin en önemli parçasıdır. Çünkü tüm sistemler devre dışı bırakılıp yalnızca depolayarak ve tabii ki uzun süre bekletilerek atık yağların susuzlaştırılabilmesi mümkündür. Gerek depolama kapasitesinin yetersizliği gerekse yapılan anlaşmaların karşılanabilmesi açısından bu proses mekanik ve kimyasal yöntemlerin harmanlanmasıyla kat kat daha hızlı yapılmaktadır. Bu tesisi Avrupa da benzeri bulunan tesislerden ayıran en önemli özelliklerden biri yine burada karşımıza çıkmaktadır, yıllık tesise kabul edilen atık miktarı 175-200 bin m³ civarı olmasına rağmen depolama kapasitesi, 150-170 bin m³ atık alan tesislerin 1/20'si kadardır. Bu başarı yılların tecrübesinin işe yansımından gelmektedir.

Tesisteki tüm depolama tankları (küçük kimyasal hazırlama tankları hariç) bir arada tank sahasında bulunmaktadır. Tankların hepsi toprak üstünde bulunduğundan olası bir taşma durumunda tüm hacmi içerisinde tutabilecek yalıtkan bir havuzla da çevrelenmiştir.

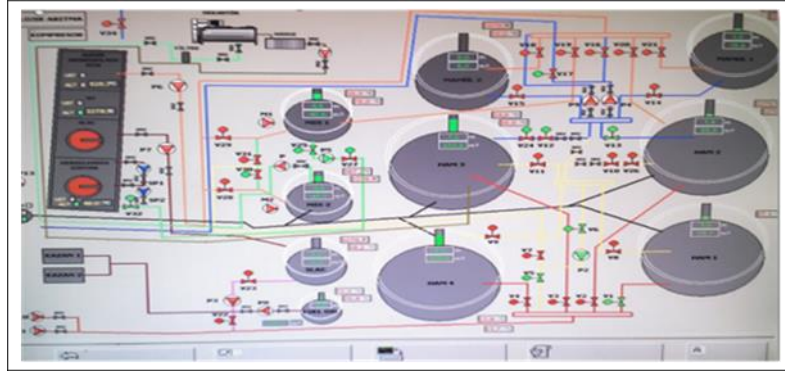
Ana depolama tankları 4 adet 300 m³ lük “Ham 1”, “Ham 2”, “Ham 3”, “Ham 4” tanklarıdır. Tüm tanklar proses için gerekli ısıyı yakalayabilmek adına serpantin devreleriyle kaplanmıştır. Serpantin devresi tankların ısıtılması için kullanılan kızgın yağın içerisinde dolaştığı borulardır. Bir nevi kızgın yağlı kalorifer devresi olarak düşünülebilir. Bu 4 ana depolama tanklarının 2 tanesi özellikle daha yalıtımlı hale getirilmiş ve serpantin devreleri tabandan tavana kadar döşenmiştir. Bu tanklar “Ham 2” ve “Ham 4” tankları olup “Ham 2” tankı ayrıca karıştırıcılı olarak değiştirilmiştir, bunun nedeni, tesise alınan atıklardan biri olan slaç atık yağının işlenmesi için kullanılan kimyasal dozajının homojen olarak yapılabilmesini sağlamaktadır.

4 ana depo tankının yanında mekanik proseste bahsi geçecek olan 2 adet karıştırıcılı 50 m³ lük “mix” tankları mevcuttur. Bu tankların tek görevi mekanik proseste birimlerden birbirlerine geçiş esnasında homojenliği sağlamaktır.

Mamül tankları, adından da anlaşılacağı üzere susuzlaştırılan atığın mamül olarak depolandığı tanklardır. Bu tanklarda da yaklaşık 1 metre kadar serpantin devresi mevcut olmasına karşın pek kullanılmamaktadır. 125 m³ lük 2 tanktır.

Slaç atık yağ tankı, 30 m³ lük bu tank mekanik proses sonucu oluşan slaçın slaç tankına geçmeden önce bekletildiği tanktır. 1 metre kadar serpantin ısıtma devresi mevcuttur.

Fueloil tankı ise kazanlar için kullanılan yakıtın(fuel-oil) depolandığı 10 m³'lük bir tanktır.



Şekil 2.12: Proses plc kontrol ekranı.

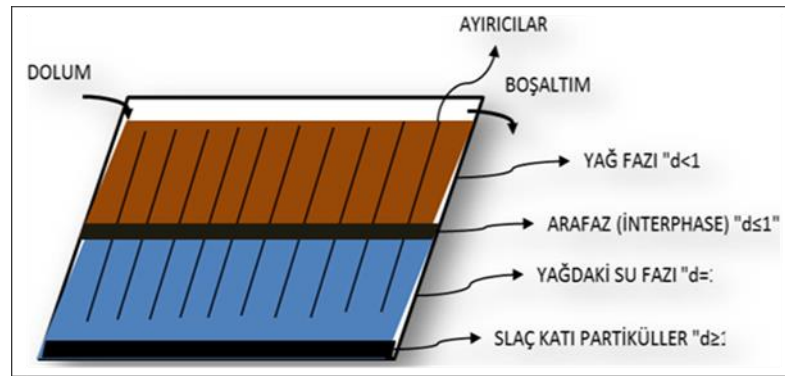


Şekil 2.13: Depolama tank sahası.

2.6.1.6. Susuzlaştırma Ünitesi

Susuzlaştırma ünitesi başlı başına bir makine veya aletle oluşturulacak bir sistem değildir. Mekanik yöntemler gerek zamandan kazanma gerekse susuzlaştırma kalitesini artırmak için kullanılmaktadır. Örneğin depo kapasitesi çok yüksek olan

benzer bir tesis yalnızca ısıtma sistemi ve belirli bir tecrübe ile atıklarını susuzlaştırabilir. Gemi kaynaklı atıklar önceki bölümlerde de bahsi geçtiği üzere petrol türevli atıklardır, amiyane tabirle yağlı atıklardır. Doğaldır ki denizden gelen yağlı atıklar deniz suyu içermektedir, bu atıklar alındıkları gibi uygun bertaraf yöntemleriyle yok edilebileceği gibi içerisindeki değerli kısım (yağ) ekonomiye geri de kazandırılabilir. Nitekim tüm dünyada da böyle yapılmaktadır, bu iş için her tesis farklı yöntemler seçse de en hızlı ve etkili yöntemi kimyasal ve mekanik sistemin beraber uygulandığı sistemlerdir. Tesisimizde de mekanik ve kimyasal sistem beraber uygulanmaktadır.

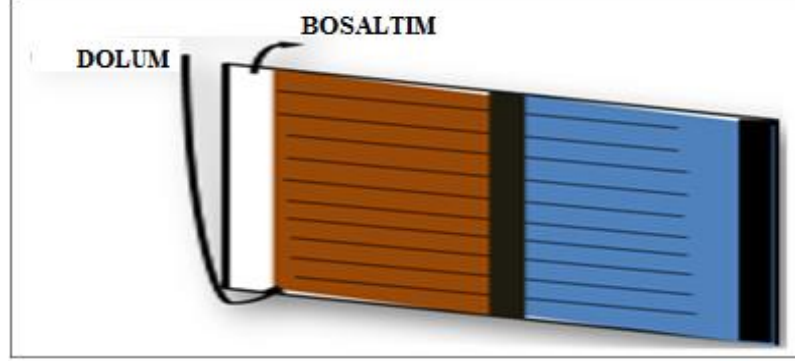


Şekil 2.14: Deneysel yağ-su ayrımı yatay görünüm.

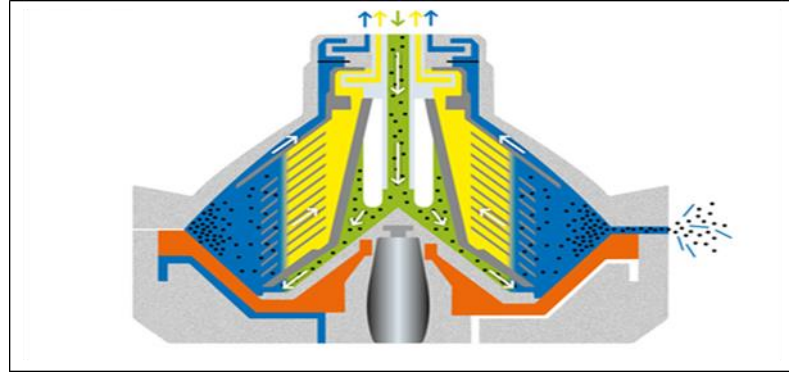
Şekil 2.14’de yağ ve suyun deneysel bir düzenekte nasıl ayrıştığı ve oluşan farklı tabakalar gösterilmiştir. Düzenekteki ayırıcı olarak belirtilen belli eğimdeki plakalar suyun etkileştiği yüzey alanını artırmakta böylelikle yerçekimi etkisi ile ayrışma daha etkili olmaktadır, plakaların eğimli olması dolum esnasında ayrışan parçaların tutunarak ayrışmayı kolaylaştırması içindir. Ayrışma sonrası kolay ayrılan su fazı ve yağ fazının yanı sıra dibe çöken katı partikül (slaç) kısmı ve ortada kalan emülsiyeye (sıvı-sıvı karışımı) olmuş yağ-su karışımı oluşmaktadır. Seperasyon (ayrışma) işleminden sonra çıkan 4 ürün de ayrı ayrı işlemlere tabi tutulur. Serbest yağ kısmında yağ içerisindeki su tamamen yok olmadığı gibi serbest su içerisindeki yağ da tam olarak giderilmez. Yağ içerisindeki su oranı seperasyon işlemi öncesinde uygulanan işlemler (ısıtma, bekletme, kimyasal uygulama) ile ve mekanik ayarlamalarla değişiklik göstermektedir.

Şekil 2.14’de ise Şekil 2.14’ü dik hale getirdiğimizi varsayarsak, Şekil 2.15 [Web 9, 2017]’deki yer çekimi etkisini de daha güçlendirilmiş şekilde merkezkaç

kuvveti etkisi ile ikame ettirirsek, yağ-su ayrımı elde etmiş oluruz. Tabii ki bu kadar etkili bir merkezkaç kuvveti yalnızca mekanik bir sistem ile elde edilebilir, işte bu sistemi bize sunan makinelere “seperatör” denir (Şekil 2.14-2.15) [Web 10, 2017].

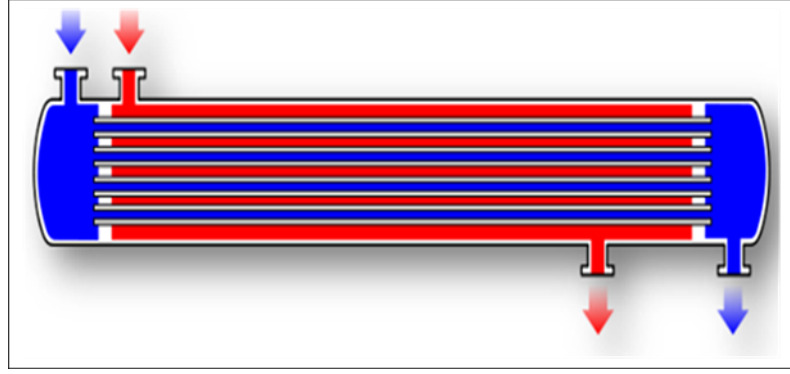


Şekil 2.15: Deneysel yağ-su ayrımı dikey görünüm.



Şekil 2.16: Seperatör iç mekanizma.

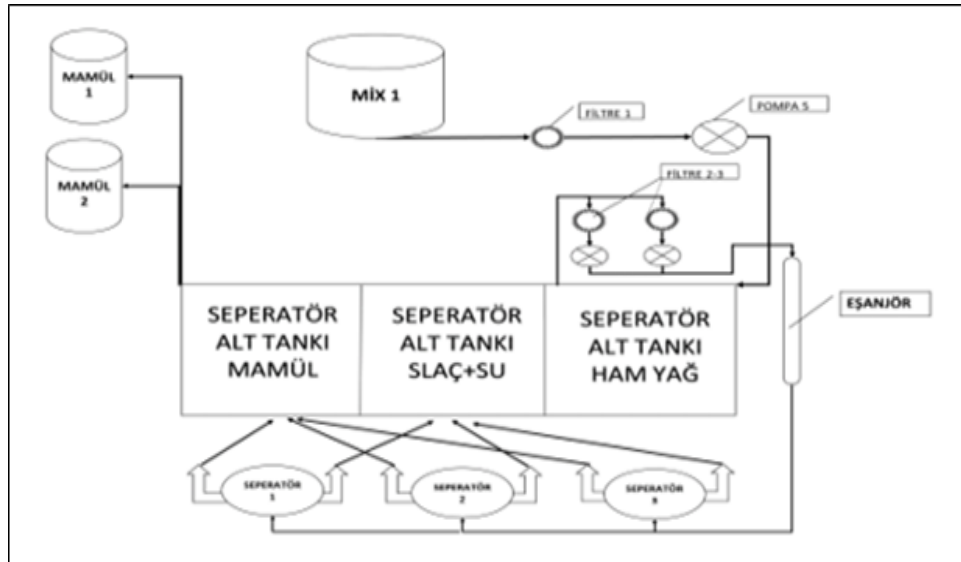
Tesiste de kullanılan seperatörler yağ-yakıt seperatörleridir. Seperatörlere giren atıklar mamul (susuzlaştırılmış atık) ve slaç-su olmak üzere 2'ye ayrılır. Seperatörden çıkan ürünler seperatörlerin altında bulunan 3 bölümlü tankın son 2 bölümüne alınır, ilk bölümde ise işlenecek ham yağ bulunur. Seperatörlerde işlenecek atığın verimini önemli ölçüde etkileyen bir diğer etken de atığın sıcaklığıdır. Seperatörlerde optimum sıcaklık 90°C'dir. Atığı seperatöre vermeden önce bu sıcaklığa çıkarmak için eşanjör sistemi kullanılmaktadır. Isı eşanjörü, bir sıvı akışkandan diğerine ısı tahliye etmek için yapılmış olup, iç aksamında bulunan sıvı karışım engelleme duvarı ile de akışkanların birbirine karışmasını engellemekte de görev yapmaktadır (Şekil 2.16) [Web 11, 2017].



Şekil 2.17: Eşanjör ısıtma sistemi.



Şekil 2.18: Eşanjör ünitesi.



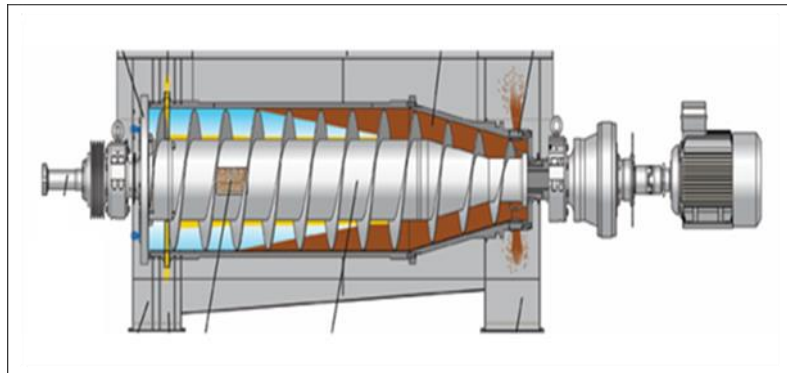
Şekil 2.19: Separatör ünitesi akış şeması.



Şekil 2.20: Separatör ünitesi.

2.6.1.7. Dekantör Ünitesi

Tesiste kullanılan dekantör alışılmış kullanım alanlarının dışında filtreleme görevi için kullanılmaktadır. Gelen atık yağ içerisinde bulunan tortuları ve katı maddeleri tutmak ve seperasyon işleminden önce atığı daha işlenebilir hale getirmek için kullanılmaktadır. (Şekil 2.20) [Web 10, 2017]. Depolama sonrasında serbest suyu alınan atık yağ mix 2 tankına basılır ve karıştırılarak homojen hale getirilir. Ardından dekantöre pompalanan atık öncesinde bir kaba filtreden geçirilir. Dekantörde ortalama %0,1(w/v) oranında katı partiküllerini bırakan atık yağ önce dekantör alt tankına oradan da Ham 3 tankına alınır. bu tankta bekletilen atık yağ santrifüj etkisiyle ayrışma eğilimine girdiğinden tekrar bir miktar serbest su bırakır. Sonrasında serbest su tekrar arıtmaya gönderilirken atık yağ ise önce Mix 1 tankına, sonrada separatör alt tankına pompalanır.



Şekil 2.21: Dekantör içi mekanizma.



Şekil 2.22: Dekantör ünitesi.

2.6.1.8. Arıtma Ünitesi

Tesise alınan atığın yaklaşık %70-80'lik kısmı yağ ile kirlenmiş sudur ve bu suyun arıtılması gerekmektedir. Bunun için tesisimizde saatte 40 m³/saat kapasiteli bir arıtma ünitesi mevcuttur. Bir arıtma ünitesi seçimi için en önemli parametre atığın türüdür ve bunu arıtılan atığın deşarjı takip eder. Tesise alınan atık endüstriyel atık sınıflandırmasına uymakta ve organik (evsel) madde içermemektedir bu yüzden atığın kirlilik seviyesi KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) ile belirtilir. KOİ, atık suyun içindeki kimyasal reaksiyonları gerçekleştirmek için ihtiyaç duyduğu çözünmüş oksijen miktarını temsil eder [Daşhan, 2010].

Bahsedilen 2. önemli parametre ise deşarj biçimi olup tesisimiz için muhtemel deşarj İSKİ kanalına deşarjdır. İSKİ kanalına yapılan deşarjlar için belirlenen sınır değerler İSKİ kanala deşarj yönetmeliği kriterleri olarak ekler bölümünde yer alan Tablo Ek 2'ye göre yapılır [ResGaz, 4]. Buradaki sınır değerler deniz deşarjına göre daha yüksektir bunun nedeni kanala deşarj edilen kirleticiler İSKİ'ye ait ikinci bir arıtma tesisine gider ve burada ikinci kez arıtılıp alıcı ortama verilir. Burada bazı sınır değerlerin olması ikinci arıtmadaki giriş standartlarını istikrarlı tutabilmek adına belirlenir.

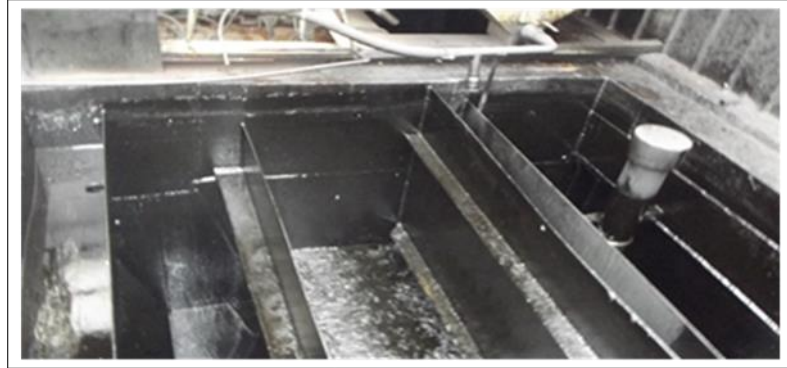
Kirleticiler su içerisinde fiziksel olarak üç ayrı noktada birikirler; çöken, askıda ve yüzen. Bu yüzden arıtmanın fiziksel kısmı tamamlanırken bu üç noktanın da göz önünde bulundurulması gerekir. Tesis arıtma sistemine alınan atık su öncelikle Şekil 2.22'de görülen ön havuz adı verilen küçük tanka (5m³) alınır. Bunun nedeni depolama tanklarından alınan suyun gözle kontrolünü sağlayabilmek ve akışı

dengeleyebilmektir. Ayrıca gözle kontrol edilerek sudan yağa geçiş gözlemlenebilir ve böylece minimum yağ kaçağıyla arıtma sistemi başlatılmış olur. Ayrıca çöken kirleticiler bu kısımda giderilmiş olur (oldukça azdır).



Şekil 2.23: Ön havuz tankı.

Yüzen kirleticinin giderimi için ön havuzdan sonra savaklama yapılır. Savak atık suyun dikey engellerle bir alttan bir üstten geçerek süzdürüldüğü ya da şelale gibi sabit bir debi kazandırma adına birbiri ardına akıtılmasıyla elde edilen yapıdır. Tesiste kullanılan atık yağ savaklama Şekil 2.23’de görüldüğü gibi dikey engelli olan şeklidir. Böylece su alttan alınırken üst kısımdan yüzen yağ süzdürülmektedir.



Şekil 2.24: Atık su yağ savaklama bölmesi.

Sonrasında askıda kalan kirleticileri gidermek içinse Şekil 2.24’de görülen DAF (disolved air flotation çözünmüş oksijen ile yüzdürme) ünitesi kullanılmaktadır. Kaba tarifiyle DAF, üstte özel sıyrıcıları olan bir havuza alttan hava üfleyerek askıda kalmış yağı yüzeye iterek toplayan bir sistemdir. Sistemde, savaktan alınan su DAF alt tankına

(12 m³) toplanır ve buradan DAF ünitesine alınır. DAF ünitesinde askıdaki yağ da alındıktan sonra atık su dengeleme havuzuna alınır.



Şekil 2.25: DAF ünitesi (çözünmüş hava flotasyonu).

Dengeleme havuzu 100 m³'lük betonarme bir havuzdur ve sızdırmazlık için sac kaplama yapılmıştır, tüm arıtma ünitesi bu havuzun üzerinde bulunmaktadır. Dengeleme tankında hidrolik bekleme süresince bekleyen atık su pompa vasıtasıyla alttan çekilerek koagülasyon tankına pompalanır. Bu tankta atık su içerisine belirli dozaj aralıklarında PAC(poli-alüminyum-klorür) eklenerek atık sudaki kirleticiler çökmeye elverişli hale getirilir [Akyatan, 2010].

Bundan sonraki işlem atık suyun pH'ını dengelendiği nötralizasyon tankında olur. Bu işlem için değişik kimyasallar kullanılmasına karşın en yoğun kullanılanları kostik ve toz kireçtir. Tesiste nötralizasyon işlemi için toz kireç kullanılmaktadır. Kireç arıtmadaki görevini yerine getirirken aynı zamanda dezenfeksiyon da yapıyor olmasıdır. Tesiste de nötralizasyon için kireç kullanılmaktadır. Fakat toz kireç direkt uygulanmaz bunun yerine ayrı bir tankta sulandırılarak uygulanır, bu hem etkisini artırmakta hem de uygulamasını kolaylaştırmaktadır [Akyatan, 2010]. 1m³ suya bir torba kireç (25 kg) gelecek şekilde karışımı hazırlanmakta ve dozaj pompalarıyla pH metreye göre dozlanmaktadır. Yani nötralizasyon tankına gelen atık suyun pH'ı sabit bir pH ölçme cihazı (pH metre) ile takip edilmekte ve pH düştükçe kireç dozlanmaktadır. Bu tankta nötr hale gelen atık su flokülasyon tankına geçer.

Flokülasyon yani yumaklaştırma; koagülasyon işleminde kimyasallarla hacim kazandırılan kolloid kirleticilerin, genellikle polielektrolitlerle çökme eğilimine sokulması işlemidir. Polielektrolitler suda çözünebilir, yüksek değerlikli iyonlar ve gruplar içeren ve oldukça yoğun molekül yapısına sahip polimerlerdir [Akyatan,

2010]. Tesiste de anyonik polielektrolit kullanılmaktadır. Katı (toz) halde satın alınan polielektrolit 1 m³ suya 1 kg oranınca hazırlanarak sabit ayarlı bir pompa vasıtasıyla uygulanmaktadır.



Şekil 2.26: Flokülasyon tankı.

Arıtma ünitesinde bulunan koagülasyon, nötralizasyon ve flokülasyon tanklarında atık su transferi cazibe ile yapılmaktadır. Cazibe ile akış doğal yollu akış olarak tanımlanabilir yani bu tanklar arasında transfer pompaları yoktur ve atık su, transfer hattına kadar dolan tanktan hat vasıtasıyla diğer tanka taşma yoluyla transfer olur. 3 tankta da karıştırıcı mevcut olup tek farkları dönüş hızlarıdır, Koagülasyon ve nötralizasyon tanklarında bu hız yüksek iken flokülasyon tankında çok daha düşüktür. Flokülasyon tankında flok oluşturulmuş atık su süzülme üzere durultucu tankına alınır. Floklar burada çökerken arıtılmış olan su Şekil 2.26’da görüldüğü gibi tankın üst savak bölmelerinden süzülerek İSKİ deşarj tankına alınır. Tanktan alınan numunelerle kontrolü yapılan su standartları aşmaması durumunda İSKİ kanalına deşarj edilir. Bu deşarj için tesisin içinde bulunduğu liman boyunca, en yakın İSKİ kanalına deşarj hattı çekilmiştir. Durultucu tankında bekletildikçe dibe çöken çamur, çamur pompasıyla filtre- prese pompalanır. Burada çamur olarak tanımlanan madde aslında daha öncede bahsi geçen floklardır.



Şekil 2.27: Durultucu tankı savaklama bölmesi.

Çamur susuzlaştırma için kullanılan Filtre-pres, mekanik yolla çamur yoğunlaştıran bir makinedir. Şekil 2.27’de görülen belirli sayıda ve alanda (en X boy) dikey plakalardan oluşan filtre-pres, bu plakalara giydirilen ve atığın türüne göre seçilen bezlere uygulanan hidrolik basınçla çamurdaki suyu süzmektedir. Tesiste kullanılan filtre-pres 100x100 cm (1m²) alanı olan 20 adet plakadan oluşmaktadır. Kullanılan bez ise polipropilen yapıdadır. Bu filtre-pres ile serbest kek haline gelen çamur tehlikeli atık bertarafı için şirketin ilgili birimine gönderilir.



Şekil 2.28: Filtre-pres.

2.6.1.9. 2005 ve 2016 Yılları Arası Faaliyet Rakamları

2005 ve 2016 yılları arası gemilerden alınan atık miktarına ait faaliyet bilgileri Tablo 2.4 ve Tablo 2.5 [İstaç, 2016] olarak ayrı ayrı aşağıda vermiştir. Tabloda görüldüğü gibi artan her yıl itibariyle alınan atık miktarı artmaktadır. Artan atık miktarı ile doğru orantılı olarak, dünya denizlerin de faaliyet gösteren gemi sayısının da aynı oranda arttığını söyleyebiliriz. Bu durum ticarete denizyolu taşımacılığının ne kadar

önemli olduğunu ve aynı zamanda bu taşımacılığının dünya denizleri için de büyük bir kirlilik potansiyeli doğuracağı da kaçınılmaz sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.

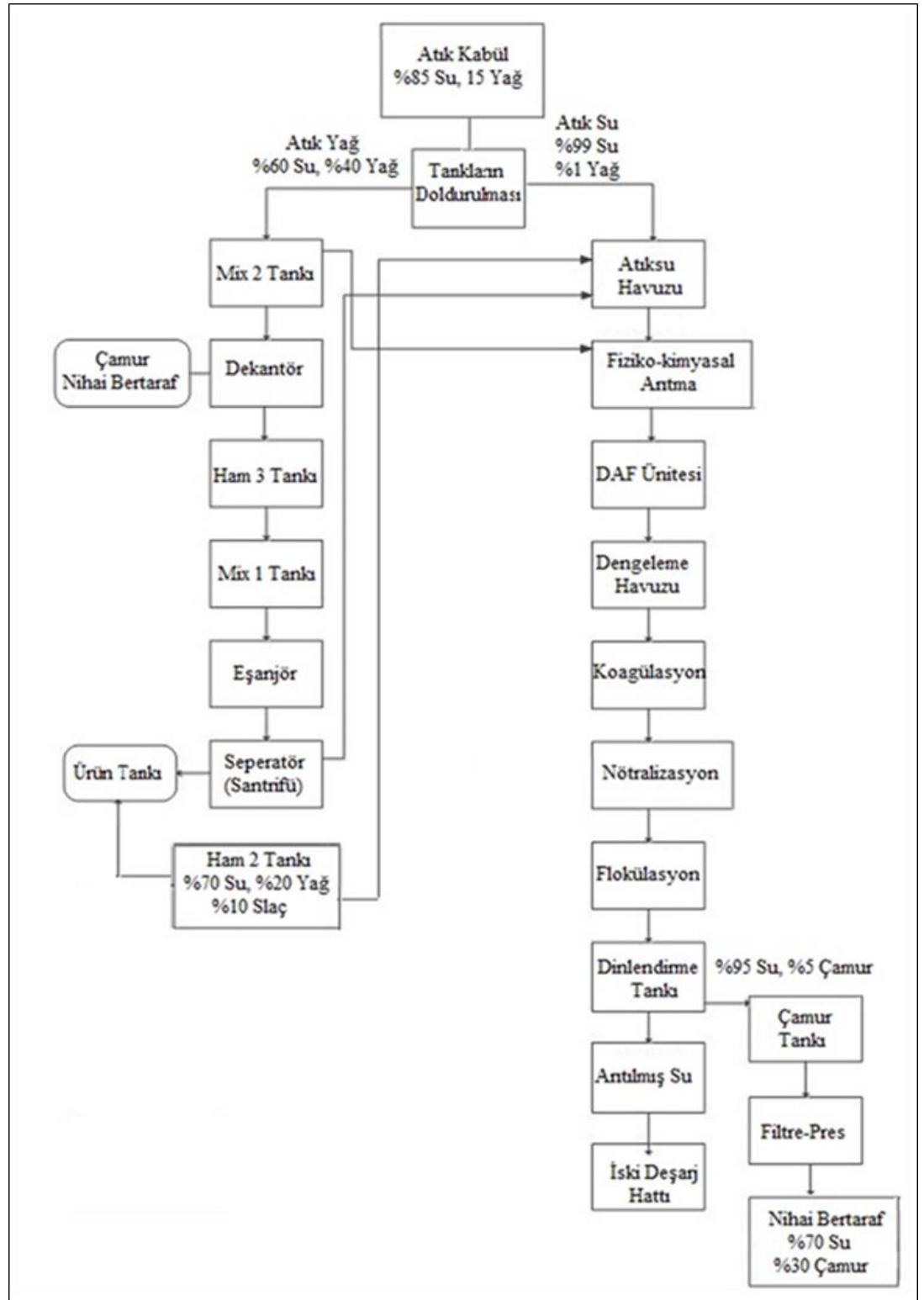
Tablo 2.4: Yıllara göre gemilerden alınan atık miktarı (metreküp).

YILLAR	ALINAN MARPOL EK (I) ATIK MİKTARI (m ³)
2005	45.000
2006	93.418
2007	74.173
2008	107.059
2009	95.031
2010	96.694
2011	93.896
2012	113.183
2013	132.381
2014	152.838
2015	181.296
2016	138.072

Tablo 2.5: Yıllara göre geri dönüştürülen atık yağ miktarı (metreküp).

YILLAR	GERİ DÖNÜŞTÜRÜLEN ATIK YAĞ
2005	6.000
2006	15.341
2007	10.163
2008	22.153
2009	17.960
2010	18.990
2011	20.937
2012	17.769
2013	16.284
2014	17.962
2015	18.856
2016	18.312

2.6.1.10. Proses Akış Şeması



Şekil 2.29: Tesis genel proses akış şeması.

2.6.1.11. Proses Özet

Önceki bölümlerde anlatılanları tekrar özetlemek gerekirse; tesise lisanlı atık alım gemileriyle getirilen atıklar özel hazırlanmış atık alım hatları vasıtasıyla yetkili personelin belirlediği depo tanklarına alınır. Gemi tankında ilk doğal ayrışımını yaşayan su ve atık yağ farklı tanklara alınarak mümkün oldukça bekletilmeye bırakılır. Sonrasında işlem iki yollu olarak devam eder, ilki sultrasesuzlaştırma, diğeri arıtmadır. Susuzlaştırma işlemleri tanklarda serbest suyun alınması ile başlar ve ardından kalan atık yağ homojenize edilmek üzere mixer tankına ve ardından da tortusuzlaştırılmak üzere dekantöre gönderilir. Dekantörden çıkan atık depo tanklarında bir süre dinlendirildikten sonra diğer mixer tankına alınarak homojenize edilir ve seperatöre vermeye hazır hale getirilir. Seperatöre verilen atık yağ eşanjör devresinden geçerek son sıcaklığına ulaşır. Seperatöre verilen atık yağ, seperatör vasıtasıyla 2 faza ayrılır. Bunlar susuzlaştırılmış mamül ve slaç yağlarıdır. Mamül geri kazanım tesisine gönderilmek üzere depolanırken, slaç ise kimyasal uygulanması için biriktirilir ve uygulamadan sonra sisteme geri beslenir.

Arıtma; depolama tankları ve gemi tankının altından alınan serbest suların yağ kapanına gelmesiyle başlar. Burada yoğun yağından ayrılan su, devamında savaktan geçirilerek yüzen yağından da ayrılır. Sonrasında DAF (dissolved-air- flotation)’a verilen suyun askıda kalmış yağ kısmı da alındıktan sonra, dengeleme havuzuna alınır. Burada önce koagülasyona sonra nötralizasyona en son da flokülasyon tanklarına alınan su, oluşan çamurunu bırakması için durultucu tankına alınır. Dipte kalan çamur filtre-presten geçirilerek yoğunlaştırılıp bertarafa gönderilirken, arıtılan su ise İSKİ kanalına deşarj edilir.

Sonuç olarak; denizlerimizin temizliği için çalışan tesisimiz görevini layıkıyla yerine getirmektedir. Dünyadaki benzer tesisler içinde depolama kapasitesi bakımından oldukça geride kalan tesisimiz işlemiş olduğu yıllık atık miktarı ve atık susuzlaştırma kalitesiyle çok daha büyük tesislerin liginde yer almaktadır. Bu başarı, yıllarını bu tesise vermiş çalışanlar ve yeniliklere açık, bütünsel bir yönetim biçimini benimsemiş yöneticilerin ortak ürünüdür.

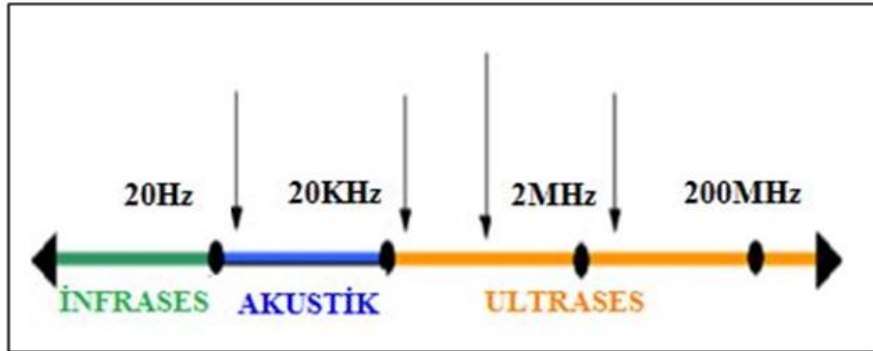
3. ULTRASESİN TANIMI ve UYGULAMALARI

3.1. Ultrases ve Özellikleri

Ses, taneciklerin dengede olduğu bir ortamdaki mekanik titreşimler olarak tanımlanmaktadır. Ses üretebilen herhangi bir düzeneğe sesin kaynağı ve bu kaynakların bu işi yaparken yaptıkları hareketlere ise ses titreşimleri denir. Ses üreten düzeneklerdeki bir tam titreşim süresine ses titreşiminin periyodu denirken, saniyedeki devir sayısına ise o sesin frekansı adı verilir. İnsan kulağı frekansı 20-20.000 Hz. arasındaki dalgasal enerjiyi ses olarak algılamaktadır [Büyüktanır ve Karadağ, 2010].

Ultrases, insan kulağının işitemeyeceği düzeydeki yüksek frekanslı ses dalgalarıdır. Ultrases akustik bir dalgadan ibarettir [Büyüktanır ve Karadağ, 2010].

Ultrases 20 KHz ile insan kulağının duyabileceği aralıkta iken, gaz ortamında 5 MHz, sıvı ve katılarda ise 500 MHz'e kadar ulaşan seslerdir (Şekil 3.1) [Zengi, 2011].



Şekil 3.1: Sesin frekans aralıkları.

Ultrasesin varlığı 1920'lerde başlayan bilimsel çalışmalarla ortaya çıkmış ve zamanımıza kadar süre gelmiştir. Ultrases uygulamalar pek çok alanda günümüzde kullanılmaktadır. Frekans değerine göre ses 4 kategoride incelenmektedir;

- İnfrases(İnfrasund): 0-20 Hz. Frekans aralığındadır,
- Duyulabilen Ses (Audible Sound): 20-20.000 Hz. Frekans aralığındadır,
- Ultrases (Ultrasound): 20.000 Hz. ile 1GHz. Frekans aralığındadır,
- Hiperses: 1GHz.'den yukarı bir frekans aralığındadır [Büyüktanır ve Karadağ, 2010].

Ultras ses dalgalarının, su içerisindeki hareket esnasında kavitasyon oluşumu gözlenir. Kavitasyon sıvı ortamdaki basınç değişiminden kaynaklanan baloncuk oluşumu, büyümesi ve nihayetinde patlaması olayıdır. Ultras ses dalgalarının sıvı içiresine iletilmesiyle sıvı içerisinde meydana gelen titreşim dalgalarının sebep olduğu basınç farklılıkları baloncukları meydana getirir. Bu baloncuklarda büyüme gözlenir ve zamanla kendi içerisinde doğru küçülme göstererek içeriye doğru çökme olur. Kavitasyonunun sürekli ve süreksiz olmak üzere iki çeşittir. Sürekli kavitasyon, süreksiz kavitasyona göre zayıf olup, süreksiz kavitasyona hedef olan baloncuklar, çok daha hızlı şekilde çökerek çöküntü bölgesinde yüksek sıcaklık ve basınca sebebiyet verir. Baloncuklar çöktüğünde, sıvının sıcaklığı ve basıncı sırasıyla 2000–4000 Kelvin ve 330atmosfere kadar çıkabilmektedir. Bu sıcaklık ve basınç sıvı karışım içerisindeki Hidrojen atomu ve Hidroksil iyonlarının açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Bu atom ve iyonların sıvı karışım içerisinde meydana gelmesini ile kimyasal reaksiyonlar zinciri başlayarak organik kimyasal zincirlerin kırılması söz konusu olur. Aynı zamanda kavitasyon sıvı içerisinde karıştırma parçalama katı yüzey alan artırımı gibi mekanik etkilere de sebep olur [Zengi, 2011].

Ultras ses üretiminde piezoelektrik olaylardan yararlanılır ve bunun için prob veya transduser denen düzenekler kullanılır. Bazı kristal ve seramik malzemelere, dışarıdan mekanik bir basınç uygulanması durumunda kristal üzerinde elektriksel bir gerilimin oluşması piezoelektrik olarak açıklanır. Piezoelektrik ilk olarak 1880 yılında Piere ve Jacques CURİES adında iki kardeşin kristaller üzerinde yapmış olduğu çalışma sonucunda tespit edilmiştir. Kristaller üzerine bir ağırlık bindiğinde veya eksenleri boyunca sıkıştırma gibi kuvvete maruz kaldıklarında kristaller üzerinde piezoelektrik denen bir gerilimin olduğunu gözlemlemişleridir [Cansu, 2008].

Son yıllarda biliminde gelişimi ile artık seramik transdüserler kullanılmaya başlanmıştır. Ultras ses üretmek için kullanılan prob (transdüser) cihazında nihai titreşim dalgalarını elde etmede aşağıdaki resimde de görüldüğü gibi piezoelektrik özellik gösteren disk şeklindeki özel seramik kristaller kullanılmıştır. Bunlar birbirlerine bağlı birçok kristalciklerden oluşur ve istenilen şekle sokulabilen özellikte polikristal yapıdadırlar. Yüksek sıcaklıkta fırınlarda sertleştirilen diskler, yüzeyleri yukarıda da belirtildiği gibi ince iletken bir metalle (altın, gümüş, alüminyum) kaplanarak prob iç mekanizmasına monte edilir [Cansu, 2008].

Ultrasesin cihaz içerisinde sırasıyla nasıl gerçekleştiği resimlerle gösterilecek olursa;



şekil 3.2: Ultrasonik prob i mekanizma.

Piezoelektrik zellik gösteren kristaller daha çok, disk veya prizma şekline getirilerek yüzeyleri ince iletken bir metal (altın, gümüş veya alüminyum) ile kaplanır. zeri ince iletken bir metal kaplanmış seramik kristaller şekil 3,4’de gösterilmiştir. Kristalin alt ve üst yüzeylerine mekanik basınc uygulanması durumunda yüzeylerde kutuplaşmalar olurken tam tersi bir durumda ise voltaj frekansına bağlı olarak hızlı bir şekilde uzama ve kısalmalar meydana gelir. Bu mekanik uzama ve kısalmalar (titreşimler) ultrasesi meydana getirir. Başka bir deyişle piezoelektrik çift yönlü gerçekleşen bir durumdur. Piezoelektrik özelliği gösteren kristaller üzerine yüksek bir basınc uygulaması ile elektrik üretimi olurken tam tersi bir durum olan düşük voltaj uygulanması durumunda ise frekans (titreşim) retilir.

Elektrik alanda boyları kısalıp uzayabilen maddelere ferroelektrik madde denir. şekil 3.3’de görülen prob mekanizması içinde olan ferroelektrik madde, transdüserden gelen elektrik alanına maruz kaldığında, metal çubuk boyunda nanometrik ölçeklerde uzamalar ve kısalmalar meydana gelmektedir. Ferroelektrik metalde meydana gelen bu uzama ve kısalma hareketleri metal çubuk yönü üzerinde bulunan şekil 3.4’deki piezoelektrik özellikteki seramik kristallere iletilmektedir. Kristaller zerine gelen bu hareketler, kristaller üzerinde titreşim meydana getirerek prop baş ve u kısmına kadar radial bir şekilde iletilir. Böylelikle belirli frekans aralıklarına sahip titreşimler meydana gelmiş olur [İnce ve Tekin, 2002].



Şekil 3.3: Elektriksel alanda boyları uzayıp kısalabilen ferromanyetik metal.

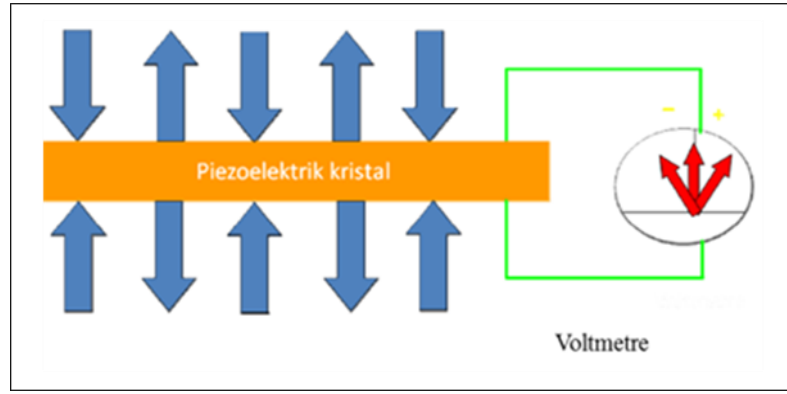


Şekil 3.4: Piezoelektrik özelliğine sahip seramik kristaller.

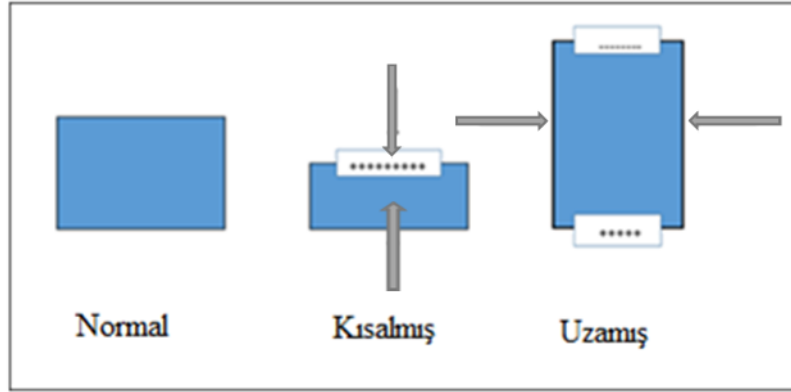
Piezoelektrik özellik gösteren bazı kristalleri aşağıda sıralanmıştır. Bunlardan en çok kullanılanı ise Baryum Titanat (BaTiO_3) kristalidir.

- Kuvartz (SiO_2),
- Lityum Sülfat (LiSO_4),
- Baryum Titanat (BaTiO_3),
- Kurşun Zinonat Titanant,
- Rochelle Tuzu gibi kristallerdir [Cansu, 2008].

Piezoelektrik özelliği gösterebilen kristaller, üzerlerine mekanik bir basınç uygulandığında Şekil 3.5 ve 3.6'da gösterildiği gibi bir değişim meydana gelmektedir [Büyüktanır ve Karadağ, 2010]. Ultrasesin fiziksel özellikleri de aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 3.5: Piezoelektrik etki.



Şekil 3.6: Piezoelektrik kristale uygulanan basınç ile oluşan kutuplaşma.

- Akustik Empedans

Ultrasesin değişik ortamlardan yansımaları sağlayan özelliğidir. Akustik empedans (Z) ortamların akustik momenti olarak da tanımlanır [Büyüktanır ve Karadağ, 2010].

$$Z = v \cdot d \quad (3.1)$$

- v : ortamdaki ses hızı
- d : ortam yoğunluğu

- Ultrases Şiddeti

Eneji gücünün ölçümü ultrases ışınının şiddetidir (yoğunluğu) ve ışının yayılma doğrultusuna dik birim alandan geçen enerji miktarıdır. Bu şiddet;

$$I = 2\pi \cdot f^2 \cdot d \cdot v \cdot A^2 = \frac{p^2}{2 \cdot d \cdot v} \quad (3.2)$$

Birimi: watt/m²

- A: ses dalgası genliği,
- v: hız,
- f: frekans,
- p: basınç genliği,
- d: ortam yoğunluğu,
- I: Ultrasesin Enerji Şiddeti (Watt/m²) [Büyüktanır ve Karadağ, 2010].

- Ultrasesin Soğrulması

Ultrases enerjisinin belli bir kısmı, ortamın viskozitesinin azalması sırasında soğrularak tükenir ve böylece yaşanan enerji kaybı sebebiyle yayılan ışının şiddetinde de bir azalma söz konusu olur. Soğurulan ultrases miktarı, dokunun derinliği (x) ve ışının frekansı ile doğru orantılıdır. Ultrases şiddet değişimi exponansiyel olup bu değişimin formülü aşağıda verilmiştir [Büyüktanır ve Karadağ, 2010].

$$I = I_1 \cdot e^{-x\alpha} \quad (3.3)$$

- α : cm'deki soğurma katsayısı,
- x: derinlik [Büyüktanır ve Karadağ, 2010].

Ultrasesin etkileri, fiziksel kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç sınıfa ayrılabilir:

Fiziksel Etkiler

- Kabarcık Oluşturma Etkisi: ultrases dalgaları sıvılarda kabarcıklanma yaratır,

- Isı Etkisi: Ses titreşiminin aynı zamanda ısı enerjisine dönüşümüyle bulunduğu ortamı ısıtmasıdır,
- Sis Oluşumu: Ultrases dalgası sıvı ve sıvı yüzeyi(hava) sınırında yansıdığında sıvı molekülleri sıvı yüzeyine doğru püskürerek sıvı yüzeyinde bir sis tabakası oluşturur.

Kimyasal Etkiler

- Reaksiyon tepkimesi hızlanması,
- Oksitlenme oluşumu,
- Bileşim bozulması olayı,
- Kaynama sıcaklığı değişimi,
- Bileşik molekül yapı zincirlerinin dağılımı gibi etkilerdir.

Biyolojik Etkiler

- Isı Etkisi: Ultrasese etkisine bırakılan maddenin ısındığı tespit edilmiştir,
- Elektriksel Etkisi: Sıvı ortamında titreşim dalgası oluşturan seramik kristallerin yüksek frekanslarda piezoelektrik olayı üretmesi,
- İvme Etkisi: Ultrasese maruz kalan ortam parçacığı büyük bir ivme ile titreşir [Büyüktanır ve Karadağ, 2010].

3.2. Ultrasesin Uygulama Alanları

Ultrases kullanımı ilk olarak I. Dünya Savaşı'nda deniz kuvvetleri tarafından düşman denizaltıları tespit etmek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Geçen zaman içinde bu yöntem sanayide metallerin kusur ve çatlaklarını saptamak kaydıyla kullanılırken, tıpta ise ultrason adıyla bilinen alt ile insan vücudundaki dokularda oluşan bozuklukları, anne rahmindeki bebeğin durumunu, cinsiyetini ve insan hayatına etki eden birçok durumu ortaya çıkarmak gibi alanlarda kullanmaya başlanmıştır. [Cansu, 2008].

Ultrases için diğer kullanım alanlarına bakacak olursak;

- Biyolojide, saflaştırma ve hücre parçalamada,
- Mühendislikte, delme, öğütme ve kesme işlemlerinde,

- Jeolojide, maden ve petrol arama işlemlerinde,
- Endüstride ise başta metal ve kimya olmak üzere endüstrinin gibi birçok alanlarında kullanılmaktadır [Zengi, 2011].
- Ultrasesin özellikle sanayide,
- Metallerin toz haline gelmesinde,
- Özel metal alaşımları yapımında,
- Farklı gaz karışımlardaki gazları ayırmada,
- Fabrika çıkışlı kirli gaz emisyonlarındaki askıda katı maddeleri çöktürerek kurtarmada,
- Fabrika çıkışlı gaz emisyonların temizleyerek havanın kirlenmesini önlenmesinde,
- Değişik sanayi alanlarında temizleme işlemi yapmada,
- Gıda sanayinde gıdaları yabancı ürünlerden arındırmada ve sterilize etmede,
- İnşaat sanayinde sert maddeleri delme işlemi görevi gören matkaplarda,
- Elektrik sanayinde ultrasesli kaynak makinelerinde,
- Ultrasonik sistem ile çalışan çamaşır ve bulaşık makinelerinde,
- Deniz altı tarama ile denizaltı haritalandırmada kullanılan sonar cihazlarda,
- Denizaltı çevre kontrolü görevi gören radarlarda kullanılmaktadır [Web 12, 2017].

Ultrases uygulamalarda diğer bir kullanım alanına bakacak olursak; ultrasesin direkt filtrasyona nasıl etki ettiği üzerine bir araştırma yapılmıştır. Yapılan bu araştırmada, çıkış suyu kalite standartlarını tutturmak maksadıyla sentetik ham su ve havza çıkış suları kullanılmıştır. Araştırmada uygun filtrasyon süreleri elde etmek için yumaklaştırma işleminde yardımcı olmak amacıyla ultrases kullanımı yapılmıştır. Yumaklaştırmada kullanan malzeme artışı filtre ömrünü kısaltmaktadır. Kısalan filtre ömrünü artırmak içinse belli aralıklarla sık sık geri yıkma suyu kullanarak filtre geri yıkama yapılmaktadır. Bu da nihayetinde temiz su şebekesi ve rezervuarlardan kullanılan geri yıkama suyu tüketimini artırmaktadır [Zengi, 2011].

Yapılan çalışmalarda görülmüştür ki; ultrases kullanımının filtrasyon ömrüne aşırı bir fayda sağlamamakla birlikte yalnızca yumaklaştırıcılarla kullanımının, çıkış suyunda bulanıklık ve parçacık gideriminde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda faklı yumaklaştırıcı kimyasallarla kullanılması kıyaslanmış ve alum ile

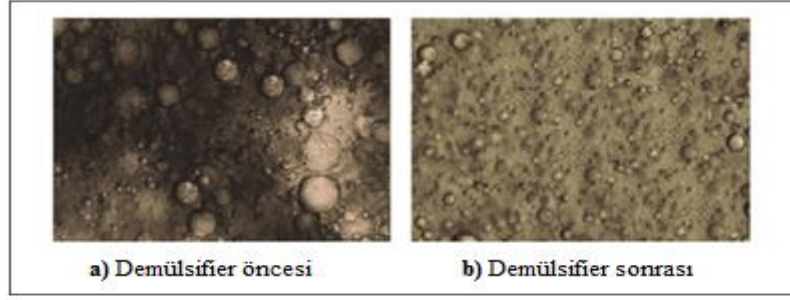
kullanımının, demir klorüre göre daha uygun çıkış suyu standarttı sağlandığı tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada tespit edilen diğer bir nokta ise; ultrases gücünün 4.44 Watt/L'den 8.89 ve 13.33 Watt/L'ye yükseltilmesi, çıkış suyundaki bulanıklığı artırdığı ve parçacık gideriminde verimi düşürdüğüdür. Çıkış suyu standartlarına en uygun ultrases şiddetinin 8,89 W/L olduğu ve bu güç üzerine çıkılması durumunda hiçbir olumlu etki sağlamadığı anlaşılmıştır [Zengi, 2011].

Ultrases ile yapılan başka bir uygulama alanına değinecek olursak; ağaçların bazı fiziksel özelliklerini belirlenmesinde kullanılmıştır. Prizma şekline getirilen ağaç numuneler üzerinden ultrases geçiş süreleri ölçülerek yoğunluk ve hacim hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen bu bulgular ışığında ağaca ait lame sabitleri olan μ ve λ , hacim modülleri, sıkışma katsayıları ve dinamik elastik sabitleri gibi özellikler belirlenmiştir [Cansu, 2008].

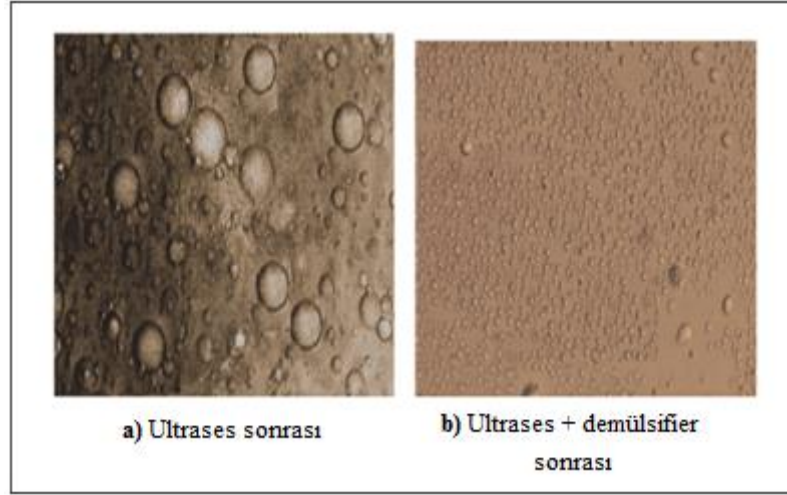
Ultrasesin kullanıldığı diğer bir araştırma ise ham petrol yağında emülsiyeye halde bulunan suyu ayırma işlemine yardımcı olmak amacıyla kimyasal demülsifier ile birlikte kullanılmıştır. Bu uygulamada farklı sıcaklık aralıklarında denemeler yapılmıştır. Aşağıda verilen bazı fotoğraflar 70°C derece üzeri bir sıcaklıkta ham petrol yağına kimyasal kullanımı öncesi ve sonrası ve aynı zamanda kimyasal ile birlikte kombine olarak ultrases kullanımı öncesi ve sonrası görüntülerine ait fotoğraflardır (Şekil 3.7-9) [Mingxu et al., 2016].



Şekil 3.7: Kullanılan ultrasonik düzenek.



Şekil 3.8: Demülsifier öncesi ve sonrası.



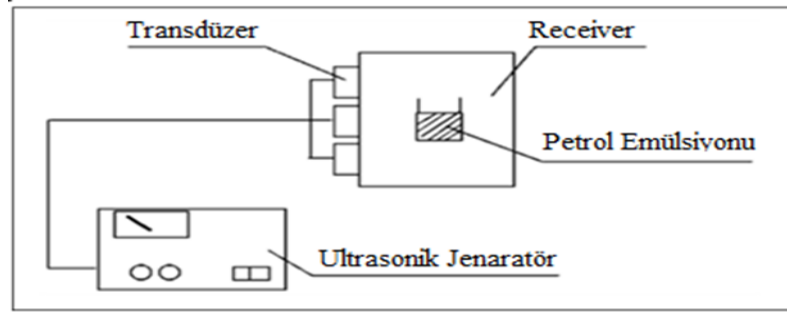
Şekil 3.9: Ultrases ve ultrases demülsifier sonrası.

Nihayetinde kimyasalın ultrases ile kullanımının oldukça faydalı olduğu tespit edilmiştir. Ham petrol bünyesindeki suyu ayırmada kullanılan kimyasalın ultrases ile birlikte kullanılmamasında ise bu etkinin daha az olduğu görülmüştür. Elde edilen diğer bir bulgu ise ultrases gücünün, kullanım süresinin ve karışım sıcaklığının artırılması deney sonuçlarına pek bir fayda sağlamamıştır [Mingxu et al., 2016].

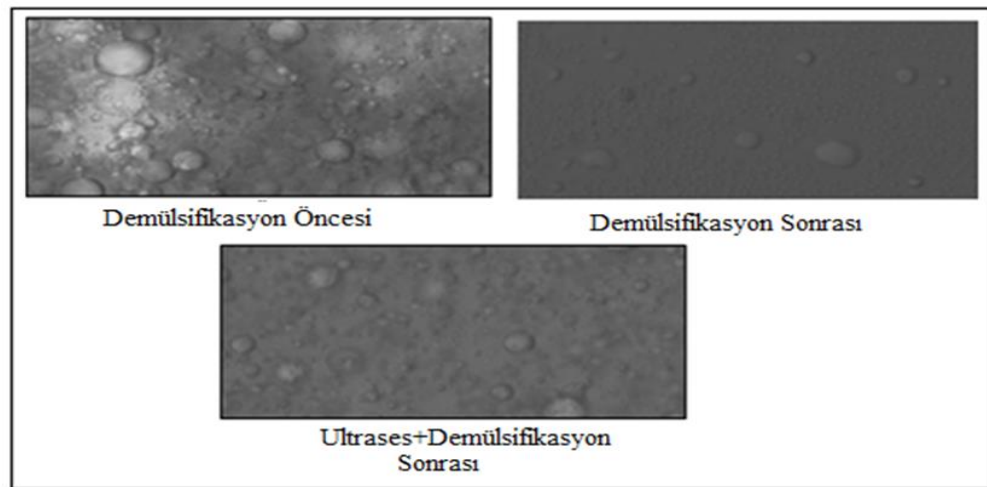
Doğu Çin bölgesindeki petrol sahalarının birçoğu işlenen ham petrol ürününün ara yüzey tabakası aşırı su ile dolu bir yoğunluğa sahiptir. Bundan dolayıdır ki; bu aşırı su ile dolu olan bu ara yüzey yoğunluk tabakasının işlemek için kullanılan yüzey aktif kimyasallar ham petrol emülsiyonunu daha kararlı hale getirmekte ve sudan ayrılmasını zorlaştırmaktadır. Bu bölgede yapılan bir araştırmada, su ile karışık halde bulunan ham petrol emülsiyonunu ultrasonik demülsifikasyon metot adı altında kombine metot ile ayrıştırılmıştır (Şekil 3.10-11) [Yang et al., 2009]. Kullanılan bu yöntemle en iyi sonuçlar sırasıyla, 100 Watt ultrasonik güç, 10 dakika uygulama süresi, 50mg/L (50 ppm) kimyasal dozajı ve 75 derecede emülsiyon karışım sıcaklığı

ile elde edilmiştir. Bu metot ile yüksek su içeriğine sahip emülsiyeye olmuş ham petroldeki nihai dehydrate oranı (su ayrımı) ve demülsifikasyon hızı, düşük su içeriğine sahip emülsiyeye olmuş ham petrole oranla daha iyi olduğunun tespiti yapılmıştır. Bu metottan ile emülsiyeye halde bulunan ham petrolün içermiş olduğu suyun büyük çoğunluğunu separe (ayırmak) etmenin mümkün olabileceği tespit edilmiştir [Yang et al., 2009].

Yapılan tez çalışmasında ise kullanılan metot her ne kadar aynı olsada, farklı olan parametre sıcaklıkla alakalıdır. Tez çalışmamızda emülsiyon karışımının sıcaklığının daima düşük tutulduğu (20-25°C) ve bu sıcaklık aralıkları doğrultusunda ultrasonik kimyasal metodun, emülsiyeye ortamdaki suyu ayırmada ne kadar başarı sağlayacağı gözlemlenmiştir. Böylece emülsiyeye ortamlardaki suyu ayırmada kullanılan ısıtma maliyetlerinin maliyetinin önüne geçilip geçilemeyeceği konusunda fikir elde edilmiştir

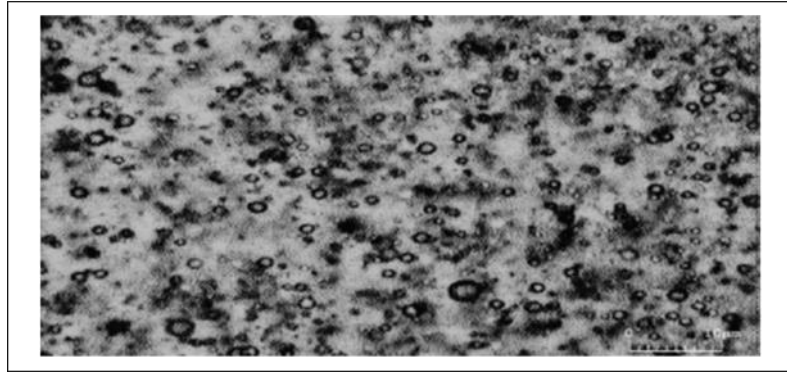


Şekil 3.10: Ultrasonik kimyasal metot deney düzeneği.

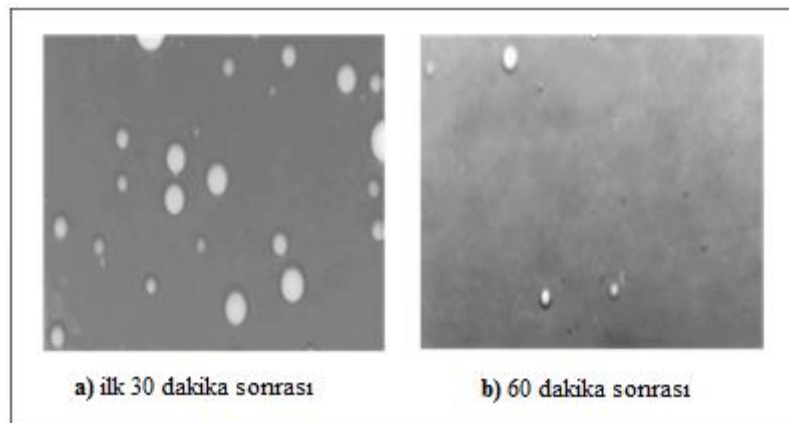


Şekil 3.11: Ham petrol emülsiyonundaki su damlacıklarının yayılımı.

Ultrasonik metodun ham petrolün susuzlaştırma ve tuzsuzlaştırma işleminde kullanıldığı başka bir deneysel araştırmaya ortaya konulmuştur. Bu araştırmada ham petrol yağı 80 derece sıcaklıkta 5 dakika boyunca $0,38 \text{ W/cm}^2$ bir güç altında ultrasonik ses dalgasına maruz bırakılmıştır. Bu işlem sonrası susuzlaştırma oranının %92,6, tuzsuzlaştırma oranının ise %87,9 olduğu gözlemlenmiştir. Rafineri sonrası nihai tuz oranının 3,85 mg/L değerlerine düştüğü görülmüştür. Aynı zamanda bu araştırma çalışmasını yürüten grup, elektrik proses ile ultrasonik uygulama metodunu birleştirerek kombine bir yöntem çalışması yapmışlardır. Bu kombine yöntemin bu tür uygulamalarda daha başarılı sonuçlar vereceği üzerine fikirler ortaya koymuşlardır. Yapılan kombine çalışmanın görsel sonuçları aşağıda gösterilmiştir. (Şekil 3.12-13) [Guoxiang et al., 2008].

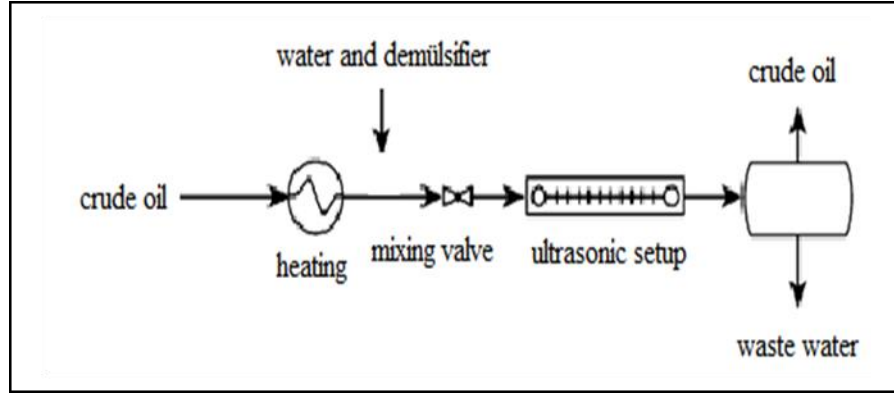


Şekil 3.12: Ultrases uygulama öncesi yağ-su emülsiyeye karışım görünümü.



Şekil 3.13: Ultrases uygulama sonrası yağ-su emülsiyeye karışım görünümü.

Literatüre baktığımızda ultrases uygulama metodu yine başka bir uygulama metodu olan elektriksel tuz giderme metodu ile birleştirilerek, hem petrol yapağındaki su ve tuz oranı giderilmeye çalışılmıştır. Kombine olan bu uygulama düzeneği aşağıdaki Şekil 3.14’de görülmektedir [Guoxiang et al., 2008].



Şekil 3.14: Ham petrol susuzlaştırma ve tuzsuzlaştırma ultrasonik proses düzeneği.

Bu çalışmada kullanılan ham petrol, Yangzi Petrochemical Company (YPC), SINOPEC şirketinden tedarik edilmiştir. Uygulama işlemi başarılı bir şekilde sonuçlanması için kullanılacak en iyi şartlar aşağıda sıralanmıştır.

- %5 su içerik,
- 30µg/gr dozajında (30ppb) demülsifier,
- 0,45 MPa karışım basınç düşüşü,
- 10KHz frekans ve 150Watt’lık ultrasonik ses dalga gücü,
- 3-5 dakika uygulama zamanı,
- 1,2 kV/cm elektriksel yoğunluk,
- 20 Litre/saat aralığında ham petrol giriş debisi,
- 80°C derece ham petrol karışım sıcaklık [Guoxiang et al., 2008].

Bu şartlar doğrultusunda ultrasonik-elektriksel proses ve elektriksel proses sonuçları karşılaştırılması yapılmıştır. Ham petrol rafine işlemi için oldukça yoğun olan tuz içeriğinin

4. MATERİYAL ve METOD

4.1. Materyaller

4.1.1. Atık Yağ Numunesi

MARPOL 73/78 Sözleşmesi gereği gemi taşımacılığında kaynaklanan ve liman gemi atık kabul tesislerinin almak zorunda olduğu Ek (I) atık türü olan petrol ve petrol türevi bulaşmış atık yağlar (sintine, slop, slaç, kirli balast) bu çalışmada atık yağ numunesi olarak kullanılmıştır. Numunenin su içeriği %50-60 arası emülsiyeye olmuş yağ-su karışımı şeklindedir. Bu su oranı tesise alınan atık yağın serbest suyu alındıktan sonra nihai olarak kalan yağ-su karışımıdır (Şekil 4.1). Petrol ve petrol türevli su ile karışık atık yağların susuzlaştırılması ile elde edilen nihai atık yağların kategori analiz raporu ekler bölümünde Tablo Ek 1 olarak verilmiştir [Rapor, 2013].



Şekil 4.1: Çalışmada kullanılan petrol türevli atık yağ numunesi

4.1.2. Ultrasonik Prob ve Özellikleri

Atık yağ numunesi içerisinde bulunan emülsiyeye olmuş suyu ayırmada (demülsifikasyon) kullanılan mevcut mekanik, ısı ve distilasyon işlemlerine alternatif olarak kullanılan ultrasonik ses dalgası cihazının kısımları Şekil 4.2 ve 4.3’de gösterilmektedir. Çalışmada ECOTECNE (Model ECO20) marka, sabit frekans (27 KHz) ve 0-3000 Watt ayarlanabilir güç özelliğine sahip ultrases jeneratörü kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan prob ise radyal etkili olup, 0.21 m² toplam efektif ultrases alanına sahip silindirik paslanmaz çelik malzemeden üretilmiştir (Şekil 4.2).

Yapılan deneyler için uygulanan ultrasonik şiddet ve güç aralıkları Tablo 4.2’de verilmektedir.

Tablo 4.1: Radyal etkili ultrases probu teknik özellikleri.

Maximum güç	3000 W
Frekans aralığı	25-27 kHz
Voltaj	AC 230 V
Materyal	316 paslanmaz çelik
Toplam uzunluk	118 cm
Çap	55 mm
Prob ucu uzunluğu	100cm



Şekil 4.2: Radyal etkili ultrases probu fotoğrafı ve şematik görünümü.



Şekil 4.3: Ultrases jeneratörü.

4.1.3. Ultrases Reaktörü ve Şematik Deney Düzeneği

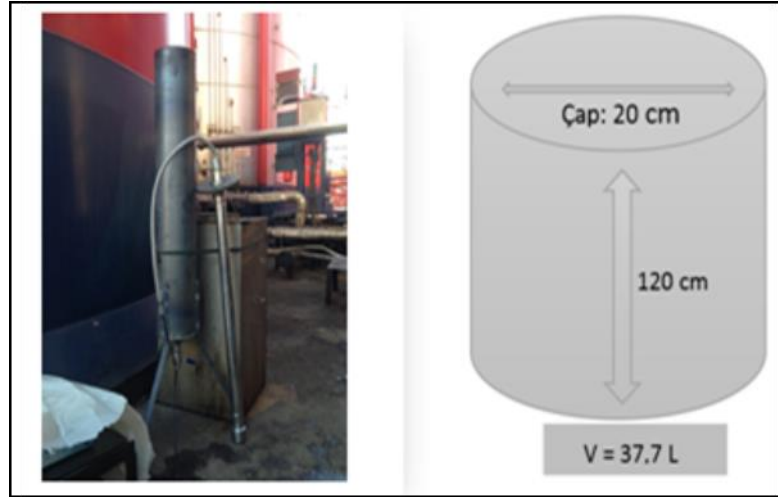
Atık yağın bulunduğu ve ultrases probunun daldırıldığı silindirik reaktörün görünümü ve şematik çizimi Şekil 4.4’de gösterilmektedir. Reaktör, 120 cm

derinliğinde ve 20 cm çapında paslanmaz malzemeden yapılmıştır. Çalışma esnasında kullanacak haznenin stabil kalmasını sağlayacak özellikte alt taraftan desteklemeli ayaklara sahip olması, ayrılan su fazının alt kısımdan tahliye edilebilmesini sağlayacak açma kapama aparatı (musluk) ve ayrılan alt su fazının daha iyi ayrılması bakımından silindirik haznenin alt tarafı huni şeklinde tasarlanmıştır.

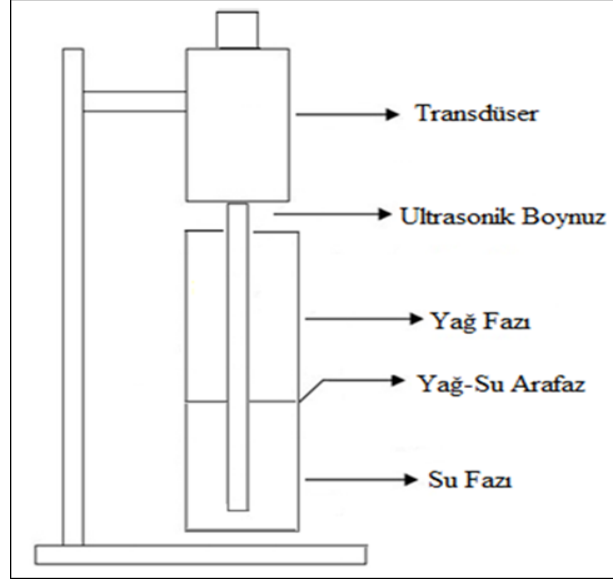
Şekil 4.5’de görülen şematik deney düzeneği, reaktör içerisinde bulunan atık yağ numunesine daldırılan ultrasonik probun reaktör içerisindeki pozisyonunu ve yapılan her uygulama sonrası yağ ve suyun ultrasonik etkiyle birbirinden ayrılarak oluşturduğu fazların reaktör içerisindeki durumunu göstermektedir.

Tablo 4.2: Alan ve hacme uygulanan ultrasonik şiddet ve güç değerleri.

Ultrasonik Şiddet (I)		Ultrasonik Güç	
Uygulanan Güç (Watt)	Birim (Watt/cm ²)	Uygulanan Güç (Watt)	Birim (Watt/L)
1000	0.49	1000	29.41
1500	0.73	1500	44.12
2000	0.97	2000	58.82
3000	1.46	3000	88.24



Şekil 4.4: Metal silindirik reaktör.



Şekil 4.5: Ultrases uygulama deney düzeneği.

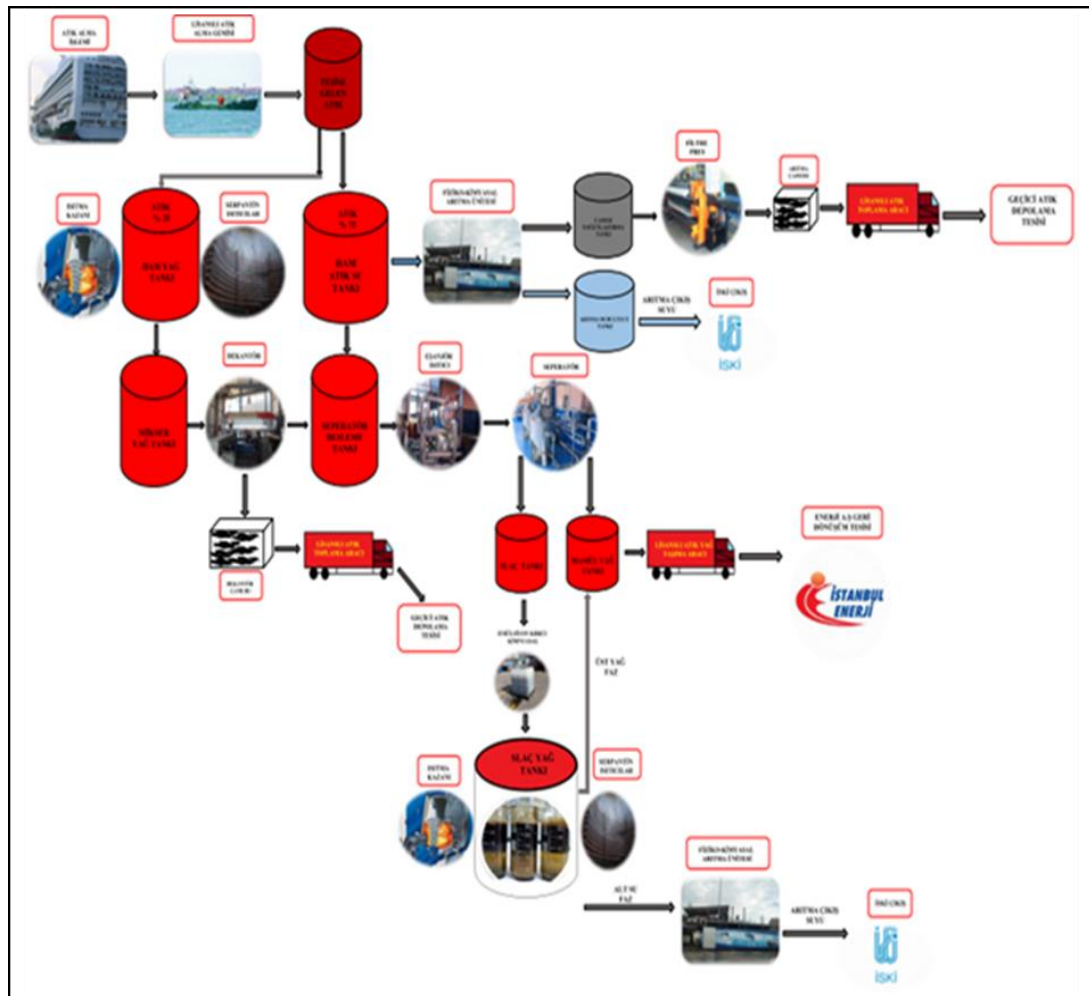
4.1.4. Kullanılan Kimyasallar

Emülsiyon kırıcı olarak tesis içinde farklı yüzey aktif maddelerin (alkol etoksilat vb.) çeşitli organik solventlerde çözülmesiyle hazırlanan bir kimyasal kullanılmaktadır. Kullanılan kimyasalın dozajı tesis içinde geliştirilen standart ile belirlenmiştir.

4.1.5. Çalışma Alanı

Bu çalışma kapsamında yer alan deneyler, İ.B.B İSTAÇ A.Ş. Haydarpaşa Gemi Atıkları Arıtma Tesisi'nde yürütülmüş ve tesise kabul edilen atıklar ile gerçekleştirilmiştir. Tesise lisanslı atık alım gemileriyle getirilen atıklar özel hazırlanmış atık alım hatları vasıtasıyla yetkili personelin belirlediği depo tanklarına alınmaktadır. Gemi tankında ilk doğal ayrışımı (yoğunluk farkı sebebiyle) gerçekleşen su ve atık yağ farklı tanklara alınarak mümkün oldukça bekletilmeye (prosedüre göre en az 6 saat) bırakılır. Sonrasında işlem iki yollu olarak devam eder, ilki sultrasesuzlaştırma, diğeri atıksu arıtmadır. Susuzlaştırma işlemleri tanklarda serbest suyun alınması ile başlar ve ardından kalan atık yağ homojenize edilmek üzere mixer (karıştırma/homojenizasyon) tankına ve ardından da tortusuzlaştırılmak üzere dekantöre gönderilir. Dekantörden çıkan atık, depo tanklarında bir süre dinlendirildikten sonra diğ mixer tankına alınarak homojenize edilir ve seperatöre

Atıksu arıtma; depolama tankları ve gemi tankının altından alınan serbest suların yağ kapanına gelmesiyle başlar. Burada yoğun yağından ayrılan su, devamında savaktan geçirilerek yüzen yağdan da ayrılır. Sonrasında DAF'a (dissolved air flotation) gönderilen suyun askıda kalmış yağ kısmı da alındıktan sonra, dengeleme havuzuna alınır. Burada önce koagülasyona sonra nötralizasyona en son da flokülasyon tanklarına alınan su, oluşan çamurunu bırakması için durultucu tankına alınır. Dipte kalan çamur filtre presten geçirilerek yoğunlaştırılıp bertarafa gönderilirken, arıtılan su ise İSKİ kanalına deşarj edilir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6: İstaç gemi atıkları arıtma tesisi atık yağ susuzlaştırma proses adımları.

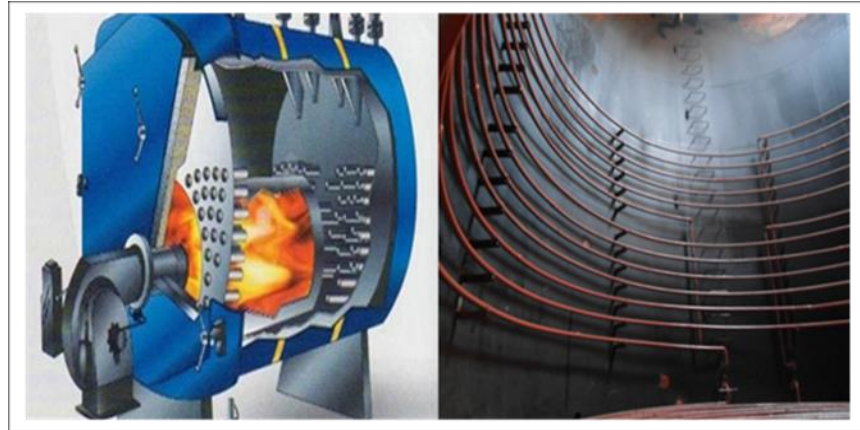
Önerilen bu çalışmada ise ultrases kullanılmasıyla birlikte, mevcut proseste var olan ve yukarıda detayları verilen seperatör, dekantör, karıştırıcı, işlem öncesi bekleme, tank içi ısıtma işlemi gibi proses adımlarına ihtiyaç duyulmamakta ve sistem ısıtmada kullanılan kızgın yağ kazanı ve bu ısıtma sistemine yönelik tank içi serpantin dizaynı gibi işlemlere gerek duyulmayacaktır.

4.2. Petrol Türevli Atık Yağ Susuzlaştırmada Uygulanan Mevcut Yöntemler

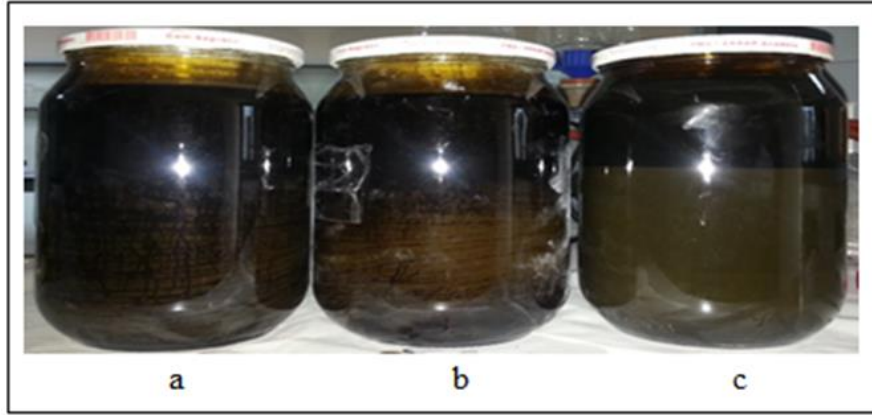
Projenin ne kadar başarıya ulaştığını görmemiz açısından, işletmede yapılan mevcut sistemler baz alınmış ve sistemin işleyişine göre şahit numune alınarak, uygulanacak proje metodu ile aynı anda çalışmalar yürütülmüş ve deneysel sonuçları karşılaştırılarak, uygulanan metodun nihai başarı yüzdesi saptanmıştır. Şimdi sırasıyla atık yağ susuzlaştırma işlemlerinin nasıl yapıldığına bakalım.

4.2.1. Isıl İşlem

Bunu için mevcut sistemde yapılanı özetleyecek olursak; gemilerden toplanan petrol ve petrol türevi bulaşan atık yağlar, mevcut silindirik tanklar içerisinde serpantin yardımıyla ısıtılarak 60 ila 80°C' arasına kadar ısıtılır. Kızgın yağ kazanı destekli serpantin ısıtma içerikli depolama tanklarında ısıtılan atık yağ, fiziksel ayrışma sonucunda serbest su ve yağ olarak 2 faza ayrılır. Belirli bir bekleme süresinde su oranı %10'un altında olan üst yağ fazı emülsiyeye ortamdan ayrılmış olur.



Şekil 4.7: Kızgın yağ destekli tank içi serpantin ısıtma ünitesi.



Şekil 4.8: Depolama tank içi temsili faz ayrımı görünümü, a) Isıtma sonrası ilk 8 saat sonrası, b) 12 saat sonrası, c) 18 saat sonrası tank içi yağ altı serbest su ayrışma faz görüntüleri.

4.2.2. Mekanik İşlem

Depolama tanklarında ısıtılan atık yağ, fiziksel ayrışma sonucunda serbest su ve yağ olarak 2 faza ayrılır. Depolama tanklarında tank altı serbest suyu alınan emülsiyeye olmuş yağ-su karışımı karıştırıcı tanklarına alınarak homojen hale getirilir. Emülsiyeye olmuş atık yağ ortalama 90°C kadar ısıtılır ve santrifüj esaslı seperatöre verilir. Temel vazifesi yoğunluk (kütle/hacim) farkına bağlı olarak emülsifiye karışmış iki maddenin birbirinden ayrılmasını sağlamaktır. Şekil 4.9’da seperatör sisteminin fiziksel temelleri belirtilmiştir, ayrılmayı sağlayabilecek kadar yoğun bir merkezkaç kuvveti oluşturabilmek için seperatörler 7200 devir/dakika) hızla dönmektedir.

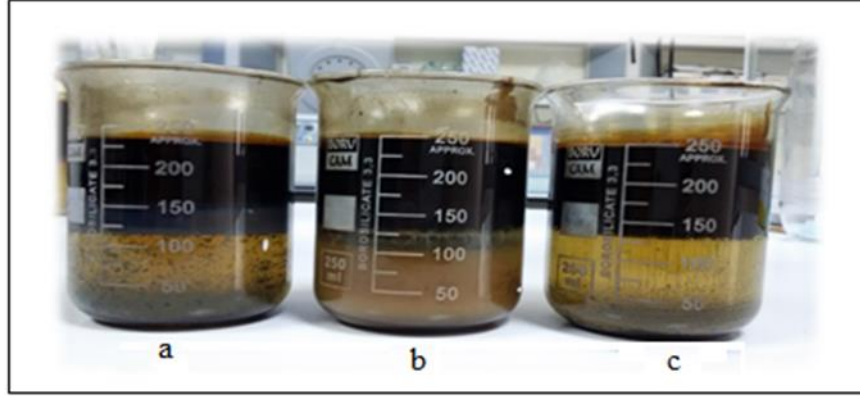


Şekil 4.9: Seperatör ünitesi.

Seperatörler de kendi aralarında işledikleri atığa veya çalışma prensiplerindeki farklılıklara göre türlere ayrılır Bunlardan tesis ile alakalı olanları sintine separtörleri ve yağ-yakıt seperatörleridir. Aralarındaki fark sintine seperatörleri su içerisinde bulunan (%1-2 arası) yağı ayırırken, yağ-yakıt seperatörleri yağ içerisindeki suyu almak üzere çalışır. Seperatörlerde işlenecek atığın verimini önemli ölçüde etkileyen bir diğer etken de atığın sıcaklığıdır. Seperatörlerde optimum sıcaklık 90°C’dir. Atığı seperatöre vermeden önce bu sıcaklığa çıkarmak için eşanjör sistemi kullanılmaktadır. Merkezkaç etkisi ile kenarlara itelenen katı partiküller seperatörün “şoklama” yapması sonucu dışarı atılır. Şoklama seperatörün iki ana parçasının harici bir su basıncı ile bir miktar açılıp kapanması ile yağdaki tortuyu dışarı atması işlemidir. Şoklama özellikle yağ seperatörleri için çok önemlidir, yağ içerisindeki tortular eğer şoklama ile seperatör dışına atılmazsa tıkanmalara ve sistemin sürekli durdurulmasına neden olur. Tesiste de kullanılan seperatörler yağ-yakıt seperatörleridir. Seperatörlere giren atıklar mamul (susuzlaştırılmış atık) ve slaç-su olmak üzere 2’ye ayrılır. Böylece atık yağ, asıl hedef olan %10 su içerikli susuzlaştırılmış atık yağ olarak elde edilmiş olur.

4.2.3. Kimyasal İşlem

Atık yağdaki suyu ayırmada ikinci bir yöntem olarak kimyasal ile separe metodu geliştirilmiştir. Bunun için Alkyl Sulfonic Acid, Ethanolamine ve Alcohol Ethoxylates gibi organik kökenli emülsiyon kırıcı kimyasal kullanılmaktadır. Depolama tankına alınan ve ortalama 80°C’ye kadar ısıtılan serbest suyu alınmış emülsiye olmuş atık yağ su karışımına belli oranlarda kimyasal emülsiyon kırıcı eklenir. Depolama tankında bulunan atık yağ-su ve kimyasal karışım belli bir zaman periyodunda, tank içerisine monte edilmiş olan bir karıştırıcı yardımıyla karıştırılarak atık yağ-su karışımın kimyasal ile homojen hale gelmesi sağlanır. Böylece depolama tankı içerisine eklenen kimyasalın en yüksek verimle etkisini göstererek, atık yağ- su karışımındaki suyu ayırmadaki başarı yüzdesi artırılmış olur.



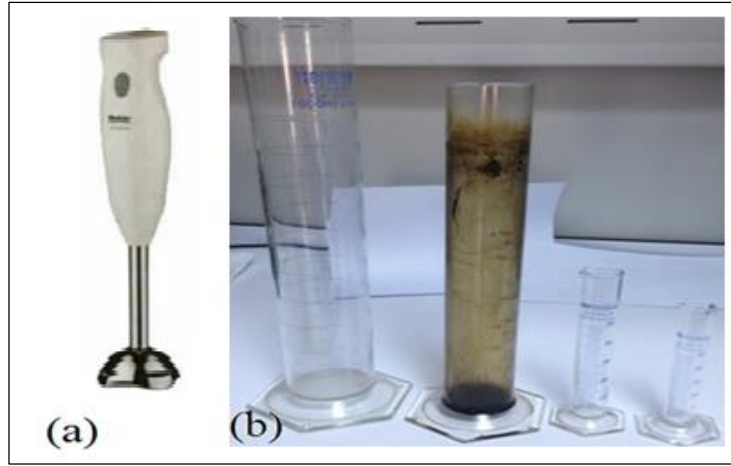
Şekil 4.10: Laboratuvar çalışması emülsiyon kırıcı faz ayırma görünümü, a) Kimyasal işlem sonrası ilk 30 dakika sonrası, b) 1 saat sonrası, c) 2 saat sonrası su ve yağ fazı ayrışma görüntüleri.

Tesiste işlediğimiz atıklar da petrol türevli atıklar olduğundan emülsiyon kırıcı çalışmalarının sonuçları çok olumlu olmuştur. Tesiste emülsiyon kırıcı uygulaması yoğun olarak seperasyon sonucu oluşan slaç-su karışımına uygulanmaktadır. Burada bahsi geçen slaç aslında seperasyon işlemi esnasında oluşan ara faz kısmıdır. Bu kısım tam emülsiye olmuş olduğundan yağ, yapısındaki suyu doğal ayrışım sürecinde bırakamaz, bu slaç-su karışımı arafaz 90°C'ye kadar ısıtılır ve emülsiyon kırıcı uygulanır. Fakat spesifik emülsiyon kırıcıların etkili olabilmesi için belirli koşulların sağlanması gerekmektedir. Tesisteki atıklar içinse en önemli koşullar sıcaklık ve su oranı olarak belirlenmiştir. Emülsiye yağ içindeki su oranının en az %60 olması emülsiyon kırıcının çalışabilmesi için oldukça önemlidir.

4.2.4. Ultrasonik İşlem

4.2.4.1. Numune Hacmi Ölçme Ve Homojenleştirme

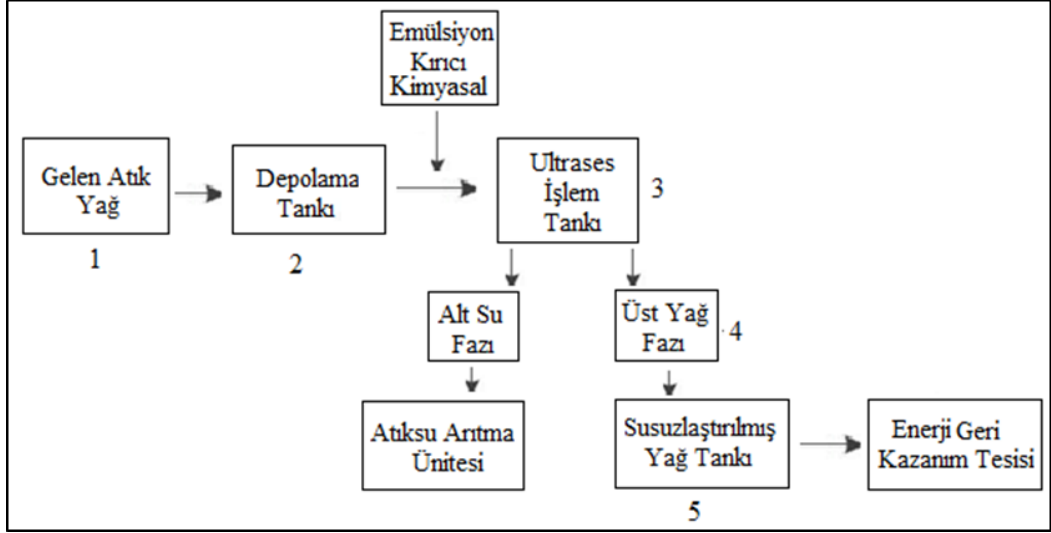
Reaktördeki atık yağ numunesine emülsiyon kırıcı da ilave edildiğinden işlem sırasında homojen bir karışım halinde olması gerekmektedir. Gerçek saha uygulamasında bu karışım, atık yağın pompalama ve dirsekli borular ile transfer edilmesinden dolayı kendiliğinden meydana gelmektedir. Bu çalışmada ise kesikli deneyler yürütüldüğünden ilave bir mixer kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan mixer ve su ve yağ fazının hacimlerini ölçmek için kullanılan mezürler Şekil 4.11'de sunulmuştur.



Şekil 4.11: Mekanik karıştırıcı ve ölçekli mezür, a) Mekanik karıştırıcı, b) Ölçekli mezür.

4.2.4.2. Deneysel İşlem

Deney adımları ve detayları Şekil 4.12. ve Tablo 4.3’de gösterilmektedir. Deneyler, elektriksel güç (ultrasonik güç ve şiddet cinsinden de ifade edilmiştir), işletme süresi ve EK dozajı parametreleri olmak üzere, atık yağın susuzlaştırılma performansına etkisini incelemek amacıyla üç grupta gerçekleştirilmiştir. Her deney öncesi saha içi depolama tankından alınan atık yağdan minimum 50 mL atık yağ numunesi alınarak ASTM D95 (Petrol Türevli Atık Yağlarda Su Tayin Testi) yöntemi ile su içeriği belirlenmiştir. Her bir deneyde, numune reaktöre konmadan önce EK katılarak mixer ile karıştırılmıştır. Susuzlaştırma işlemine hazır hale gelen atık yağ numunesinden 34 L alınıp reaktöre doldurularak içerisine ultrases probu daldırılıp, ultrases jeneratörü istenen güce ayarlanarak deney başlatılmıştır. Her deney sonunda reaktör alt kısımda biriken su fazı, mezüre alınarak hacmi belirlenmiştir. Bu hacim ile, atık yağın deneysel yöntemle belirlenen gerçekte içerdiği su miktarı karşılaştırılarak susuzlaştırma verimi hesaplanmıştır. Her deney 3 defa tekrarlanmış olup, susuzlaştırma verimlerinin ortalaması ve hata aralıkları grafiklerde (Şekil 5.1-5.3) gösterilmiştir.



Şekil 4.12: Uygulama yöntemi akış şeması.

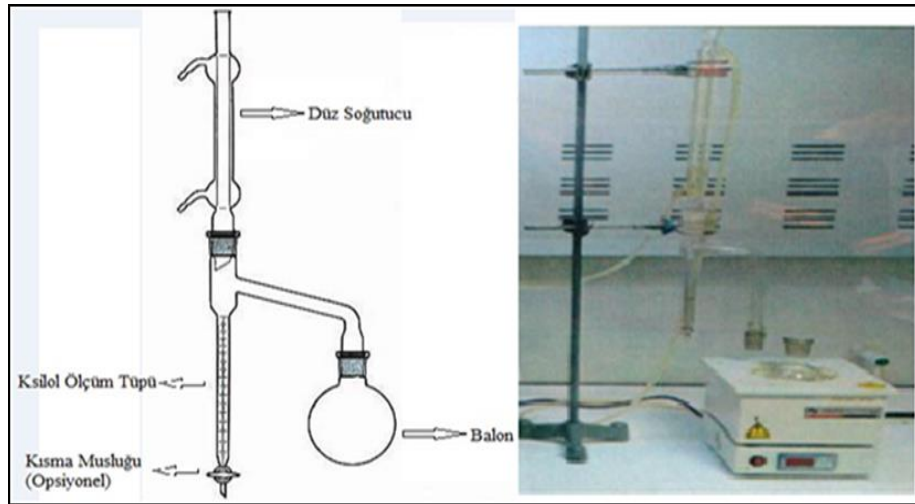
Tablo 4.3: Deneysel işlemler ve detayları.

İŞLEM SIRASI	ATIK YAĞ ÖZELLİKLERİ	YAPILAN İŞLEM	İZLENEN PARAMETRE/HEDEF
1	%75 su içeriğine sahip emülsiyon yağ-su karışımı	Atık yağın depolama tankına alınması	Yok
2	Bekleme tankına alınan atık yağın bünyesinde bulunan bir miktar serbest suyun, yoğunluk farkı nedeniyle yağdan uzaklaşabilir hale gelmesi	Bekleme işlemi sonrası tank altı serbest alt su fazı ayrımı	Atık yağ su içeriği
3	%50-60 su içeriğine sahip emülsiyon yağ-su karışımı	Ultrases uygulaması	Atık yağ su içeriği
3	Farklı yoğunluktaki yağ ve su fazlarının ultrases etkisi ile birbirlerinden ayrılabilir özelliğe kavuşması	Ultrases uygulaması sonrası alt su fazı ve üst yağ fazlarının ayrımı için belirli bir süre bekleme	Yapılan ultrases uygulaması ile atık yağ ve suyun birbirinden ayrılmaya başlaması
4	%10 (yönetmelik gereği) su içeriği özelliğinde atık yağ	Bekleme işlemi sonrası üst yağ faz su içeriğinin gerçek değerinin belirlenmesi	%6,78 su içeriği ile nihai hedefin gerçekleşmesi
5	İstenilen su içeriğine sahip atık yağ	Yağın geri kazanım tesisine tahliyesi	Susuzlaştırılmış atık yağ

4.3. Analitik Metot

4.3.1. Petrol Türevli Atık Yağlarda Distilasyon Yoluyla Su Tayini Yöntemi (ASTM D95)

Petrol türevli atık yağlarda su tayini için ASTM D95⁸ metodu kullanılmaktadır (Şekil 4.13) [Web 13, 2017]. Bu yöntemde alınan 25 ml atık yağ numunesi, Şekil 4.13’de görülen şematik deney düzeneğinde bulunan cam imbik içerisine aktarılır. İçerisine pürüzlü kaynama için kaynatma taşı atılır. Alınan atık yağ numunesi hacminin %80’i kadar organik ksilen çözücü kimyasalı ve %20’si kadar organik toluen çözücü kimyasalı eklenir. Eklenen çözücü kimyasallar atık yağ içerisinde bulunan su moleküllerini, buharlaştırma yöntemiyle bulunduğu ortamdan daha kolay ayrılmasına sağlamaktadır. Ksilol ölçüm tüpü, ölçüm seviyesi üst sınırına kadar toluen çözücüsüyle doldurulur. Böylece buharlaşan su molekülleri düz soğutucu yardımıyla tekrardan yoğunlaşarak, ksilol ölçüm tüpü içerisine damlacıklar şeklinde birikmeye başlar. Yoğunluğu toluen çözücüsünden hafif olan su molekülleri, toluen sıvı içerisinden geçerek ksilol ölçüm tüpü alt bölmesinde ayrı bir faz oluştururlar. Atık yağın ihtiva ettiği su içeriğine göre ortalama 30 dakika süren bu deney sonrası, ksilol ölçüm tüpünde biriken su seviyesi görsel olarak okunarak gerekli hesaplamalar yapılır ve atık yağın su içeriği yüzdesel olarak bulunmuş olur [Web 13, 2017].



Şekil 4.13: Astm D95 deney düzeneği şematik görünümü.

4.3.2. Deneysel Yöntem İle Atık Yağ Su İçeriğinin Hesaplanması

Uygulamada kullanılan atık yağın gerçek su içeriğinin tespiti Şekil 4.13'deki ASTM D95 düzeneği kullanılarak, aşağıda belirtilen Eşitlik (4.1-4.2)'deki hesaplama metotlarıyla bulunmuştur.

- V_o : Çalışılan Numune Hacmi, mL
- V_s : Ksilol Ölçüm Tüpünde Biriken Su Hacmi, mL

$$V_1 = \text{Numune Su İçeriği (\%)} = \frac{(V_s) \times (100)}{(V_o)}, \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} V_2 &= \text{Numune Toplam Su İçeriği Hacmi (mL)} \\ &= \frac{(V_1) \times (V_o)}{(100)} \end{aligned} \quad (4.2)$$

4.3.3. Uygulama Yöntemi Sonrası Üst Yağ Fazı Su Oranının Hesaplanması

Yapılan her uygulama sonrası reaktör alt kısmında biriken alt su fazı (V_3) hacmi, deneysel yöntemle belirlenen numune toplam toplam su içeriği hacmi ile kıyaslanarak, üst yağ fazı su oranı elde edilir. Bu hesaplama Eşitlik (4.3)'de aşağıda verilmiştir.

- V_o : Numune Hacmi (mL)
- V_2 : Numune Toplam Su İçeriği Hacmi (mL)
- V_3 : Alt Su Fazı Hacmi (mL)

$$\begin{aligned} V_4 &= \text{Üst Yağ Faz Su İçeriği (\%)} \\ &= \frac{(V_2) - (V_3)}{(V_o - V_3)} \times 100 \end{aligned} \quad (4.3)$$

4.3.4. Uygulama Hedef Başarı Yüzdesinin Hesaplanması

Eşitlik (4.1-4.2)'de hesaplanan numune toplam gerçek su içeriğinin, her uygulama sonrası reaktör alt kısmında biriken alt su fazı hacmi ile karşılaştırması, uygulama hedef başarı yüzdesini vermektedir. Uygulama hedef başarı yüzdesi olan, üst yağ faz su içeriğinin %10 veya altında bir değere düşürülmesi, Eşitlik (4.4-4.7)'deki, uygulama verimi hesaplamalarında hedef değer olarak kullanılmıştır. Uygulama hedef başarı yüzdesine giden bu hesaplamalar aşağıdaki eşitliklerde sırasıyla verilmiştir.

$$V_5 = \text{Çıkması Gereken Alt Su Fazı Hacmi (mL)} \\ \frac{(10 V_2) - V_0}{(9)} \quad (4.4)$$

$$V_6 = \text{Teorikte Ve Gerçekte Bulunan Alt Su Fazı} \\ \text{Hacim Farkı (mL)} \quad (4.5) \\ = V_5 - V_3$$

$$V_7 = \text{Hedeflenen Başarıya Uzaklık (\%)} \\ \frac{(V_6) \times (100)}{(V_5)} \quad (4.6)$$

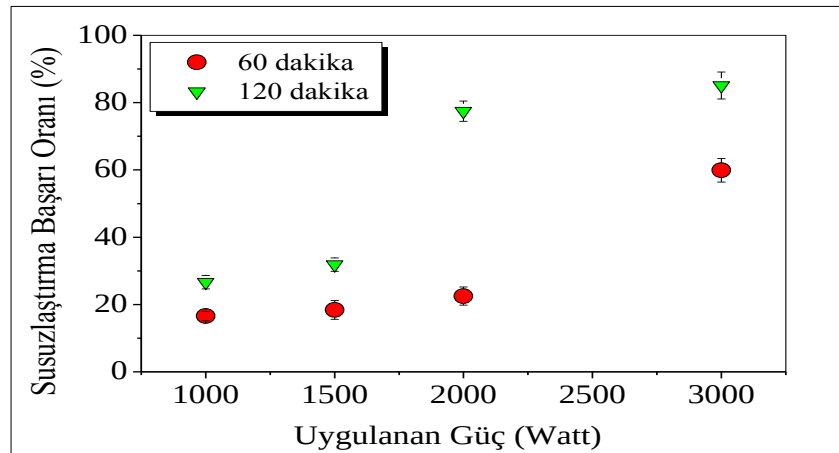
$$V_8 = \text{Uygulama Hedef Başarı Yüzdesi (\%)} \quad (4.7) \\ 100 - V_7$$

5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Üç farklı işletme parametresinin, atık yağın susuzlaştırılmasına etkisinin araştırıldığı deneylerde, elektriksel gücün 1000-3000 Watt ve işletme süresinin ise 60-120 dakika olduğu aralıklar arasında incelemeler yapılmıştır. Bu işletme parametreleri düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç farklı EK dozaj (300-600-900 mg/L) aralıklarında değiştirilerek, bu koşullar altında farklı işletme sürelerinde uygulanan elektriksel gücün, atık yağın su içeriğini %10'un altına düşürme hedefine etkisi incelenmiştir.

5.1. Düşük Kimyasal Dozajında Gücün ve İşletme Süresinin Susuzlaştırmaya Etkisi

Toplam üç kısımda yürütülen deneylerin ilk kısmında EK, 300 mg/L olarak dozlanmıştır. Farklı güç ve ultrases uygulama sürelerinde yapılan deney sonuçları Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Grafikte görülebileceği gibi, ultrases jeneratöründen uygulanan güç değeri ve ultrases uygulama süresi arttıkça atık yağın susuzlaştırılma performansı da artmaktadır. 120 dakikalık ultrasonik işlem süresi ve 3000 Watt (1.46 W/cm² ultrasonik şiddet ve 88.24 W/L ultrasonik güç) elektriksel güç şartları altında susuzlaştırma başarı oranı %80'in üzerine yükselmiş ve atık yağ numunesinin su içeriği %20 civarına düşürülmüştür (Tablo 5.1). Ancak %10 su içeriği hedefine ulaşılamamıştır (Tablo 5.1, üst faz su içeriği değerleri).



Şekil 5.1: Farklı ultrases uygulama sürelerinde ultrasonik gücün susuzlaştırmaya etkisi (EK: 300 mg/L).

Doğu Çin bölgesindeki petrol sahalarında yapılan benzer bir çalışmada 100 Watt ultrasonik güç, 10 dakika uygulama süresi, 50 mg/L EK dozajı ve 75°C’de yüksek su içeriğine sahip emülsiyeye olmuş ham petroldeki suyun büyük çoğunluğunu ayırmanın mümkün olabileceği tespit edilmiştir [Tan et al., 2009]. Çalışmamızda ise ısıtma işlemi uygulanmamış, ultrases ve tesis içinde geliştirilen EK’nın aynı anda kullanımıyla atık yağ su içeriği %20’nin altına düşürülebilmektedir. %10 su içeriği hedefine ulaşabilmek için EK dozajının artırıldığı deneylere devam edilmiştir.

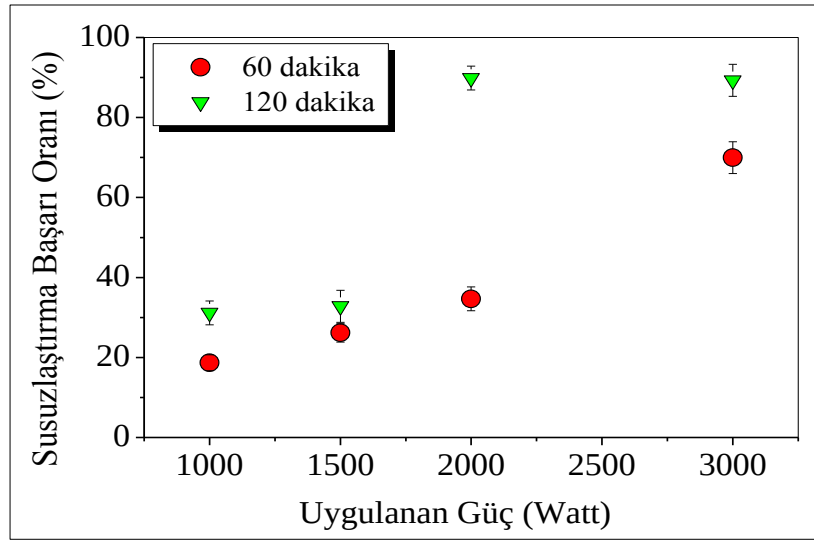
Tablo 5.1: 300 mg/L EK dozlaması yapılan deneylerin sonuçları.

Dene y No.	Elektriksel Güç (W)	Ultrases Gücü/Ultrases Şiddeti (W/L)/ (W/cm ²)	EK Dozajı (ppm)	Süre (Dak.)	Num. Su İçeriği (%)	Üst Faz Su İçeriği (%)	¹ Alt Su Fazı Hacmi (L)	² Çıkması Gereken Alt Su Fazı Hacmi (L)	³ Hedef Başarı Oranı (%)
1	1000	29.41/0.49	300	60	55	50.94	2.7	16.30	16.56
2	1500	44.12/0.73	300	60	57	52.43	3.2	17.39	18.40
3	2000	58.82/0.97	300	60	60	54.29	4.0	17.78	22.50
4	3000	88.24/1.46	300	60	52	33.38	9.0	15.03	59.89
5	1000	29.41/0.49	300	120	53	40.15	4.2	15.77	26.64
6	1500	44.12/0.73	300	120	50	41.75	4.6	14.44	31.85
7	2000	58.82/0.97	300	120	51	24.27	12.0	15.49	77.47
8	3000	88.24/1.46	300	120	53	20.82	13.90	16.34	85.07
¹ Deney sonrası reaktörün alt kısmından gerçek olarak alınan ayrılmış su hacmi, ² %10 su içeriği hedefine ulaşmak için reaktörün alt kısmından teorik olarak alınması gereken ayrılmış su hacmi, ³ Gerçek olarak alınan su hacminin hedef su içeriğine (%10) ulaşma yüzdesi.									

5.2. Orta Kimyasal Dozajında Gücün ve İşletme Süresinin Susuzlaştırmaya Etkisi

İkinci kısım deneylerde EK, 600 mg/L olarak dozlanmıştır. Farklı güç ve ultrases uygulama sürelerinde yapılan deney sonuçları Şekil 8’de gösterilmektedir. Grafikte görülebileceği gibi, ultrases jeneratöründen uygulanan güç değeri ve ultrases uygulama süresi arttıkça atık yağın susuzlaştırılma performansı da artmaktadır. 1000

ve 1500 Watt deneylerinde elde edilen susuzlaştırma performansı, EK'nın 300 mg/L olarak dozlandığı deneyler ile oldukça benzerlik gösterirken, 2000 ve 3000 watt değerlerinde ultrases uygulama süresinin 60 dakikadan 120 dakikaya yükseltilmesi ile susuzlaştırma başarı yüzdesi 35 civarından %90 civarına ulaşmıştır. 120 dakikalık ultrasonik işlem süresi ve 3000 Watt (1.46 W/cm^2 ultrasonik şiddet ve 88.24 W/L ultrasonik güç) elektriksel güç şartları altında atık yağ numunesinin su içeriği %18'e düşürülmüştür (Tablo 5.2). Ancak %10 su içeriği hedefine ulaşamamıştır.



Şekil 5.2: Farklı ultrases uygulama sürelerinde ultrasonik gücün susuzlaştırmaya etkisi (EK: 600 mg/L).

Ultrasonik metot ile ham petrolün susuzlaştırma işleminde kullanıldığı benzer bir çalışmada ham petrol yağı numunesine 5 dakika süreyle 0.38 W/cm^2 ultrasonik şiddet uygulanmış ve %92,6 susuzlaştırma elde edilmiştir [Guoxiang et al., 2008]. Ancak çalışmamızdan farklı olarak, bahsedilen çalışmada ultrases uygulama öncesinde numune sıcaklığı 85°C 'ye yükseltilmiştir.

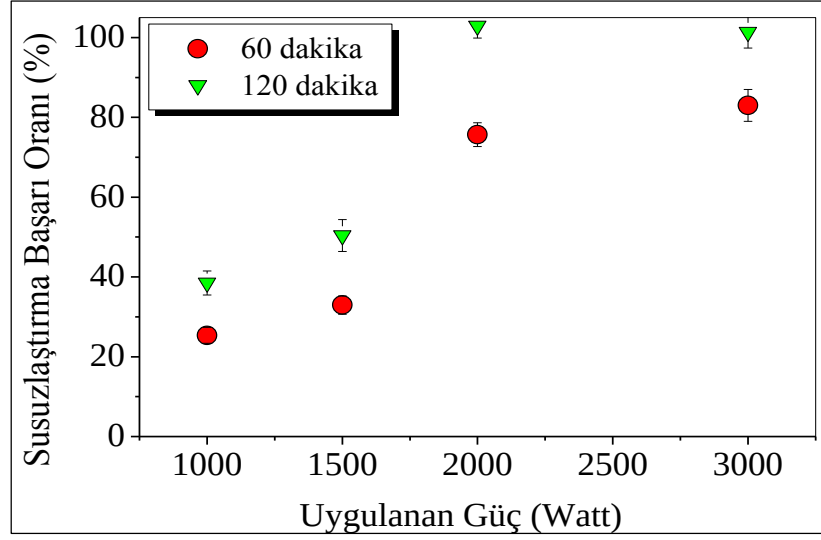
Tablo 5.2: 600 mg/L EK dozlaması yapılan deneylerin sonuçları.

Deney No.	Güç (W)	Ultrases Gücü/ Ultrases Şiddeti (W/L)/ (W/cm ²)	EK Dozajı (ppm)	Süre (Dak.)	Num. Su İçeriği (%)	Üst Faz Su İçeriği (%)	¹ Alt Su Fazı Hacmi (L)	² Çıkması Gereken Alt Su Fazı Hacmi (L)	³ Hedef Başarı Oranı (%)
1	1000	29.41/0.49	600	60	52	47.41	3.0	16.05	18.69
2	1500	44.12/0.73	600	60	55	48.22	4.28	16.35	26.18
3	2000	58.82/0.97	600	60	52	42.74	5.5	15.87	34.66
4	3000	88.24/1.46	600	60	58	33.00	12.5	17.87	69.96
5	1000	29.41/0.49	600	120	52	43.84	5.0	16.05	31.15
6	1500	44.12/0.73	600	120	50	41.47	5.0	15.24	32.80
7	2000	58.82/0.97	600	120	56	18.62	15.80	17.58	89.86
8	3000	88.24/1.46	600	120	58	19.82	15.0	16.80	89.29
¹ Deney sonrası reaktörün alt kısmından gerçek olarak alınan ayrılmış su hacmi, ² %10 su içeriği hedefine ulaşmak için reaktörün alt kısmından teorik olarak alınması gereken ayrılmış su hacmi, ³ Gerçek olarak alınan su hacminin hedef su içeriğine (%10) ulaşma yüzdesi.									

5.3. Yüksek Kimyasal Dozajında Gücün ve İşletme Süresinin Susuzlaştırmaya Etkisi

Üçüncü kısım deneylerde EK dozajı artırılarak 900 mg/L olarak dozlanmıştır. Yüksek EK dozajındaki farklı güç ve ultrases uygulama sürelerinde yapılan deney sonuçları da Şekil 5.3’de gösterilmektedir. Grafikte görülebileceği gibi, ultrases jeneratöründen uygulanan güç değeri ve ultrases uygulama süresi arttıkça atık yağın susuzlaştırılma performansı da artmaktadır. Ancak düşük (300 mg/L) ve orta (600 mg/L) EK dozajı denemelerinden farklı olarak bütün deneylerde uygulanan güç ve zamanın artırılması, beklendiği gibi, ultrasesin susuzlaştırma performansını da yükseltmiştir. ultrases jeneratöründen uygulanan güç artırıldıkça, kavitasyon da artmakta, sıvı içerisinde karıştırma ve parçalama gibi su ile yağın ayrılmasına yardımcı olacak mekanik etkilerde de artış meydana gelmektedir [Zengi, 2011]. Ayrıca, susuzlaştırmada kullanılan EK madde, klasik karıştırmaya oranla ultrases işleminde atık yağ numunesi içerisinde daha etkili dağılmaktadır [Fast and Gude, 2015]. 120 dakikalık ultrasonik işletme süresinde 2000 ve 3000 Watt güç şartları altında atık yağ

numunesinin su içeriği %10 değerinin altına düşürülmüştür. İşletme maliyetinin artmaması sebebiyle nihaî olarak 2000 Watt (0.97 W/cm^2 ultrasonik şiddet ve 58.82 W/L ultrasonik güç) elektriksel güç ve 120 dakika işletme süresi koşullarında atık yağ numunesinin su içeriği %6,78'e düşürülmüştür (Tablo 5.3). İşletmenin farklı zamanlarındaki faz ayrımı Şekil 5.4'de sunulmuştur.



Şekil 5.3: Farklı ultrases uygulama sürelerinde ultrasonik gücün susuzlaştırmaya etkisi (EK: 900 mg/L).

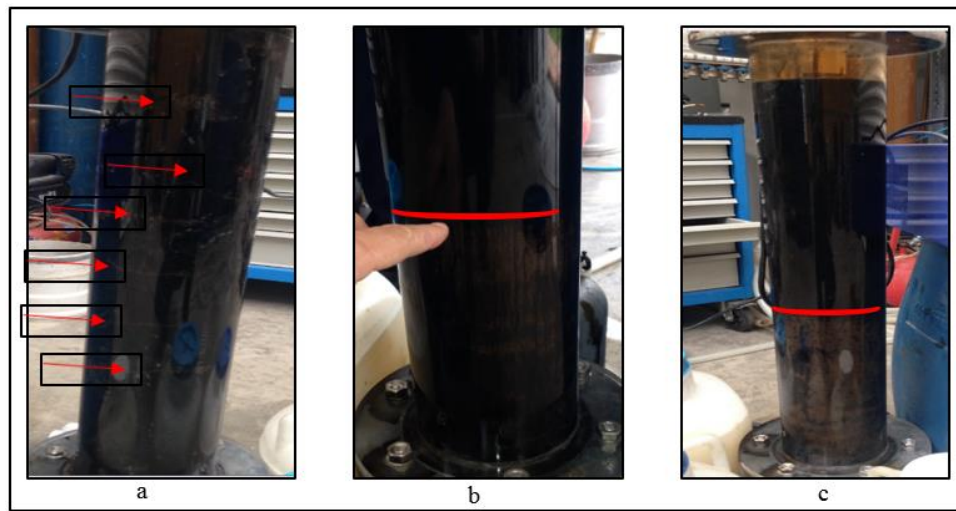
Tablo 5.3: 900 mg/L EK Dozlaması yapılan deneylerin sonuçları.

Deney No.	Güç (W)	Ultrases Gücü/Ultrases Şiddeti (W/L)/ (W/cm ²)	EK Dozajı (ppm)	Süre (Dak.)	Num. Su İçeriği (%)	Üst Faz Su İçeriği (%)	¹ Alt Su Fazı Hacmi (L)	² Çıkması Gereken Alt Su Fazı Hacmi (L)	³ Hedef Başarı Oranı (%)
1	1000	29.41/0.49	900	60	57	50.25	4.6	17.70	28.98
2	1500	44.12/0.73	900	60	53	44.22	5.40	16.39	32.95
3	2000	58.82/0.97	900	60	55	27.62	12.90	17.05	75.66
4	3000	88.24/1.46	900	60	59	25.20	15.50	18.67	83.00

Tablo 5.3: Devam.

5	1000	29.41/0.49	900	120	54	43.33	6.40	16.62	38.50
6	1500	44.12/0.73	900	120	50	35.58	7.70	15.29	50.36
7	2000	58.82/0.97	900	120	59	6.78	19.27	18.73	102.89
8	3000	88.24/1.46	900	120	57	8.62	17.63	17.39	101.38

¹ Deney sonrası reaktörün alt kısmından gerçek olarak alınan ayrılmış su hacmi,
² %10 su içeriği hedefine ulaşmak için reaktörün alt kısmından teorik olarak alınması gereken ayrılmış su hacmi,
³ Gerçek olarak alınan su hacminin hedef su içeriğine (%10) ulaşma yüzdesi.



Şekil 5.4: Ultrases işlemi sonrası reaktör içi faz ayrımı görünümü, a) 15 Dakika sonrası, b) 30 Dakika sonrası, c) 60 Dakika sonrası.

5.4. Tesisteki Mevcut Susuzlaştırma Yöntemleri ile Ultrasonik Yöntemin Mukayesesi

5.4.1. Isıl İşlem ile Susuzlaştırma

Laboratuvar ölçekli ısıtma işlemi ile yapılan deneylerde, Tablo 5.4’de de görüldüğü gibi atık yağ numunesi ortalama %50-60 arasında su içeriğine sahip olup, numune hacmi 200 mL’de sabit tutularak, ısıtma işlemi için numune sıcaklığı 85°C’ye çıkarılmıştır. İşlem sonrası alt su fazı ayrımı için nihai bekleme süresi ise, 60 dakikadır. Laboratuvar ölçekli yapılan ısıtma işlemi ile susuzlaştırmadaki deneyleri, saha ölçekli ısıtma işlemi ile yapılan susuzlaştırmadaki uygulamalarıyla oldukça yakın bir benzerlik göstermektedir.

Tablo 5.4: Laboratuvar ölçekli ısıtma işlemi ile susuzlaştırma deneyleri ve sonuçları.

Deney No.	Num. Su İçeriği (%)	Üst Faz Su İçeriği (%)	¹ Alt Su Fazı Hacmi (mL)	² Çıkması Gereken Alt Su Fazı Hacmi (mL)	³ Hedef Başarı Oranı (%)
1	55	44	40	100	40
2	58	46	44	106	41
3	60	48	47	111	42
4	57	45	42	104	40
5	54	42	40	97	41
6	51	36	40	91	44
7	53	41	40	95	42
8	48	37	34	84	40
9	56	44	41	102	40
10	49	38	35	87	40
¹ Deney sonrası reaktörün alt kısmından gerçek olarak alınan ayrılmış su hacmi, ² %10 su içeriği hedefine ulaşmak için reaktörün alt kısmından teorik olarak alınması gereken ayrılmış su hacmi, ³ Gerçek olarak alınan su hacminin hedef su içeriğine (%10) ulaşma yüzdesi.					

Saha uygulamalarında tank içerisine alınan petrol ve petrol türevli atık yağlar 85°C'ye kadar ısıtılmakta ve homojenlik için karıştırılmaktadır. Sonrasında yağ 12 saat boyunca beklemeye bırakılır ve tank içerisindeki atık yağda faz ayrımının olup olmadığı gözlemlenir. Atık yağ numunesi su içeriği %50'nin altına düştüğü andan itibaren ısıtma işleminin susuzlaştırmaperformansı düşmektedir. Her deney 3 defa tekrarlanmış olup, susuzlaştırmaverimlerinin ortalaması alınarak, elde edilen nihai değerler Tablo 5.4'de gösterilmiştir. Bu yöntemde atık yağ su içeriği ortalama en fazla %40'a indirilebilmiştir. Isıtma işlemde %10 hedefine ulaşamadığı gibi yüksek sıcaklık için gereken enerji ihtiyacı ve 48 saat gibi uzun bir işletme süresine sahip olması da yöntemin dezavantajları arasında yer almaktadır.

5.4.2. Isıtma İşlemi + Kimyasal ile Susuzlaştırma

Laboratuvar ölçekli ısıtma işlemi ve kimyasal ortaklı yapılan deneylerde, Tablo 5.5'de de görüldüğü gibi atık yağ numunesi ortalama %50-60 arasında su içeriğine sahip olup, numune hacmi 200 mL'de sabit tutularak, ısıtma işlemi için numune sıcaklığı 85°C'ye çıkarılmıştır. Uygulama için gereken sıcaklık elde edilince, numune içerisine belirli oranlarda kimyasal ilavesi yapılır. Isıtma işlemde olduğu gibi, işlem sonrası alt su

fazı ayrımı için nihai bekleme süresi ise, 60 dakikadır. Laboratuvar ölçekli ısıtma işlem ve kimyasal ortaklı yapılan susuzlaştırma çalışmaları, aynı yöntemle ile yapılan saha uygulamaları susuzlaştırmadeneyle, oldukça yakın bir benzerlik göstermektedir.

Tablo 5.5: Laboratuvar ölçekli ısıtma işlem + kimyasal ile susuzlaştırma deneyleri ve sonuçları.

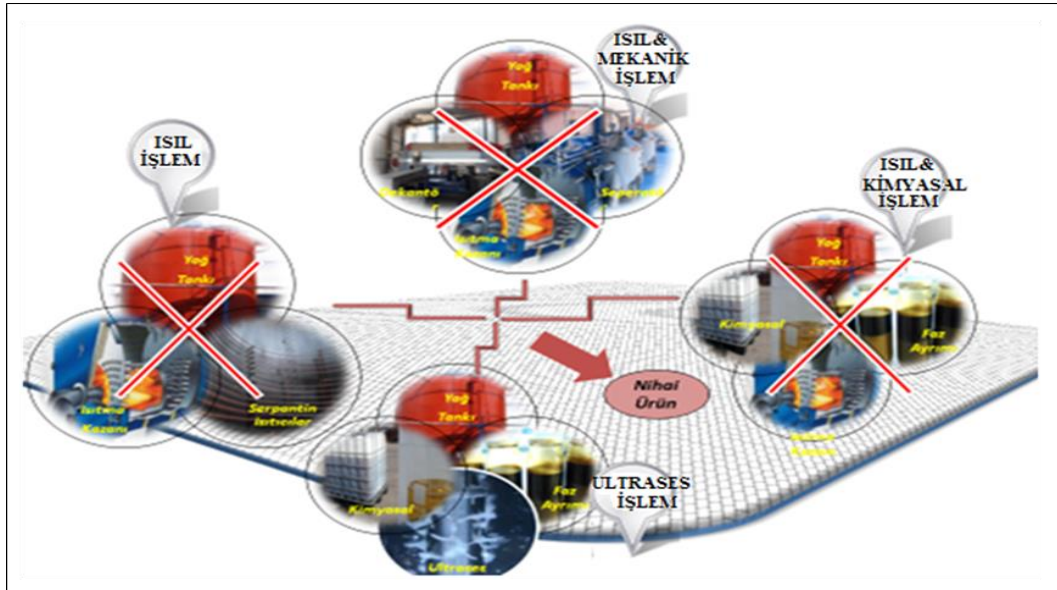
Deney No.	EK Dozajı (ppm)	Num. Su İçeriği (%)	Üst Faz Su İçeriği (%)	¹ Alt Su Fazı Hacmi (mL)	² Çıkması Gereken Alt Su Fazı Hacmi (mL)	³ Hedef Başarı Oranı (%)
1	1000	55	18	90	100	90
2	1000	47	47	0	82	0
3	1000	48	48	0	84	0
4	1000	58	16	100	106	94
5	1000	60	15	106	111	95
6	1000	57	17	96	104	92
7	1000	54	18	88	98	90
8	1200	46	46	0	80	0
9	1200	47	47	0	82	0
10	1200	48	20	70	84	83
11	1200	52	19	82	93	88
12	1200	54	18	88	98	90
13	1200	60	15	106	111	95
¹ Deney sonrası reaktörün alt kısmından gerçek olarak alınan ayrılmış su hacmi, ² %10 su içeriği hedefine ulaşmak için reaktörün alt kısmından teorik olarak alınması gereken ayrılmış su hacmi, ³ Gerçek olarak alınan su hacminin hedef su içeriğine (%10) ulaşma yüzdesi.						

Saha uygulamalarında ısıtma işlemi ilaveten sıcaklığı (85°C) ve homojenliği sağlanan atık yağa kimyasal ilavesi yapılır ve 12 saat boyunca beklemeye bırakılır. Bu süre sonunda tank içerisindeki atık yağda faz ayrımının olup olmadığı gözlemlenir. Bu yöntemde emülsiyon kırıcının başarıya ulaşmasındaki en büyük etken, atık yağın nihai sıcaklığı ve içerdiği su oranı olmaktadır. Isıtma işlemi benzer şekilde atık yağ numunesi su içeriği %50'nin altına düştüğü andan itibaren yöntemin susuzlaştırma performansı düşmektedir. Atık yağ su içeriği %48 altında değerlere düşmesi, atık yağ susuzlaştırma uygulama yönteminin başarısızlığıyla sonuçlanmıştır. Her deney 3 defa tekrarlanmış olup, susuzlaştırma verimlerinin ortalaması alınarak, elde edilen nihai değerler Tablo 5.5'de gösterilmiştir. Tesise kabul edilen atık yağların ortalama su içeriğinin %50-60 olduğu dikkate alındığında, bu yöntemin daha da iyileştirilmesi mümkün gözükmemektedir. Ancak ısıtma işlemi ilaveten gerçekleştirilen EK dozlaması atık yağ

su içeriğini %15'e indirmiştir. Bu yöntemde de ısıtma işlemi benzer şekilde %10 hedefine ulaşamadığı gibi yüksek sıcaklık için gereken enerji ihtiyacı ve 48 saat gibi uzun bir işletme süresine sahip olması da yöntemin dezavantajlarıdır.

5.4.3. Ultrases + Kimyasal ile Susuzlaştırma

Bu çalışma kapsamında tesis içinde ilk defa uygulanan ultrases yönteminde numune ısıtma işlemi tabi tutulmadan direkt olarak ultrases uygulaması için reaktöre alınmaktadır. Bu yöntemde de EK dozlanmakta ancak ısıtma işlemi + kimyasal susuzlaştırmayöntemine göre daha az kimyasal kullanılmaktadır. Ayrıca işletme ve bekleme süreleriyle birlikte tamamlanması 48 saate varan tesis içi susuzlaştırmayöntemlerinden farklı olarak, ultrases yöntemi 3 saatte tamamlanabilmektedir. ultrases yönteminin bu avantajı işletme maliyetlerini azaltmaktadır. Üç yöntemin de deney şartları ve sonuçlarının karşılaştırıldığı Tablo 5.6 aşağıda verilmiştir. Tablodan görülebileceği gibi ultrases yönteminde atık yağ su içeriği ultrases yönteminin kullanılmasıyla birlikte, mevcut proseste var olan seperatör, dekantör, karıştırıcı, işlem öncesi bekleme, tank içi ısıtma işlemi gibi proses adımlarına ihtiyaç duyulmamakta ve sistem ısıtmada kullanılan kızgın yağ kazanı ve bu ısıtma sistemine yönelik tank içi serpantin dizaynı gibi işlemlere gerek duyulmamaktadır.



Şekil 5.5: Ultrases yöntemi ile susuzlaştırmada kullanılacak yeni proses akış şeması.

Tablo 5.6: Tesisteki mevcut susuzlaştırma yöntemleri ile ultrases yönteminin deney şartları ve sonuçları açısından karşılaştırılması.

Şartlar/Sonuçlar \ Metot	Gerçek Tesisdeki Çalışma Verileri		Tezdeki Çalışma Verileri
	Isıl İşlem	Isıl İşlem + Kimyasal	Kimyasal + Ultrases
Atık Yağın Ortalama Su İçeriği (%)	50-60	50-60	50-60
İşletme Sıcaklığı (°C)	85	85	-
EK Dozajı (mg/L)	-	1200	900
İşletme Süresi (saat)	36	36	2
İşlem Sonrası Bekleme Süresi (saat)	12	12	1
Toplam Uygulama Süresi (saat)	48	48	3
Nihai Üst Yağ Fazı Su İçeriği (%)	40.00	15.00	6.78
Uygulama Hedef Başarı Oranı (%)	40	95	103
İşletme Maliyeti (TL/m ³)	48	64	37

Atık yağ susuzlaştırmada mevcut yöntemler ve ultrases metodunun kullanılarak yapıldığı deney şartları ve sonuçlarının karşılaştırıldığı tablo yukarıda verilmiştir. Mevcut yöntemlerle ile yapılan atık yağ susuzlaştırma işlemlerinde gerekli ısıtma işleminin ve işlem sonrası bekleme gibi sürelerinin, ultrases uygulama metodunda herhangi bir ısıtma işlemine gerek olmadığı, işlem sonrası bekleme süresinin ise çok düşük bir zaman aldığı görülmektedir. Böylece ultrases metodu ile yapılacak olan atık yağ susuzlaştırma işlemlerinin, %94 oranında daha düşük bir işleme süresi ile yapılmasının mümkün olduğu görülmüştür. Bu durum mevcut yapılan iş için büyük bir kazançtır. Atık yağ susuzlaştırmada kullanılan bir diğer parametre olan emülsiyon kırıcı kimyasal dozajının, kullanılan ultrases metodunda %25 oranında daha az olması, mevcut sistem için ayrı bir finansal kazanç olarak karşımıza çıkmaktadır. Uygulama hedef başarı yüzdesi olan, nihai üst yağ fazı su oranının %10 veya altında bir değere düşürülmesi, mevcut yöntemlerle bu hedefe ulaşılamazken, ultrases metoduyla bu hedef yakalanarak daha da yukarı çekilmiştir. Ultrases yöntemiyle atık yağın içerdiği %50-60 arası olan toplam su içeriği, uygulama sonrası %6,78 gibi değerlere

düşürölerek, nihai uygulama hedef başarı yüzdesinin de üzerinde bir değeri olan %103 gibi bir verim elde edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile atık yağ susuzlaştırmada kullanılan mevcut yöntem işletme maliyetinin, ultrases metodu ile ortalama %50 gibi daha az bir maliyetle yapılabilmesinin mümkün olduğu görölmüştür.

6. SONUÇLAR ve YORUMLAR

Bu çalışmada gemi taşımacılığında kaynaklanan petrol ve petrol türevli atık yağların emülsiyeye olmuş sıvı karışımlarının, ultrases metoduyla demülsifiye hale getirilebilmesi ve verimi araştırılmıştır. Uygulamada su içeriği ortalama %50-60 arası değişebilen petrol ve petrol türevli atık yağ karışımları kullanılmıştır. Ultrases metodu ile mevcut sistemde uygulanmakta olan fiziksel ısıtma ve fiziksel ısıtma entegreli kimyasal ile susuzlaştırma yöntemleri teknik ve ekonomik açıdan mukayese edilmiştir. Atık kabul tesisinde mevcut olarak kullanılan atık yağ susuzlaştırma yöntemlerinde yüksek verim elde edebilmek için gereken sıcaklığın sağlanmasında uzun bir süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut yöntemlerle yapılan işlem sonrasındaki belirgin faz ayırımının gerçekleşmesi için gereken bekleme süresinin ultrases yöntemine göre 15 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Söz konusu bu veri, ultrases yöntemi ile dizayn edilecek gemi atık arıtma tesisleri için çok önemli bir dizayn parametresi olup, mevcut kapasitenin ısıtma prosesi olmaksızın 15 kat artması anlamına gelmektedir.

Ultrases ile optimum işletme koşulları 2000 Watt, 120 dak. ultrases uygulama süresi, 900 mg/L EK dozajı altında atık yağın su içeriğinin %10'un altına düşürülmesi hedefine ulaşılmıştır (%6,78 ile). Ultrases yönteminde, petrol ve petrol türevi atık yağların, yüksek enerji gerektiren ısıtılma sürecine tabi tutulmadan mevcut yöntemlere kıyasla hedeflenen su oranına, %103 gibi yüksek verim, %94 düşük işleme süresi, %25 emülsiyon kırıcı tasarrufu ve %40 daha az bir işletme maliyeti ile ulaşılmış, ultrases ile yapılan atık yağ susuzlaştırma metodunun daha verimli yeni bir alternatif metod olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu yöntem ile dizayn edilecek endüstriyel ölçekli yeni tesis, mevcut petrol ve petrol türevli atık yağ susuzlaştırma proseslerine alternatif olarak daha düşük maliyetli, çok daha kısa zamanlı işleme süreli ve yüksek susuzlaştırma verimi ile çalıştırılacaktır. Ülkemizde mevcut tesislerdeki kapasite sorunu dikkate alındığında; ultrases yöntemi ile dizayn edilen yeni tesislere gemilerden miktarına bakılmaksızın alınacak MARPOL Ek I petrol ve petrol türevli atık yağ talepleri, mevcut kapasite yetersizliğinden dolayı geri çevrilmeden kabul edilerek susuzlaştırılması ve ekonomimize geri kazandırılmasıyla, ülkemize bu alanda kayda değer bir kazanç sağlayacaktır.

Bu aşamadan sonra bu çalışmada elde edilen verilerin, gerçek bir endüstriyel ölçekli pilot tesiste denenmesi, ultrases prosesinin gerçek bir tesise nasıl

uygulanabileceğinin dizaynının yapılması, ÷lkemize alternatif yeni ve çok daha ekonomik bir susuzlaştırma teknolojisinin kazandırılmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Ulucan, K., (2011), ‘‘Sintine Sularının Elektrokimyasal Olarak Arıtılabilirliğinin Araştırılması’’, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [2] Şipal, Y. Z., (2014), ‘‘Türkiye’de Deniz Ulaşım Sektöründeki Firmaların Gemi Yatırım Stratejileri Ve Finansmanı; Bir Uygulama’’, Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi.
- [3] İSTAÇ İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi Ticaret ve Anonim Şirkerti, (2016) Gemi Atıkları Arıtma Tesisi Atık Alım Raporları, (2005-2016).
- [4] İngeç T., Tekin T., (2002), ‘‘Ultrasas Enerjisinin Kimyasal Kinetik Üzerine Etkisi’’, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi.
- [5] Mingxu Yi, Jun Huang, Lifeng Wang, (2016), ‘‘Research on Crude Oil Demulsification Ultrasesing the Combined Method of Ultrasound and Chemical Demulsifier, Hindawi Journal of Chemistry, Volume 2017, Article ID 9147926, 7 pages.
- [6] Hua I., Thompson E. J., (2000). ‘‘Inactivation of Escherichia coli by sonication at discrete ultrasonic frequencies’’. Water Resources, 34 (15), 3888–3893.
- [7] Riesz P, Berdahl D, Christman L, (1985). ‘‘Free radical generation by ultrasound in aqueoultrases and nonaqueoultrases solutions’’, Environmental Health Perspectives, 64, 233-252.
- [8] Riesz P, Kondo T, (1992). ‘‘Free radical formation induced by ultrasound and its biological implications’’, Free Radical Biology and Medicine, 13, 247–270.
- [9] Makino K, Mossoba M. M, Riesz P, (1982). ‘‘Chemical effects of ultrasound on aqueoultrases solutions. Evidence of OH and H by spin trapping’’, Journal of the American Chemical Society, 104 (12), 3537–3539.
- [10] Abdulayev, C., (2003), ‘‘Uluslararası Hukuk Açısından Denizyolu İle Taşımacılıktan Kaynaklanan Petrol Kirliliği’’, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi.
- [11] Yenal, S., (2011), ‘‘Dünyada ve Türkiye’de Uluslararası Denizyolu Taşımacılığının Gelişiminin Değerlendirilmesi’’, <http://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/tmodanhaberler/denizyolu.pdf> (Erişim Tarihi: 10/10 /2017).
- [12] Demiray M., (2006), ‘‘Soğuk Savaş Sonrası Değişen Güvenlik Stratejileri’’, Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11, 247-271.

- [13] Web 1, (2017), http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2016_en.pdf, (Erişim Tarihi: 10/10/2017).
- [14] Web 2, (2017), <http://www.istekobi.com.tr>, (Erişim Tarihi: 10/10/2017).
- [15] Web 3, (2017), https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/gemi_gecis.aspx, (Erişim tarihi: 12/10/2017).
- [16] Daşhan, E.S., (2010), ‘‘ Gemi Kaynaklı Atıkların Yönetimi ve Bertarafı’’ Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [17] Web 4, (2017), <http://www.dtoizmir.org.tr/dosyalar/duyurular/2016>, (Erişim Tarihi: 25/10/2017).
- [18] Web 5, (2017), <http://www.yildiz.edu.tr/~fcelik/dersler>, (Erişim Tarihi: 20/10/2017).
- [19] Web 6, (2017), <http://www.imo.org>, (Erişim Tarihi: 09/10/2017).
- [20] ResGaz 1, (1990), Milletlerarası Sözleşme Kanunu, 24 Haziran 1990 tarih ve 20558 sayılı Resmi Gazete.
- [21] Web 7, (2017), <http://imo.udhb.gov.tr/TR/19Marpol.aspx>, (Erişim Tarihi: 09/10/2017).
- [22] ResGaz 2, (2004), Gemilerden Atık Alınması ve Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 20 Aralık 2004 tarih ve 25682 sayılı Resmi Gazete.
- [23] ResGaz 3, (2010), Gemilerden Atık Alınması Ve Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 18 Mart 2010 tarih ve 27525 sayılı Resmi Gazete.
- [24] İSTAÇ İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi Ticaret ve Anonim Şirkerti (2010) Gemi Atıkları Arıtma Tesisi Bilgilendirme Notları, 2005-2010.
- [25] Web 8, (2017), <http://www.istac.com.tr>, (Erişim Tarihi: 12/11/2017).
- [26] Web 9, (2017), <https://www.centrimax.com/separators/disc-separator.html>, (Erişim Tarihi: 12/10/2017).
- [27] Web 10, (2017), <http://www.haultrases.com.tr>, (Erişim Tarihi: 12/10/2017).
- [28] Web 11, (2017), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Heat_exc_1-1.svg, (Erişim Tarihi: 12/10/2017).
- [29] Akyatan, G., (2010), ‘‘Organize Sanayi Bölgesi Atıksularının Magnezyum Flokülasyonu İle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi ve Klasik Koagülantlarla Karşılaştırılması’’ Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.

- [30] Büyüktanır A., Karadağ M., (2010), Gazi Üniversitesin Gazi Eğitim Fakültesi Orta Öğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Bölümü Fizik Eğitimi Anabilim Dalı Ultrases (Ultrasound), 2010 Ankara.
- [31] Zengi M. B., (2011) ‘‘Ultrases Kullanımının Direkt Filtrasyona Etkilerinin Araştırılması’’, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.
- [32] Cansu Ç., (2008), ‘‘Ultrases ile Ağaçların Bazı Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- [33] Web 12, (2017), <http://www.onlinefizik.com/ultrases/>, (Erişim Tarihi: 20/10/2017).
- [34] X.-g. Yang, W. Tan & X.-f. Tan, (2009) Demulsification of Crude Oil Emulsion via Ultrasonic Chemical Method, Petroleum Science and Technology, 27(17), 2010-2020.
- [35] Guoxiang Yea, Xiaoping Lua,*, Pingfang Hana, Fei Pengb, YanruWanga, Xuan, (2008), Shena, Application of ultrasound on crude oil pretreatment Guoxiang, Chemical Engineering and Processing, 47, 2346–2350.
- [36] YE Guoxiang, LÜ Xiaoping, PENG Fei, HAN Pingfang and SHEN Xuan, (2008), Pretreatment of Crude Oil by Ultrasonic-electric United Desalting and Dewatering, Chinese Journal of Chemical Engineering, 16(4) 564-569.
- [37] Web 13, (2017), <http://www.asiajuleh.com/astm/ASTM%20D%2095.pdf>, (Erişim Tarihi: 01/12/2017).
- [38] Tan X. F, Yang X. G, Tan W, (2009). Demulsification of Crude Oil Emulsion via Ultrasonic Chemical Method, Petroleum Science and Technology, 27 (17), 2010-2020.
- [39] Fast S. A, Gude V. G, (2015), ‘‘Ultrasound-chitosan enhanced flocculation of low algal turbid waters. Journal of Indultrasestrial and Engineering Chemistry, 24, 153-160.
- [40] Rapor, (2013), Atık Yağ Analiz Raporu, Rapor No: 181215-AY-17634, Aem Çevre Laboratuvar Analiz ve Tic. A.Ş, İstanbul.
- [41] ResGaz, 4 (2013), İski Genel Müdürlüğü Atıksuların Kanalizasyona Deşarj Yönetmeliği Yönetim Kurulu Kararı, 02 Ocak 2013 tarih ve 2013/6 sayılı Resmi Gazate.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Bayburt'ta doğan Nurullah ÖZDOĞAN ilk ve orta eğitimini Bursa'da tamamladı. 2001 yılında başladığı Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünü 2005 yılında tamamladı. 2015 yılı itibariyle yüksek lisans eğitimine, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. 01.01.2006 tarih itibariyle İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstaç A.Ş. Deniz Hizmetleri Müdürlüğü MARPOL 73/78 Gemilerden Petrol Türevli Atıkların Kabulü ve Geri Dönüşümü ile ilgili biriminde kimyager olarak görev yapmaktadır. Buradaki görevi tesise gelen petrol ve petrol türevli atık yağların ve atık suların analizlerinin yapmak, atıkları işleyen ünitelerin verimli çalışmasından, susuzlaştırılan petrol türevli yağın tesisten istenilen su yüzdesi oranında geri dönüşüm tesisine gönderilmesinden, tesise gelen atıkların tesise kabul edilmesinden sorumlu olarak çalışmakta ve bu görevine halen aktif olarak devam etmektedir.

EKLER

Ek A: Petrol ve Petrol Türevli Su İle Karışık Atık Yağların Susuzlaştırılması İle Elde Edilen Nihai Atık Yağ Kategori Analiz Raporu

Petrol türevli atık yağların susuzlaştırılması ile elde edilen atık yağın yapılan akredite laboratuvar ölçümleri sonucunda I. Kategori olduğu Tablo Ek 1 [35]'de verilmiştir.

Tablo A1.1: Petrol türevli atık yağ kategori analiz raporu.

Parametre	Birim	Kullanılan Metot	Analiz Sonuçları	AYKY I. Kategori	AYKY II. Kategori	AYKY III. Kategori	Sonuç
Arsenik	mg/kg	EPA 200.7 CP-OES Metot	0,55	<5	Max. 5	>5	I
Kadmiyum	mg/kg	EPA 200.7 CP-OES Metot	0,13	<2	Max. 2	>2	I
Klorür	mg/kg	EPA 9253 Titrimetrik Metot	77	Max. 200	Max. 2000	>2000	I
Krom	mg/kg	EPA 200.7 CP-OES Metot	0,7	<10	Max. 10	>10	I
Kurşun	mg/kg	EPA 200.7 CP-OES Metot	3,3	<100	Max. 100	>100	I
Parlama Noktası	°C	ASTM D 93 Kapalı Kap Parlama Noktası Standart Test Metodu	178	Min. 38	Min. 38	---	I
Poliklorlü Bifeniller (PCB)	mg/kg	TS EN 12766-1,2 GC-ECD Gaz Kromatografisi Metodu	0,54	Max. 10	Max. 50	>50	I
Toplam Halojenler (TX)	mg/kg	EPA 9076 Oksitleyici Mikrokulometre Metodu	78	Max. 200	Max. 2000	>2000	I
TS: Türk Standartları EN: European Norms EPA: Environmental Protection Agency AYKY: Atık Yağların kontrol Yönetmeliği Sonuç: Atık Yağ Numunesi; AYKY-Ek-1'e göre yapılan analizlerin sonucunda''I.Kategori'' olarak sınıflandırılmıştır.							

Ek B: İski Atık Suların Atıksu Altyapı Tesislerine Deşarjında Öngörülen Atıksu Standartları

Tablo B1.1: İski atıksu deşarj limitleri.

PARAMETRE	KANALİZASYON SİSTEMLERİ TAM ARITMA İLE SONUÇLANAN ATIKSU ALTYAPI TESİSLERİNDE	KANALİZASYON SİSTEMLERİ DERİN DENİZ DEŞARJI İLE SONUÇLANAN ATIKSU ALTYAPI TESİSLERİNDE
Sıcaklık (°C)	40	40
pH	6.5-10.0	6.0-10.0
Askıda katı madde (mg/L)	500	350
Yağ ve gres (mg/L)	250	50
Katran ve petrol kökenli yağlar (mg/L)	50	10
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	4000	600
Sülfat (SO ₄) (mg/L)	1700	1700
Toplam sülfür (S) (mg/L)	2	2
Fenol (mg/L)	20	10
Serbest klor (mg/L)	5	5
Toplam Azot (N) (mg/L)	- (a)	40
Toplam fosfor (P) (mg/L)	- (a)	10
Arsenik (As) (mg/L)	3	10
Toplam siyanür (Toplam CN ⁻) (mg/L)	10	10
Toplam kurşun (Pb) (mg/L)	3	3
Toplam kadmiyum (Cd) (mg/L)	2	2
Toplam krom (Cr) (mg/L)	5	5
Toplam civa (Hg) (mg/L)	0.2	0.2
Toplam bakır (Cu) (mg/L)	2	2
Toplam nikel (Ni) (mg/L)	5	5

Tablo B1.1: Devam.

Toplam çinko (Zn) (mg/L)	10	10
Toplam kalay (Sn) (mg/L)	5	5
Toplam gümüş (Ag) (mg/L)	5	5
Cl ⁻ (Klorür) (mg/L)	10000	--
Metilen mavisi ile reaksiyon veren yüzey aktif maddeleri(MBAS) (mg/L)	Biyolojik olarak parçalanması Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır.	

Gemilerden alınan atık sular belirlenen kriterler uygun olarak arıtılarak nihai alıcı deşarj hattına verilir. Bu alıcı ortam deşarj hattı kriterleri Tablo Ek 2 [26]'da verilmiştir.