

ATIK YÖNETİMİ VE DİJİTAL MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI

EDİTÖR

Doç. Dr. Merivan ŞAŞMAZ



IKSAD
Publishing House

ATIK YÖNETİMİ VE DİJİTAL MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI

EDİTÖR

Doç. Dr. Merivan ŞAŞMAZ

YAZARLAR

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL

Dr. Öğr. Üyesi Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU

Öğr. Gör. Abdulsamed GÜNEŞ

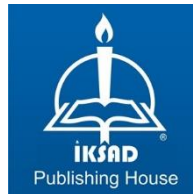
Öğr. Gör. Dr. Zeynel Abidin SARI

Dr. Özlem ÇOMAKLI SÖKMEN

Can Kıran

Karahan KARAKURT

Yusuf DURAN



Copyright © 2023 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or
transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses
permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TURKEY TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2023©

ISBN: 978-625-367-165-5

Cover Design: İbrahim KAYA

June/ 2023

Ankara / Türkiye

Size = 16x24 cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ

Doç. Dr. Merivan ŞAŞMAZ.....1

BÖLÜM 1

METALURJİK ÇEŞİTLİ YAN ÜRÜNLERİN NADİR TOPRAK ELEMENTİ POTANSİYELİ

Öğr. Gör. Dr. Zeynel Abidin SARI3

BÖLÜM 2

PETROL TÜREVİ ATIKLARIN GERİ KAZANIM PROSESİ

Öğr. Gör. Abdulsamed GÜNEŞ

Çevre Yüksek Mühendisi Yusuf DURAN33

BÖLÜM 3

SABİT VE HAREKETLİ ŞAMANDIRALARIN KARAKTERİSTİKLERİ

Karahan KARAKURT

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL47

BÖLÜM 4

GEMİLERİN DARBE VE ÇARPIŞMA ANALİZİ

Can Kıran

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL.....69

BÖLÜM 5

TÜRK ARAMA KURTARMA SAHASINDA DENİZ KAZALARI

Dr. Öğr. Üyesi Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU85

BÖLÜM 6
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ALANINDA YAPILAN BULANIK
MANTIK ÇALIŞMALARININ İNCELENMESİ

Dr. Özlem ÇOMAKLI SÖKMEN.....101

ÖN SÖZ

Atık yönetimi ve dijitalleşme uygulamalarını anlattığımız bu kitabımızda fen ve mühendislik alanında birçok çalışma derlenmiştir. Derlenen çalışmalar ilgili alanı temel düzeyde anlatarak geniş bir okuyucu kitlesine hitap etmektedir.

Kitabımız toplamda 6 bölümden oluşmaktadır. İlk iki bölümde atık malzemelerin arıtılarak nasıl geri kazanılabileceği protokol ve düzenekleri ile anlatılmıştır. Birinci bölümde atık malzemelerden nadir toprak elementlerinin nasıl geri kazanılabileceği ve bu işlemlerin önemi “*Metalurjik Çeşitli Yan Ürünlerin Nadir Toprak Elementi Potansiyeli*” başlığı ile sunulmuştur. İkinci bölümde ise atık enerjinin geri kazanımı “*Petrol Türevi Atıkların Geri Kazanım Prosesi*” başlığı altında ilgili okuyuculara sunulmuştur. Kitabımızın ikinci yarısında denizcilik alanında mühendislik ve istatistik çalışmaları derlenmiştir. Üçüncü bölümde işaretlemeyen, gözlem yapmaya kadar birçok kullanım alanı olan şamandıraların çeşitleri ve her bir çeşidin özellikleri “*Sabit ve Hareketli Şamandıraların Karakteristikleri*” başlığı altında toplanmıştır. Dördüncü bölümde gemilerin çarpışma analizleri bilgisayar modelleri ile incelenmiş ve en az hasar olması için gereken tavsiyeler “*Gemilerin Darbe ve Çarpışma Analizi*” başlıklı bölüm altında sıralanmıştır. Beşinci bölüm Türkiye deniz sahasında oluşan gemi kazalarının istatistiksel olarak analizini “*Türk Arama Kurtarma Sahasında Deniz Kazaları*” başlığı altında karşılaştırmalı olarak sunmuştur. Altıncı ve son bölümde ise bulanık mantık çalışmaları üzerine yapılan bir araştırma “*Endüstri Mühendisliği Alanında Yapılan Bulanık Mantık Çalışmalarının İncelenmesi*” başlığı ile sunulmuştur..

Bölümler için sağlanan içeriklerin tüm sorumluluğu ilgili bölüm yazarına/yazarlarına aittir.

Bu kitaba katkılarından dolayı çalışmalarını paylaşan yazarlara ve ISPEC yayınevine teşekkür ederiz. Bu kitapta derlenen bölümlerde, kaynak yenilenebilirliği ve dijitalleşme, örnekler ile okuyucunun beğenisine sunulmuştur. Derlenen bilgilerin ve analizlerin araştırmacıların çalışmalarına katkı sunması ve yeni çalışmalara ilham olması temenni ediyoruz

Doç. Dr. Merivan ŞAŞMAZ

BÖLÜM 1
METALURJİK ÇEŞİTLİ YAN ÜRÜNLERİN NADİR TOPRAK
ELEMENTİ POTANSİYELİ
Öğr. Gör. Dr. Zeynel Abidin SARI¹

¹ İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun MYO., Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Metalurji Programı, Hatay, Türkiye, zeynel.sari@iste.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-5932-2141

GİRİŞ

Nadir toprak elementleri (NTE'leri), kimyasal olarak benzer 17 metalik elementten (15 lantanit, skandiyum ve itriyum) oluşan bir gruptur. Kalıcı mıknatıslar, plazma TV'ler fosforlu lambalar, şarj edilebilir nikel metal hidrit piller, kamera lensleri, cep telefonları, tıbbi görüntüleme cihazları, katalizörler ve diğer yeşil ekonomi uygulamalarındaki temel rolleri düşünüldüğünde, düşük karbonlu, döngüsel bir ekonomiye geçişte giderek daha önemli hale gelmişlerdir. Hibrit ve elektrikli arabaların, rüzgâr türbinlerinin ve kompakt flüoresan lambaların artan popülaritesi, NTE'lerin talebinde ve fiyatında ciddi artışa neden olmuştur. Avrupa Komisyonu, NTE'leri en yüksek tedarik riski ile en kritik hammadde grubu olarak görmektedir. Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı'nın orta vadeli kritiklik matrisine göre, en kritik beş NTE'i neodyum (Nd), evropiyum (Eu), terbiyum (Tb), disprosyum (Dy) ve itriyumdur (Y).

Arz belirsizliği ve teknolojik ilerlemeler, çok sayıda yüksek teknoloji uygulamasında ve yeşil teknolojilerde kullanılan nadir toprak elementlerine olan ihtiyacın artmasına neden olmuştur. Artan kullanımın bir sonucu olarak, kullanımdaki NTE stokları artmakta ve her yıl artan sayıda NTE içeren ürün atılmaktadır. NTE rezervleri dünya geneline yayılmıştır, ancak şu anda Çin, dünyadaki toplam nadir toprak üretiminin %70'den fazlasını sağlamaktadır. Bu açıdan Çin'de üretilen NTE'lerin yüksek fiyatı, Çin dışındaki projelerin uygulanabilir olması için zorluklara yol açmaktadır. NTE'ler doğada değişen konsantrasyonlarda bir arada bulunur. Nispi konsantrasyonları çoğu zaman farklı NTE'lere olan taleple aynı değildir. Bu, bazı NTE'lerin aşırı üretimine ve diğerlerinin yetersiz üretimine yol açmaktadır. NTE'ler Avrupa Birliği (AB) tarafından en kritik unsurlardan bazıları olarak belirlenmiştir. Bunun başlıca nedeni, AB'nin NTE'lere olan talebini karşılamak için Çin'e bağımlı olmasıdır. NTE'lerin uygulamalarında değiştirilmesi zordur, bu da onları birçok yüksek teknoloji uygulamasının üretimi için gerekli kılmaktadır. Bu durumda NTE tüketimini hızla arttırmaktadır. Bundan dolayı NTE rezervlerinin hızla tükenmesi nedeniyle, alternatif başka NTE kaynaklarının bulunması gerekmektedir.

NTE içeren ürün, atık ve çeşitli metalurjik endüstriyel işlemlerde ortaya çıkan cürüflar, işlem artıkları ve baca küllerinin geri dönüşümü, NTE'lerin tedarik riskini hafifletmeye yardımcı olabilecek yollardan biridir. Bu tür NTE içeren ürünlerin birçoğu talebe benzer konsantrasyonlarda NTE içerdiğinden, bunların geri dönüşümü denge sorununu da ortadan kaldıracaktır.

Metalürjik yan ürünler, endüstriyel işleme sırasında geri kazanılmamış metalleri içerir. Bu yan ürünlerin bertarafı, hem çevresel ve yüksek hacim miktarlarından dolayı zor hem de içerisinde kıymetli metalleri içerdiği için ekonomik değildir. Bu nedenle günümüzde alternatif yönetim yöntemleri aranmaktadır. Nadir ve kritik metallerin alternatif kaynaklarına olan ihtiyaç ile birleşen bu metalürjik yan ürünlerin yüksek çözünme hassasiyeti, kritik metallerin geri kazanımı için alternatif kaynak olabilir. Birçok ülke kendi topraklarında ekonomik ve/veya operasyonel birincil NTE yatakların bulunmaması nedeniyle, NTE açısından kendi ülkelerinde bulunan ve yüksek hacim miktarlarında oluşan potansiyel metalürjik yan ürün olarak nitelendirilen cüruf, artık ve çeşitli baca tozlarına yatırım yapmak zorunda kalacaktır. Diğer taraftan farklı kaynaklardan NTE geri dönüşümüyle ilgili (çoğunlukla laboratuvar ölçeğinde) araştırma çabaları geniş bir literatürü kapsamına rağmen, günümüzde NTE'lerin az miktarı geri dönüştürülmektedir. Bunun başlıca nedeni olarak ise ekstrakte etme sıkıntıları, teknolojik zorluklar ve teşvik eksikliği olduğu düşünülmektedir.

Bu bölüm incelemesi, çeşitli metalürjik cüruflar, boksit kalıntıları (kırmızı çamur) ve termik santral baca külü gibi önemli endüstriyel yan ürünlerin NTE potansiyeli ve geri kazanma olasılıklarına genel bir bakış sunmaktadır.

1. METALURJİK ÇEŞİTLİ YAN ÜRÜNLER VE BUNLARIN NADİR TOPRAK ELEMENTİ POTANSİYELİ

NTE'leri, periyodik tabloda Lantanitler olarak tanımlanan, lantan ve lutesyum arasındaki 15 element ile itriyum (Y) ve skandiyumu (Sc) içerir. “Lantan (La), seryum (Ce), praseodim (Pr), neodyum (Nd), prometyum (Pm) ve samaryum (Sm) hafif NTE olarak kabul edilirken itriyum (Y), evropiyum (Eu), gadolinyum (Gd), terbiyum (Tb), disprosyum (Dy), holmiyum (Ho), erbium (Er), tulyum (Tm), iterbiyum (Yb) ve lutesyum (Lu) ağır NTE olarak kabul edilmiştir” (Suli ve ark., 2017). Farklılık hafif nadir toprakların sahip olduğu çift olmayan 4f elektron tabakasına sahip olmasından kaynaklanmaktadır ve ağır toprak elementleri 4f tabakasında çift elektrona sahiptir. Hibrit/elektrikli araçların ve rüzgâr türbinlerinin kullanımının yaygınlaşmasıyla beraber nadir toprak elementlerine olan talep giderek artmaktadır. Bu artışa bağlı olarak 2017 yılındaki 132.000 ton olan dünya NTE üretimi, son 5 yılda artarak yaklaşık 300.000 ton'a ulaşmıştır. 2022 yılı verilerine göre toplam NTE üretiminin yaklaşık %70'ini Çin üretmekte olup

onu sırasıyla ABD (%14,3) ve Avustralya (%6) takip etmektedir. Toplam 130 milyon ton olan dünya NTE rezervinin %33,8'ine Çin sahip olup onu ABD ve Vietnam takip etmektedir (USGS, 2022).

NTE'ler kritik hammaddelerin en başında yer alır. Birçok sektörde kullanılmakta olan NTE'lere olan talep, mevcut ve yeni teknolojik gelişmelere bağlı olarak sürekli olarak artmaktadır. 2035 yılına kadar dünyanın yıllık NTE talebinin 350.000 tonu aşacağı öngörülmektedir. Yeni kaynaklar bulunamaması durumunda bu tarihten sonra bazı NTE'lerde arz sıkıntısı yaşanacağı ve arzın talebi karşılayamayacağı riski bulunmaktadır. Ancak NTE'lerin stratejik olarak değerlendirilmesi nedeniyle ülkelerin kendi NTE rezerv kaynaklarını belirli tedbirler çerçevesinde kullanıma açtığı bilinmektedir. Ayrıca Dünya genelinde NTE rezervleri homojen şekilde yayılmadığından ve talebin her geçen gün artması sonucunda arz-talep dengesini sağlamak için alternatif kaynak arayışlarına başlanmıştır. Ekonomik modelin lineerden döngüsel doğru değiştiği günümüzde sürdürülebilir bir gelecek ve dış ülkelere olan hammadde bağımsızlığına ulaşmak için ikincil kaynaklar oldukça önem ihtiva etmektedir. Bu açıdan rezerv kaynaklarını koruyarak, ikincil kaynaklardan NTE kazanımına yönelik birçok bilimsel çalışma ve bu alanda ülkelerin teşvik programları mevcuttur. Birçok önemli teknolojik ürün üretiminde NTE'lerin kullanıldığı ve bunların kullanım ömrünü tamamlamasıyla ortaya çıkan ve ikincil kaynak olarak adlandırılan atıklardan söz konusu değerli metallerin kazanımı ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Dahası, ikincil kaynaklardan geri kazanım, birincil kaynaklardan üretime göre daha az çevresel etkilere sahip olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte birçok metalurjik üretim sırasında ortaya çıkan cürufur, baca tozları, baca külleri, çamurlar ve işlem artıklarının yanı sıra maden atıkları, flotasyon tailingleri, arıtma çamurları, endüstriyel atık sular vb. gibi yan ürünlerde NTE açısından değer taşımaktadır. Örneğin kurşun ve çinko cevheri, bakır cevheri, kükürt ve diğer cevher madenciliği ve işlenmesinden kaynaklanan atıklar, kayda değer miktarlarda NTE içerir (Binnemans ve ark., 2015; Chmielewski ve ark., 2016; Munir ve ark., 2019). Ek olarak, çelik fabrikalarının yüksek fırın cürufu da çekici miktarlarda NTE içermektedir (Abhilash ve ark., 2017). Kalay (Sn) geri kazanımından sonra kalay cürufuruları da NTE içeriği gösterdiği belirlenmiştir (Munir ve ark., 2019). Bu yan ürünlerden NTE'leri geri kazanma yöntemi olarak ise çoğunlukla hidrometalurjik ve pirometalurjik yöntemler kullanılmaktadır. Pirometalurjik prosesle karşılaştırıldığında, hidrometalurji proseslerinin üretim maliyeti ve enerji tüketimi nispeten

düşüktür ve ürün kalitesi önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Hidrometalurjik operasyonlar, ekstraktif metalurjinin önemli bir parçasıdır ve dünya çapında çeşitli metal kazanma/saflaştırma tesislerinde kullanılmaktadır. Bu, hammaddelerin işlenmesi için esnek, oldukça seçici ve çevre dostu bir yöntem olarak bilinir. Kaynakların hidrometalurjik kazanımı sırasında kullanılan başlıca prosesler, geri kazanılacak ilgili malzemeye bağlı olarak değişen, esas olarak liç, solvent ekstraksiyonu, iyon değişimi ve çökeltme proseslerini içerir. Atıktan NTE'lerin geri kazanılması için kullanılan temel işlemler hidrometalurjik yöntemlere benzemektedir. Atıklardan NTE'lerin liçi, hidrometalurjik yol kullanılarak nadir toprak işlemenin önemli bir parçasıdır. Bilinen prosesler, sülfürik asit (H_2SO_4), hidroklorik asit (HCl) ve nitrik asit (HNO_3) liçinden, NaCl veya $(NH_4)_2SO_4$ liçine kadar değişir. NTE'lerin oksijen için güçlü bir afinitesi vardır ve bu nedenle kaynakları esas olarak oksidik formda bulunur. Ek olarak, bu oksitlerin kristal yapısının parlatma yeteneği, mekanik dayanım, aşınma direnci vb. gibi kendine has özellikleri vardır. Bu nedenle, oksitli yapıya sahip NTE'leri, katalizörler, seramikler, fosforlar, cam ve cilalama gibi çok sayıda alanda benzersiz uygulamalarla giderek daha fazla kendini kanıtlamaktadır (Kim ve ark., 2012). Tüm NTE'lerin bir oksit olarak var olduğunu varsayarsak, nadir toprak oksitlerin bir asit çözeltisindeki liç davranışı, NTE'lerin etkili bir şekilde geri kazanılması için anahtar olacaktır.

Bu kapsamda metalurjik çeşitli yan ürünlerin NTE potansiyeli ve üretim yöntemleri aşağıdaki başlıklarda incelenmiştir:

1.1. Kırmızı Çamurun Nadir Toprak Elementi Potansiyeli

Alüminyum üretiminde kullanılan birincil minerallerden boksit cevherinin işlenmesi sırasında Bayer-alümina üretim prosesinin yan ürünü olarak kırmızı çamur meydana gelir. Burada meydana gelen kırmızı çamurun bileşimi boksit kaynağına ve bunun işletim modeline bağlı olarak değişmektedir. Diğer taraftan küresel olarak, atık olarak stoklanmak üzere yılda yaklaşık 200 milyon ton kırmızı çamur boşaltılmaktadır (Xue ve ark., 2019). Bu tür atıkların uzun süreli depolanması yalnızca değerli toprak kaynaklarını işgal etmekle kalmaz, aynı zamanda çevreye potansiyel olarak zararlıdır ve bu da alümina endüstrisine büyük yükümlülükler ve maliyetler getirir. Ancak günümüzde bu malzemenin sadece %2-3'ü çimento ve seramik uygulamalarında kullanılmaktadır. Kırmızı çamurdaki yüksek artık sodyum içeriği ve diğer alkalın katıların varlığı, diğer uygulamalarda kullanımını kısıtlamaktadır. Kırmızı çamurda bulunan ana elementler demir, alüminyum,

silikon, titanyum ve nadiren kalsiyumdur. Ayrıca galyum ve NTE'leri gibi bazı değerli ancak küçük elementler içerir. Bu nedenle kırmızı çamur, potansiyel bir polimetallik ikincil ham madde olarak görülebilir (Chenna ve ark., 2019). NTE'ler arz riski yüksek kritik metallerdir ve talebi her yıl artmaktadır. Skandiyum kırmızı çamurdaki NTE'ler arasında en değerli elementtir (Binnemans ve ark., 2015). Skandiyumun iki ana uygulaması, katı oksit yakıt hücreleri ve alüminyum-skandiyum alaşımlarıdır. Alüminyum-skandiyum alaşımları, hafif alaşımlar için en umut verici adaylar arasındadır (Royset ve Ryum, 2005). Alüminyum alaşımlarında genellikle ağırlıkça %0,2-0,6 skandiyum gibi küçük bir ilavenin avantajları, geliştirilmiş mukavemet, termal direnç, kaynaklanabilirlik ve korozyon direnci şeklinde sıralanabilir. Alüminyum-skandiyum alaşımlarının ana uygulaması, havacılık, uzay, otomotiv endüstrilerinde ve yüksek performanslı malzemelere dayanan spor ekipmanlarında (bisikletler, beyzbol sopaları, vb.) kullanılmaktadır (Ghosh ve ark., 2023). Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu raporuna (Kermer ve ark., 2017) göre, %99,99 saf Sc_2O_3 'ün fiyatı kg başına 2200 USD ve skandiyum oksit'in küresel arz ve tüketiminin yılda yaklaşık 15-25 ton olduğu tahmin edilmektedir (USGS, 2022). Talepteki bu hızlı artış nedeniyle, skandiyum kritik bir metal olarak sınıflandırılmıştır. Şu anda özel bir skandiyum madeni yoktur ve esas olarak çeşitli cevherlerin işlenmesi sırasında bir yan ürün olarak üretilmekte veya daha önce işlenmiş atıklardan veya kalıntılardan geri kazanılmaktadır. Skandiyum içeriği 20 ile 50 ppm arasında olan kaynaklar cevher olarak değerlendirilebilir, bu da kırmızı çamuru bu element için uygun bir kaynak yapmaktadır. Kırmızı çamurda, NTE'lerinin yaklaşık konsantrasyonu 500–1700 ppm aralığında değişirken, skandiyum konsantrasyonları 130–390 ppm arasında değişmektedir (Binnemans ve ark., 2013). Bu açıdan kırmızı çamur gibi ikincil kaynaklar, potansiyel olarak NTE'lerin talebini karşılama seçeneklerinden biri olarak kabul edilebilir. Örneğin şu anda ortaya çıkan kırmızı çamurun tam olarak işlenmesi, yılda 6600–20.400 ton skandiyum çıkarılmasını mümkün kılmaktadır (Narayanan ve ark., 2018). Bu nedenle, Bayer yöntemi ve varyasyonlarında çeşitli boksitlerin işlenmesiyle elde edilen kırmızı çamurdan nadir toprak metallerinin geri kazanılmasına yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Kırmızı çamurdan Sc, La ve Y gibi NTE'leri kazanmak amacıyla bir liç çalışması yapıldığı belirtilmektedir. Asit ile muamele, iyon değişimi ve solvent ekstraksiyonu gibi hidrometalurjik adımları birleştirerek kırmızı

çamurdan NTE geri kazanımı için liç reaktifi (HCl, H₂SO₄, HNO₃), temas süresi, sıcaklık ve katı-sıvı oranı gibi parametrelerin araştırıldığı bildirilmektedir. Kırmızı çamurun ise 2018 yılında Macaristan'daki Ajka kırmızı çamur bertaraf tesisinden temin edildiği belirtilmektedir. Ayrıca kırmızı çamurun NTE kimyasal bileşiminin ise Ce:690 ppm, Gd:290 ppm, Y:230 ppm ve Sc:110 ppm'den oluştuğu bildirilmektedir. Sonuç olarak klor iyonlarının NTE'lerine yönelik aktivitesi nedeniyle Sc, La ve Y ekstraksiyonu üzerine en etkin asit tipi olduğu rapor edilmiştir (Salman ve ark., 2021).

Aluminium of Greece tesisinden temin edilen kırmızı çamurdan NTE'lerin ekstraksiyonu için HCl ve H₂SO₄ ile 150 ml'lik cam bir reaktörde çalışıldığı bildirilmektedir. Kırmızı çamurdaki NTE'lerin tespiti için ICP-OES ile kimyasal bileşim analizine göre; Sc:121, Y:76, La:114 ve Nd:99 ppm 'den oluştuğu bildirilmiştir. Ayrıca HCl ile yapılan ekstraksiyon işleminin özellikle skandiyum kazanımı üzerine etkin olduğu rapor edilmiştir (Rivera ve ark., 2018)

Çin'in Guizhou eyaleti, Qingzhen'de bulunan bir alümina rafinerisinden temin edilen kırmızı çamurdaki NTE'lerinin ekstraksiyonu üzerine çalışıldığı bildirilmektedir. Atığın ICP-OES ile yapılan NTE kimyasal bileşim analizine göre; Sc:72.4, Y:179.5, La:281, Ce:565, Pr:64.5, Nd:227, Sm:45.5, Eu:8.44, Gd:37.9, Tb:5.84, Dy:33.8, Ho:6.78, Er:19, Tm:2.94, Yb:17.85 ve Lu:2.71 ppm'den oluştuğu belirtilmektedir. Kırmızı çamurdan demir ve alüminyum ayırmak amacıyla öncelikle oksalik asit ile liç edildiği bildirilmiştir. Elde edilen oksalatlı liç artığının ise kavrularak HCl ile liç edilip bunun sonunda elde edilen artığın ise H₂SO₄ ile liç edilerek NTE'lerce zengin liç çözeltilisinin elde edildiği rapor edilmiştir. Bu yöntemle NTE kazanımının %80'den daha fazla olduğu bildirilmektedir (Li ve ark., 2022).

Chenna ve ark., (2019) tarafından yapılan bir çalışmada Aluminum of Greece tesisinden temin edilen kırmızı çamuru değerlendirmek ve NTE'leri geri kazanmak için çeşitli işleme yolları geliştirilmiştir: 1) doğrudan liç; 2) ergitme-liç; 3) alkali kavurma-ergitme-liç; 4) sülfatlama-kavurma-liç. Kırmızı çamurun ICP-MS ile yapılan kimyasal analiz sonucuna göre; Sc:121, Y:76, La:114, Ce:368, Pr:28, Nd:99, Sm:21, Eu:5, Gd:22, Tb:3; Dy:17, Ho:4, Er:13; Tm:2, Yb:14 ve Lu:2 ppm bileşimindeki NTE metallere karşı oluşturduğu belirtilmektedir. Düşük asit konsantrasyonlarında (1 N) doğrudan asit liçi sırasında NTE geri kazanımının düşük olduğu ama özellikle HCl gibi yüksek asit konsantrasyonunun geri kazanımı artırabileceği vurgulanmıştır. Optimum

işlem koşullarında skandiyumun yaklaşık %60, diğer NTE'lerin ise %90'dan daha fazla çözündüğü rapor edilmiştir.

1.2. Bakır ve Kurşun Üretim Cüruflarının Nadir Toprak Elementi Potansiyeli

Bakır cürufu, bakırın mat ergitilmesi, konvertisaj ve rafine edilmesi sırasında elde edilen bir yan üründür. Tüm bu işlem kademelerinde elde edilen cürufun kimyasal bileşimi genelde birbirinden farklıdır. Üretilen her bir ton bakır için, şu anda mevcut olan nispeten düşük dereceli bakır konsantrasyonlarının bir sonucu olarak yaklaşık 2.2 ton cüruf üretildiği tahmin edilmektedir. (Gorai ve ark., 2003). 2022 yılında dünya çapında üretilen Cu metal miktarının 25.1 milyon tona ulaştığı tahmin edilmektedir (URL-1). Bu, üretilen yıllık Cu miktarı göz önüne alındığında aynı yıl içerisinde yaklaşık 55 milyon ton cüruf üretildiğini gösterir. Üretilen cürufun önemli bir kısmı, üretim hattına bir flotasyon adımından sonra ya tekrar beslenir ya da stoklanır, bu da çevre ve alan sorunlarına yol açabilecek bir seçenektir (Gorai ve Jana, 2003). Bu nedenle, en uygun yönetim seçeneğini seçmeden önce tam bir çevresel karakterizasyon gerçekleştirmek gereklidir. Birçok atığın tehlikeli maddeler içerdiği ve genellikle güvenli bir şekilde bertaraf edilmeden önce arıtılması gerektiği bilinmektedir. Cüruf özellikleri ve tehlikeli yapıları hakkındaki bilgiler, cürufların inşaat mühendisliğinde kullanılmasını cazip hale getirmektedir (Shi ve ark., 2008).

Ancak, metaller kolayca çözünebiliyorsa bu yönetim seçeneği uygun görünmemektedir. Bu nedenle, cüruflarda metallerin varlığı ile birleşen büyük üretim hacmi, araştırmacıların bu cürufları atık yerine ikincil metal kaynakları olarak düşünmeleri için bir itici güçtür. Bu cüruflarda bulunan Cu, Co, Ni, Zn, V, Ag, Au ve NTE'leri bunları ikincil kaynak olarak kullanılmalarını oldukça önemli hale getirmiştir. Bu gerçek, Avrupa Birliği'nde bazı emtiaların istikrarsız arzıyla birlikte, AB ekonomisi açısından kritik unsurlar/kaynaklar listesinin oluşturulmasına yol açmıştır (EC, 2017). Co, V ve NTE gibi metaller, kritik elementler grubuna aittir. Diğer taraftan bazı bölgelerde bakır cevheri kütlesinin 298 mgkg⁻¹'e kadar önemli miktarda NTE içerdiği vurgulamaktadır (Mikoda ve ark., 2019). Söz konusu bu elementlerin ise bakır üretimi sırasında cüruf bünyesinde zenginleştiği söylenebilir. NTE'ler özellikle ileri teknoloji ürünler ve ortaya çıkan yenilikler için önemlidir. AB komisyonuna göre, teknolojik ilerleme ve yaşam kalitesi, artan sayıda ham maddeye, özellikle de NTE'lere erişime bağlıdır (Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy, 2018). Bakır cüruflarından çeşitli

metallerin geri kazanımına yönelik piro ve hidrometalurjik birçok çalışma yapılmasına rağmen bu durum NTE'lerinin geri kazanımı için henüz tam olarak geliştirilmemiştir. NTE'lerin oksijene yüksek afinitesi nedeniyle, NTE'ler oksidik formda "bakır izabe tesisi" cürufu içinde bulunur. Ayrıca bu cürufların NTE içeriği büyük oranda seryumdan (seryum oksit yaygın olarak kullanılan bir polisaj maddesidir) oluşmaktadır (Binnemans ve ark., 2013). Buna örnek olarak Miganei ve ark., (2017) tarafından yapılan bir çalışmada şaft fırınlarından temin edilen bakır üretim cürufunun (Mansfeld-Almanya) ICP-OES ile yapılan kimyasal analiz sonucuna göre: Ce:57; Dy:<5; Er: <5; Eu:< 5; Gd: <10; Ho: <5; La:25; Lu:< 5; Nd:29; Pr:< 5; Sm:< 5; Tb:< 5; Tm: <5 ve Yb: <5 ppm gibi NTE metallere olduğu bildirilmiştir. Burada da görüldüğü gibi söz konusu bu cüruflar içerisinde seryum (Ce) metalinin daha yoğunlukta olduğu bunu Nd ve La metallere olduğu bildirilebilir.

Acidithiobacillus thiooxidans kullanılarak bakır üretimi Şaft Fırın Cürufu (ŞFC), kurşun üretimi cürufu ve Granüle Bakır Cürufu (GBC)'undan kritik metallere bakteriyel liç işleminin incelendiği bir çalışmada biyotik koşullar altında cüruflardan yüksek miktarda Co, Mo, NTE ve V metali çözünmesinin gerçekleştiği bildirilmiştir. Küresel ekonomi, kritik hammaddelerin arz riski konusunda artan bir sorunla karşı karşıyadır, bu nedenle ikincil kaynak arayışı acil bir konu haline gelmiştir. Bu açıdan bakır cevher kütleleri, işleme sırasında geri kazanılmayan önemli miktarlarda kritik kabul edilen metaller (örn. Co, Mo, NTE veya V) içerdiği bildirilmektedir. Böylelikle bakır üretimi ŞFC ve GBC'nin kimyasal analiz sonucuna göre NTE içeriğinin Tablo 1'deki gibi olduğu belirtilmektedir. Diğer taraftan kurşun üretimi cürufunun ise toplam nadir toprak elementi miktarının 94 ppm olduğu bildirilmektedir. 28 gün boyunca asidik koşullarda (pH:2.5) yapılan deneylerde bakır üretimi ŞFC, kurşun üretimi cürufu ve GBC'den NTE kazanımının sırasıyla %70, %83 ve %99 olduğu rapor edilmiştir (Mikoda ve ark., 2019).

Tablo 1. Bakır üretimi ŞFC ve GBC'nin kimyasal analizi (ppm) (Mikoda ve ark., 2019)

Element	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
ŞFC	30.2	60.8	110	11.5	41.2	7.57	1.69	7.38	1.03	5.64
							Ho	Er	Tm	Yb
							1.07	3.01	0.39	2.46
Element	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
GBC	38.8	77.6	129	13.5	49.7	9.69	2.57	8.62	1.26	7
							Ho	Er	Tm	Yb

1.43	3.8	0.51	2.92
------	-----	------	------

Aromaa, (2019) tarafından yapılan bir çalışmada bakır mat cüruf sistemindeki NTE'lerin zamana bağlı davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel koşulların bakır konsantrasi flaş ergitme koşullarını temsil edecek şekilde simüle edilerek 1300 °C'de hava ve argon atmosferinde gerçekleştirildiği bildirilmektedir. Böylelikle bakır mat cüruf sistemindeki NTE'lerin termodinamik ve kinetik davranışlarının deneysel olarak tespit edilmesinin amaçlandığı belirtilmektedir. NTE'ler, bu çalışmanın sonuçlarında belirgin olan, mat faz yerine cüruf fazını tercih ettiği, ayrıca bakır mat ergitme koşullarında sistem yüksek sıcaklıklara ulaştığında NTE'lerin neredeyse anında cüruf fazına dağıldığı rapor edilmiştir. Diğer taraftan hem hava hem de argon atmosferindeki en uzun temas sürelerinden sonra mat fazda kalan NTE'lerin konsantrasyonlarının, cüruf fazındaki konsantrasyonlara kıyasla ihmal edilebilir düzeyde olduğu bildirilmiştir. Ayrıca NTE içeren hurdanın geri dönüşümü için pirometalurjik işlemenin kullanılması, NTE'lerin neredeyse tamamen cüruf fazına dağılması ve dağılımın neredeyse anlık olması gerçeğiyle desteklendiği belirtilmektedir. Ancak cüruf fazına mat faz üzerinden dağılım, cüruftan NTE'leri geri kazanmak için başka bir işlem gerektiğinden geri dönüşümü zorlaştırdığı ifade edilmiştir.

Bakır cürufunun genellikle, içinde niyobyum ve tantal bulunan önemli miktarda değerli metal içerdiği belirtilmektedir. Cüruftan metallerin geri kazanılması için çeşitli işleme yöntemleri arasında, flotasyon yoluyla fiziko kimyasal ayırmanın yaygın olarak kullanılmakta olduğu bildirilmektedir. Hidroksamat ile şelat oluşturan minerallerin flotasyonunda alkil, arilaril veya alkilaril hidroksamat kullanımının endüstride yaygın olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca hidroksamatların, lantan veya niyobyum içeren minerallerin yüzeylerinde seçici olarak şelat oluşturma yeteneklerinden dolayı yüzdürmede güçlü toplayıcılar olduğu rapor edilmiştir (Roy ve ark., 2015).

Klemettinen ve ark., (2020) tarafından yapılan bir çalışmada bakır flaş ergitme koşullarında NTE'lerinin kinetik davranışı hakkında daha önce hiçbir veri olmadığı bu çalışmada La ve Nd'un davranışlarının laboratuvar ölçekli deneylerde incelendiği belirtilmektedir. NTE'lerin geri dönüştürülmesi için en son teknoloji, şu anda pirometalurjik işleme sırasında bunları cürufa geçirmek ve ardından hidrometalurjik yöntemlerle cüruftan ekstrakte etmek olduğu bildirilmektedir. Yapılan çalışmanın sonuçlarının ise, yaygın olarak kullanılan demir silikat cürufunun etkili bir NTE toplayıcı görevi gördüğünü

göstermektedir. Cüruf hacimleri çok büyük değilse, NTE konsantrasyonları yeterliyse ve uygun (ve ekonomik olarak uygulanabilir) hidrometalurjik teknikler mevcutsa, NTE'lerin birincil bakır ergitme işleminden üretilen demir silikat cürufundan ikincil hammaddelerin geri kazanılabileceği ve böylece işlevsel olarak geri dönüştürülebileceği vurgulanmaktadır. Bununla birlikte, cüruftaki yüksek demir konsantrasyonun, hidrometalurjik süreçte sorunlara neden olabileceği ve saf olmayan ürünlere yol açacağı rapor edilmiştir.

1.3. Yüksek Fırın Cüruflarının Nadir Toprak Elementi Potansiyeli

Ham (pik) demir üretiminin yan ürünü olarak Yüksek Fırın (YF) cürufları, demir cevherinin cüruf yapıcı hammaddeyle (kireçtaşı ve/veya dolomit) ve kok ile karıştırılmasıyla 1500 °C'nin üzerindeki indirgeyici koşullar altında ısıtılarak ergimiş ham demirin yüzeyinde oluşan bir atıktır. Diğer taraftan, dünya demir cüruf üretiminin 320 ila 384 milyon ton arasında olduğu, üretilen YF cürufunun ise yaklaşık %90'ının kullanıldığı ve yaklaşık %10'unun düzenli depolama alanlarında bekletildiği tahmin edilmektedir (USGS, 2020). Artan üretim kapasiteleri nedeniyle, büyük miktarlarda cürufun bertaraf edilmesi, büyük bir çevre sorunu ve demir-çelik üreticileri için kritik bir sorun haline gelmektedir. Ergiyik haldeki cürufu soğutmak için kullanılan yöntemle bağlı olarak farklı YF cürufu formları üretilir. Bunlar hava soğutmalı, köpüklü, peletlenmiş ve granüle edilmiş (Rao, 2011) gibi çeşitli cüruf türleridir. Bunlardan hızlı söndürme ile oluşturulan peletlenmiş ve granüle cüruflar çimento bazlı malzemelerde uygulama alanı bulmuştur (Morian ve ark., 2012).

Üretilen YF cürufunun (yıllık 32-38 milyon ton) %10'u düzenli depolama alanında olduğundan, bunun için potansiyel uygulamalar bulmak oldukça arzu edilir. Birkaç çalışma, YF cüruflarında titanyum, niyobyum, tantal ve nadir toprak elementleri dahil olmak üzere, bu yan ürüne ek değer katan, değerlendirilebilen kritik metallerin varlığını bildirmiştir (He ve ark., 2016; Kasina ve Michalik, 2017). Tipik olarak, YF cürufu, kullanılan cevher veya kömürden gelen Ce, La ve Nb gibi çeşitli NTE içerir. Ergitme işleminde demir, fosfor ve niyobyum indirgenir, ancak NTE'ler indirgenemez; böylece cürufta yoğunlaşırlar (Li, 2005). NTE'ler arasında Ce ve La, yüksek afiniteye sahip oldukları için oksijen ve kükürdü yakalayabilir. Bu işlem için faydalıdır çünkü bu iki element çeliğin özelliklerini bozar (Lidelöw, 2011).

Kim ve Azimi, (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, pik demir üretim endüstrisi tarafından üretilen yüksek fırın cürufundan skandiyum ve

neodimyum'u geri kazanmak için asit kavurma-su liçi adı verilen bir pirohidrometalurjik sürecin geliştirilmesine vurgu yapmaktadır. Bu süreçte cürufun, konsantre sülfürik asit ile karıştırılarak, 200–400 °C'de kavrulup daha sonra ortam koşullarında suda liç işlemi gerçekleştirildiği bildirilmektedir. Mevcut cürufun NTE kimyasal bileşiminin skandiyum (Sc), itriyum (Y), lantan (La), seryum (Ce), praseodim (Pr), neodimyum (Nd), samaryum (Sm), gadolinyum (Gd), disprosyum (Dy)'dan oluştuğu ve 356 ppm toplam NTE konsantrasyonu sahip olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmanın sonuçlarında, stoklanan YF cürufundan skandiyum ve neodimyum'un, doğrudan liç işlemine kıyasla daha az asidik atık oluşumuyla geri kazanılmasının mümkün olabileceği, optimum koşullarda ise skandiyum ve neodimyum geri kazanımının sırasıyla %82,5 ve %80,6 olduğu bildirilmektedir.

Abhilash ve ark., (2022) tarafından yapılan bir çalışmada granüle yüksek fırın cürufunun, nadir toprak elementlerinin potansiyel bir kaynağı olduğu ve karmaşık mineralojisi nedeniyle, geleneksel hidrometalurjik prosesle ekstraksiyonunun, onu asit tüketen bir yöntem haline getirdiği belirtilmektedir. Bundan dolayı bir biyoliç uygulamasıyla, Ca-Al-Si matrisinde barındırılan 157 ppm Ce, 90 ppm La, 71 ppm Nd ve 40 ppm Er içeren cürufun NTE ekstraksiyonu için bir kemo-organotrofik bakteri *Gluconobacter oxydans* (DSMZ 46616) kullanılarak araştırıldığı bildirilmektedir.

Sarkar ve Venugopalan, (2017) tarafından yapılan bir çalışmada NTE olarak sırasıyla 17, 16, 4 ve 44 ppm konsantrasyonlarında La, Ce, Er ve Nd içeren yüksek fırın cürufunun H₂SO₄ ile liç işleminin gerçekleştirildiği belirtilmektedir. Oda sıcaklığında, bir saatte, 1M H₂SO₄ ile 250 µm'den daha küçük cürufularla yapılan deneylerde; La, Ce, Nd ve Er için sırasıyla yüzde 92, 36, 35 ve 52'lik geri kazanım oranlarının, elde edildiği vurgulanmaktadır. Sıcaklığın 95 °C'ye yükseltilmesiyle, aynı 1 M asit konsantrasyonu ve % 5 pulp yoğunluğunda bir saatlik süre için Ce ve Nd'un çözünmelerinin sırasıyla yüzde 89 ve 84'e yükseldiği bildirilmektedir. Liç sıvısından NTE'lerin saflaştırılması için solvent olarak Cyanex 301 yerine Cyanex 923 tercih edildiği belirtilmektedir. Başka bir aşamada ise, liç sıvısının 0.5 ila 1 M oksalik asit ile çöktürmeye tabi tutularak yüzde 4 ila 5 oranında NTE konsantrasyonuna sahip bir ürün elde edildiği rapor edilmiştir.

1.4. Yüksek Fırın Baca Tozlarının Nadir Toprak Elementi Potansiyeli

Yüksek Fırın Baca Tozu (YFBT), baca gazlarının kuru toz toplayıcı yoluyla temizlenmesi ve ardından ıslak gaz temizliği sırasında elde edilen, yüksek fırının tepesinden atılan oksitlerin karışımıdır. Baca tozu, ana bileşenleri demir oksitler ve kok tozları olan yüksek fırının tepesinden atılan oksitlerin bir karışımıdır. Ayrıca az miktarlarda silikon, kalsiyum, magnezyum ve diğer küçük elementel oksitleri içerir. Baca tozunun doğrudan geri dönüşümü, yüksek fırında çalışma zorluklarına neden olabilecek bazı istenmeyen elementler (çinko, kurşun ve alkali metaller gibi) içerdiğinden genellikle mümkün değildir. Bu katı atıklar, ekonomik olarak geri kazanıldığı takdirde tekrar kullanılabilen birçok değerli ürüne sahiptir. Dünyanın dört bir yanındaki birçok çelik tesisi, çelik endüstrilerinin işletme verimliliğini ve ekonomisini iyileştirme nihai hedefi ile bu atıkların %100 kullanımı için yenilikçi önlemler üzerinde çalışılmaktadır. Bununla birlikte, yaklaşık %60 ince parçacıklardan oluşan baca tozunun doğrudan geri dönüşümü, kapsamlı bir ön işlem ve sinterleme olmadan çok zordur. Bu gerçekler, hem ekonomik hem de çevresel açıdan bu baca tozunun geri dönüştürülebilirliğinin bütünlüğü konusunda bir soru işareti oluşturmaktadır (Rath ve ark., 2018). Diğer taraftan çoğu zaman önemli miktarda toz, çevre ve alan sorununa neden olacak şekilde fabrika tesislerinin sınırlarında stoklanmaktadır. Yığın halinde bekletilen bu tozların majör miktarda çeşitli oksitli elementleri içermesinin yanında minör oranda da geri kazanılabilecek NTE'lerini içerdiği söylenebilir. Yüksek fırında üretilen her ton sıcak metalin 18-22 kg arasında baca tozu oluşturduğu (Baidya ve ark., 2019) düşünülürse bu tozların yıllık olarak büyük miktarda NTE içeren bir kaynağa sahip olacağı söylenebilir. Diğer taraftan şimdiye kadar yapılan literatür taramalarında ise bu tozlardan NTE'lerinin doğrudan geri kazanımına yönelik bir çalışma yapılmadığı belirlenmiştir.

Das ve ark., (2002) tarafından, Rourkela ve Tata gibi iki farklı tesisten temin edilen yüksek fırın baca tozlarının etkin kullanımı üzerine yapılan bir çalışmada, söz konusu tozların NTE kimyasal analizleri tespit edilmiştir. Kimyasal analiz sonuçlarının Tablo 2'deki gibi olduğu belirtilmektedir. Buna göre baca tozundaki ilişkili nadir toprak elementlerinin La, Ce, Nd, Pr, Y, Er, Dy vb. gibi olduğu bildirilmiştir. Ayrıca La ve Ce'nin konsantrasyonunun diğer elementlere kıyasla daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Diğer taraftan bazı aynı elementlerin farklı tesislerden temin edilen baca tozlarında belirgin

şekilde farklı konsantrasyonlara sahip olması ise tesislerde kullanılan hammaddelerin farklılığından kaynaklanmış olabileceği belirtilmektedir.

Tablo 2. Yüksek Fırın Baca Tozlarının NTE kimyasal analizi (ppm) (Das ve ark., 2002)

Element	La	Lu	Tb	Tm	Yb	Ce	Sm	Y	Dy	Gd
Rourkela-YFBT	15.25	0.07	0.1	0.3	3.36	24.39	0.6	0.6	-	0.28
								Eu	Nd	Pr
								-	1.55	4.43
Element	La	Lu	Tb	Tm	Yb	Ce	Sm	Y	Dy	Gd
Tata-YFBT	9.01	0.1	0.17	-	3	18.88	1.05	1.05	0.62	-
								Eu	Nd	Pr
								0.17	3.07	-

1.5. Bazık Oksijen Fırını (BOF), Pota Fırını ve Elektrik Ark Fırını (EAF) Cürufalarının Nadir Toprak Elementi Potansiyeli

Bazık Oksijen Fırını, (BOF) ya da diğer adıyla LD konverterleri yüksek fırında üretilen sıvı ham demirin çeliğe dönüştürülmesinde kullanılan fırınlardır. Yüksek fırından alınan sıvı ham demire, uygulanan yüksek fırın sonrası-çelikhane öncesi işlemlerden sonra (kükürt, fosfor, silisyum vb. giderme), bazık oksijen fırınlarında saf oksijen üflenerek bünyedeki karbonun uzaklaştırılması sağlanır. BOF işleminin sonunda, sıvı çelik ve cüruf tabakası elde edilir. Bir BOF'ta sıvı çelik üretimi sırasında, her bir ton ham çelik için, sıcak metal kalitesine ve çelik üretim pratiğine bağlı olarak yaklaşık 100-150 kg cüruf atık olarak üretilmektedir (Srinivasa ve ark., 2006).

Pota Fırını (PF) ise temel görevi metalürjik arıtma işlemlerini gerçekleştirmek olan fırında, kükürt giderme, karbon giderme, oksijen giderme gibi işlemler gerçekleştirilmektedir. Demir çelik sektöründe, rafinasyon ve alaşımlandırma işlemlerinin yapıldığı çelikhane bölümüdür ve bu işleme ikincil metalürji adı da verilmektedir. Bu prosesler sonucunda oluşan cürufa ise pota ocağı/fırını cürufu adı verilmektedir. Bu cürufun kullanım alanı yaygın olmamakla birlikte daha çok stok halinde tutulmaktadır. Hurdadan üretilen pota metalürjisinde 1 ton çelik başına 10-30 kg civarında cüruf ortaya çıkmaktadır. Ortalama olarak dünyada ise 30 milyon ton tozlaşan pota cürufu ortaya çıktığı tahmin edilmektedir (Bilen, 2019).

Elektrik Ark Fırını (EAF) cürufu, esas olarak ergimiş çeliğin rafine edilmesi işlemi sırasında, silikatlar ve oksitlerden oluşan metalik olmayan bir yan üründür. EAF için besleme malzemeleri çoğunlukla çelik hurdası ve pik demirdir. Bir ton ergimiş çelik başına ağırlıkça yaklaşık %10-15 oranında cüruf üretildiği tahmin edilmektedir (Hosseini ve ark., 2016). Ayrıca dünya ham çelik üretiminin 2022'de toplamda 1.878,5 Mt olduğu belirtilmektedir (World Steell Association, 2022).

Demir-çelik metalürjisinde, oksijen ve kükürt çeliğin veya dökme demirin özelliklerini bozduğundan, bunları gidermek amacıyla NTE'ler ve nadir metallere (Ga, Ge, Nb vd.) oksijen ve kükürdü yakalamak için alaşım formunda kullanılır (Abhilash ve ark., 2017). Bu işlemler sonunda ise ergimiş yapı ve NTE'lerin cürufta bulunduğu bileşenler elde edilir. Oksijenle reaksiyona girdikten sonra, ortaya çıkan nadir toprak oksitler, çelik üretiminden kaynaklanan yaygın bir atık ürün olan elektrik ark ocağı cürufunda (Basu, 2019) birikir. Cüruf numuneleri, ağırlıkça %0,032-0,014 Nd ve en yüksek miktarı ağırlıkça %0,058 olan önemli miktarda Nd içerir; bu, NTE madeninde bulunanlarla karşılaştırıldığında çelik yapım cürufunda önemli miktarda Nd bulunabileceğini göstermektedir (Anawar ve ark., 2019).

Hindistan'daki Tata Çelik fabrikasından temin edilen Yüksek Fırın (YF), BOF ve PF cürufunun, nadir toprak elementlerinin mevcudiyetine ilişkin kapsamlı bir genel bakış sunulduğunu ve elde edilen verilerin cevher jeolojisindeki farklılıklar hariç Hindistan'daki ve dünyadaki birkaç entegre çelik tesisi için temsili veriler olabileceği belirtilmektedir. Cüruf numunelerinin Tablo 3'de görüldüğü gibi ICP-MS kimyasal analiz sonuçlarına göre YF cürufundaki NTE içeriği, BOF cürufunun yaklaşık 10 katı ve aynı zamanda PF cürufunun 100 katı olduğu bildirilmektedir. Bu açıdan YF, BOF ve PF cürufunun, NTE içeriği Tablo 3'deki gibi olduğu belirtilmektedir. YF cürufunun, 177 ppm Ce metal içeriği ile çok zengin olduğu, ardından 96 ppm La ve 74 ppm Nd metal içeriği geldiği vurgulanmaktadır. Diğer taraftan yapılan Tornado analizi ile cürufunda bulunan elementlerin büyüklüğünü ve Gd, Er, Zr ve diğer NTE'ler gibi kritik elementlerin mekansal ve kapsayıcı dağılımının otomatik olarak tespit edilebileceği bildirilmektedir. YF cürufunda alümina-silikat tanelerinde eşit olarak dağılmış La, Ce, Nd ve Sm gibi metallere varlığının olduğu bununla birlikte, Er metalinin, demirin tespit edilebileceği yerde kapsamlı bir şekilde bulunduğu belirtilmektedir. Ayrıca yüksek Ca içeren bölgelerin, düşük Fe ve aynı zamanda düşük NTE içerdiği rapor edilmiştir. Zengin Ca matrisine sahip

olan BOF cüruflarında ise kalsiyum fosfat ve alümina-silikat taneleri içinde eşit olarak dağılmış La, Er, Sm, V gibi metallerin varlığının olduğu, YF cürufunda olduğu gibi, yüksek Ca içeren bölgelerin, düşük Fe ve aynı zamanda BOF cürufunda da düşük NTE içerdiği belirtilmektedir. Zengin bir wüstit (FeO) matrisine sahip PF cürufunda ise Fe-Sm-Ti taneciklerinde eşit olarak dağılmış Nb, Sm, Ti, Ga, Ge gibi metallerin varlığının mevcut olduğu rapor edilmiştir. Bu metalleri kazanmak amacıyla, metalleri asitle çözündürmeye dayanan hidrometalurjik yöntemlerin uygulanabileceği belirtilmektedir. Çözündürme sonunda elde edilen yüklü solüsyonlardaki metallerin, çeşitli kritik metal tuzları elde etmek için solvent ekstraksiyonu, iyon değişimi, çöktürme, kristalleştirme vb. gibi sıralı çok aşamalı metal ayırma adımlarına tabi tutularak kazanılabileceği bildirilmiştir (Abhilash ve ark., 2023).

Tablo 3. YF, BOF ve PF cüruflarının NTE kimyasal analizi (ppm) (Abhilash ve ark., 2023)

Element	Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy
YF	29	48	96	177	22	74	19	3	14	11
									Er	Yb
									5.3	5.1
Element	Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy
BOF	3.6	6.9	9.2	15	1.9	6.6	1.4	0.3	1.3	1
									Er	Yb
									0.6	0.7
Element	Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy
PF	0.3	0.4	0.6	1.3	<0.1	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
									Er	Yb
									<0.1	<0.1

Kasina ve Michalik, (2016) tarafından yapılan bir çalışmada siyah, mikrokristal yapılı, gözenekli ve kırılğan olan EAF cüruflarının Nb ve Ta konsantrasyonlarının yüksek olduğu, buna karşın yüksek fırın cüruflarının ise NTE açısından daha zengin olduğu belirtilmektedir. Ayrıca mineral bileşimi, cüruf kristalliği ve yapısı ile kritik elementlerin konsantrasyonu arasında bir ilişkinin olmadığı bildirilmektedir. En yüksek konsantrasyonların, yığın üzerinde kalma süresi daha uzun olan cüruflarda meydana geleceği vurgulanmaktadır. Bu, metalurjik proseslerde girdi malzemesinin bileşimi ve teknolojik gerekliliklerle ilgili kısıtlamaların zaman içinde daha katı hale

gelmesi ve dolayısıyla daha uzun bertaraf süreleri ile karakterize edilen cürufların en yüksek NTE konsantrasyonlarını içermesi gerçeğini yansıtacağı belirtilmektedir. Diğer taraftan cüruflardaki elementlerin hareketliliği yüksek pH nedeniyle sınırlı olduğundan, konsantrasyonlarının yığın hacmi içinde sabit kalacağı, bu da faydalı elementlerin geri kazanılmasını ve bertaraf alanının kullanılmasını kolaylaştıracağı bildirilmektedir. İnşaat gibi sektörlerde cürufların kullanımının, kritik elementlerin potansiyel geri kazanımını yok ettiği bundan dolayı potansiyel olarak değerli kritik element konsantrasyonlarının, bu tür kullanımdan önce kontrol edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca, yapılan başka bir çalışmadan elde edilen bilgilere göre EAF cüruflarındaki NTE kimyasal bileşiminin Tablo 4'deki gibi olduğu bildirilmektedir. Buna göre La ve Ce içeriğinin diğer elementlere göre daha yüksek olduğu rapor edilmiştir.

Tablo 4: EAF cürufunun NTE kimyasal analizi (Kasina ve Michalik, 2016)

Element	Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy
ppm	1	4.1	9.4	18.1	2	8.4	0.9	0.15	0.8	0.9
									Er	Yb
									0.5	0.3

1.6. Kalay Üretim Cüruflarının Nadir Toprak Elementi Potansiyeli

Endüstride en çok kullanılan metallere biri kalaydır. Elektronik uygulamalardan kaplamaya kadar pek çok alanda sıkça kullanılmaktadır. Kalay, oksit cevherinin (yaklaşık %80 kalaydan oluşan kassiterit-SnO₂ minerali kullanılır) karbon veya kok ile karbotermik indirgenerek rafine edilmesiyle üretilir. Dünyanın en büyük kalay üretici ülkeleri ise Çin ve Endonezya'dır. Bu üretimde hem reverber fırın hem de elektrikli fırın kullanılabilir. Kalay üretimi ne kadar yüksek olursa, o kadar fazla kalay atığı veya cürufu oluşacaktır. Kalayın ergitilmesi sırasında, Ta, Nb, NTE vb. gibi elementler cürufta yoğunlaşmaktadır (Allain ve ark., 2019). Kalay cürufunun genellikle Ta ve Nb gibi elementleri kazanmak için işlenebileceği belirtilmektedir. Ayrıca kalay cürufu işleminin ekonomik değerinin ise Ce dahil diğer metallerin ekstraksiyonu ile artırılacağı rapor edilmiştir (Szamalek ve ark., 2013).

Endonezya'daki bir tesisten temin edilen kalay cürufları üzerine yapılan bir çalışmada, alkali işlem ve su liçi sonrası HCl kullanılarak kalay

cürüflerinden Ce çözünmesine etki eden parametrelerin optimum koşullarının belirlendiği bildirilmektedir. Burada cürufun hem silika içeriğini azaltmak hem de gözenekliliğini artırmak için alkali işlem yöntemi ve su liçi ile ön işlem yapıldığı belirtilmektedir. Cürufun XRF analizi sonucuna göre toplam NTE oranının %3,46 olduğu bununda %1,35'ini Ce₂O₃ bileşiğinin meydana getirdiği bildirilmiştir. Optimum çözünme koşulları olarak; 2.5 M HCl konsantrasyonu, 40 °C çözünme sıcaklığı, -325 parçacık boyutu, 150 rpm karıştırma hızı ve 180 dakikalık çözünme süresi sonunda Ce'un %75,16'sının çözüldüğü rapor edilmiştir (Trinopiawan ve ark., 2020).

Permana ve ark., (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, HSC kimya yazılımı kullanarak 900 °C'de kavurma sonrasında HF, HCl ve NaOH kullanılarak çözdürme işlemi neticesinde kalay cürüflerinde meydana gelen tüm süreçleri tahmin etmenin mümkün olduğu belirtilmektedir. Bu amaçla kalay cürüflerinin XRF karakterizasyon analizi sonuçlarına göre baskın NTE içeriğinin Tablo 5'deki gibi olduğu bildirilmiştir. Kavurma sonucunda HF ile yapılan çözdürme işlemi neticesinde neredeyse tüm baskın NTE oksitlerinin çözünebileceği rapor edilmiştir.

Tablo 5: Kalay cürufunda baskın olan nadir toprak elementleri (%) (Permana ve ark., 2017)

Ce ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Y	Nd	Yb	Pr	Er	Lu
1.024	0.473	0.5909	0.2646	0.087	0.05296	0.0471	0.00051

%1,57 Ce ve %0,13 La içeriğine sahip Bangka kalay cürüflerinden NTE'leri kazanmak amacıyla yapılan bir çalışmada söz konusu cürufun öncelikle 900 °C'de kavrulduğu belirtilmektedir. Kavurma adımı sonrası bir takım işlemlerden sonra 8M NaOH ile muamele edilerek ardından 0.1M, 0.4M ve 0.8M konsantrasyonlarında HClO₄ ile liç edilerek Ce ve La içeriğinin sırasıyla %4,35 ve %1,45'e kadar çıkarıldığı rapor edilmiştir (Munir ve ark., 2019).

1.7. Termik Santral Bacası Uçucu Küllerinin Nadir Toprak Elementi Potansiyeli

Kömürün termik santrallerde yanması, bacalarda uçucu kül olarak bilinen atık oluşumuna yol açar. Kömür Uçucu Külü (KUK), dünya çapında büyük miktarlarda ortaya çıkan su ve toprak kirliliğine, ekolojik döngülerin bozulmasına neden olabilen ana kömür yakma yan ürünü olarak bilinir. SkyQuest tarafından yapılan analize göre, küresel uçucu kül oluşumunun

2030 yılına kadar 1,04 milyar tonu aşacağı öngörülmektedir (SkyQuest, 2022). Uçucu kül oluşumunda beklenen bu artışın birkaç nedeni vardır. Bunlardan biri olarak, kömürün enerji üretim kaynağı olarak kullanımının başta Asya olmak üzere dünyanın birçok yerinde artmaya devam etmesi beklenmektedir. Bu da kömüre dayalı termik santrallerin artmasına ve dolayısıyla uçucu kül oluşumunun artmasına neden olacaktır. Bu oluşan uçucu küller ise çimento ve betonda önemli bir bileşen olduğu için genellikle inşaat endüstrisinde kullanılmaktadır. Öte yandan, uçucu külün çevresel açıdan oldukça zararlı olan potansiyel bir antropojenik arsenik kaynağı olduğu bulunmuştur (Pandey ve ark., 2011). KUK, NTE'leri ve itriyumun en umut verici ikincil kaynaklarından biridir. KUK, yanma işlemleri sırasında karbon içeriği yandığından, orijinal kömürden daha yüksek itriyum konsantrasyonu içerir; böylece itriyum konsantrasyonu yaklaşık 8-10 kat artmaktadır (Seredin ve Dai, 2012). Sonuç olarak, eğer uygun maliyetli ekstraksiyon süreçleri geliştirilirse KUK, itriyum için gelecekte güvenilir bir kaynak haline gelebilir. Diğer taraftan farklı kömür yakma türlerinden elde edilen KUK'nın, ortalama küresel bazda yaklaşık 445 mg/kg NTE içerdiği kaydedilmektedir. Çeşitli kristalografik çalışmalar (Hansen ve ark., 1981), elementlerin ağırlıklı olarak camsı alümina-silikat mineralleri ile gömülü olduğunu göstermiştir. Bu da NTE'lerinin kömür uçucu külünden geri kazanılmasını son derece zorlaştırmaktadır. KUK, ortam koşullarında herhangi bir asit veya alkalide çözünmediğinden, alümina-silikat yapısını bozmak için genellikle yüksek sıcaklık/basınçlı kavurma/liç uygulanmaktadır (Izquierdo ve Querol, 2012).

Kömür uçucu külündeki NTE'lerinin çoğunluğu, asitle liç işleminde çözünürlüklerini engelleyen alümina-silikat camsı fazı ile çevrelenmiştir. Pan ve ark., (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, camsı fazları kırmak, suda çözünen ürünleri ve reaksiyona girmemiş kavurma katkı maddelerini uzaklaştırmak ve buna bağlı olarak NTE'lerin ve diğer değerli elementlerin KUK'dan geri kazanımını iyileştirmek için sırası ile kimyasal kavurma, su liçi ve asit liç prosesleri tasarlanmıştır. Yapılan karakterizasyon çalışmalarında, silis ve alüminyum oksitlerin KUK numunesinin ana bileşenleri olduğunu (yaklaşık %70) ve ardından demir oksitinin (%15) geldiği belirtilmektedir. Diğer taraftan numunelerin ana fazlarının X-Ray Kırınım (XRD) analizi kullanılarak silika, mullit ve hematit olarak tanımlandığı bildirilmiştir. Ayrıca NTE'leri belirlemek amacıyla yapılan ICP-MS analizlerinde toplam ağır ve hafif NTE miktarlarının sırasıyla 124.28 ve 363.03 ppm olduğu belirtilmektedir. Ayrıca NTE kimyasal bileşim dağılımı

ise Tablo 6’da verilmiştir. Uygulanan deneysel işlem prosedürü ile NTE’lerin yaklaşık %90 oranında kazanıldığı rapor edilmiştir. KUK’nın madencilik maliyeti taşımadığı gerçeğiyle birlikte bu tür NTE içeriği göz önüne alındığında, NTE’lerin bu kaynaktan geri kazanılmasının hem ekonomik hem de çevresel açıdan potansiyel olarak uygulanabilir olabileceği bildirilmektedir.

Tablo 6. KUK’nın NTE kimyasal analizi (Pan ve ark., 2021).

Element	Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
ppm	39.89	72.84	71.18	151.37	18.36	67.99	14.23	2.97
	Gd	Dy	Tb	Lu	Ho	Er	Tm	Yb
	13.92	12.93	2.18	1.06	2.63	7.59	1.14	7.02

Hindistan’ın 5 farklı (Bhusawal, Durgapur, Kaperkheda, Kota ve Panipat) termik enerji santrallerinden alınan KUK numunelerinin HNO₃ ile hidrotermal işlemlerle çözülerek, daha sonra sulu ortamdan *TEHDGA-XAD-7* reçinesi ile NTE’leri selektif şekilde kazanımı üzerine bir çalışma yapıldığı bildirilmektedir. NTE açısından KUK numunelerinin kimyasal bileşiminin Tablo 7’deki gibi olduğu belirtilmektedir. Buna göre, örneklerde bulunan toplam NTE içeriğinin 300 ve 500 mg/kg arasında değişmekte olduğu bildirilmiştir. Tüm numunelerde, daha hafif elementler olan Sc, La, Ce, Pr ve Nd’un baskın olduğu, geniş ölçüde benzer NTE dağılımına sahip olduğu vurgulanmaktadır. Tüm numunelerde >30 mg/kg olarak bulunan itriyum dışında ağır NTE’lerin çok düşük bir konsantrasyonda mevcut olduğu belirtilmektedir. Ayrıca deneysel çalışmalarda daha hafif ve daha ağır nadir toprakları temsil eden La, Nd, Y ve Er içeren simüle edilmiş çözelti hazırlanarak adsorpsiyon davranışlarının incelendiği bildirilmiştir. Adsorpsiyon izotermi, NTE’lerinin tek tabakalı adsorpsiyonunu gösteren Langmuir modeliyle iyi bir uyumlu olduğu rapor edilmiştir. Reçineye yüklenen nadir toprak elementlerinin desorpsiyonunun, ise 0.01M nitrik asit çözeltisiyle elüsyon yoluyla sağlandığı ve reçinenin 10 kez geri dönüştürülerek kullanıldığı ve böylelikle ekstraksiyon ve elüsyon özelliklerini koruduğu belirtilmektedir (Mondal ve ark., 2019).

Tablo 7. KUK'nın NTE kimyasal analizi (Mondal ve ark., 2019)

NTE (ppm)	Bhusawal	Durgapur	Kaperkheda	Kota	Panipat
La	60	63	50	88.7	50.2
Ce	140	127	120	200	100
Pr	48	14.3	-	27	11.9
Nd	53	48	30	60	38.4
Sm	3.5	9.8	-	7.7	8.5
Eu	1.8	3.5	-	3.0	3.2
Gd	5.1	10.8	-	3.1	9.6
Tb	0.7	2.5	-	0.6	2.3
Dy	5.4	7.3	-	5.3	6.5
Ho	-	2.3	-	-	2.1
Er	-	4.6	120	-	4.0
Tm	-	1.6	-	-	1.5
Yb	4.3	4.2	2.0	5.0	3.7
Lu	1.8	1.6	-	2.0	1.5
Y	40	31.4	30	40	31
Sc	20.5	28.6	16	26	28
Toplam	384.1	360.5	368	468.4	302.4

KUK, NTE'leri ve itriyumun en umut verici ikincil kaynaklarından biridir. Pan ve ark., (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek itriyum içeriğine sahip bir kömür besleme stoğu kullanan Çin'deki bir enerji üretim tesisinden toplanan KUK'da itriyumun öncelikle oluşum şekillerinin incelendiği belirtilmektedir. Nadir toprak minerallerinin KUK'de kaldığı ve itriyum'un metal oksitlerle birleştiği, külün NTE kimyasal bileşiminin ise Tablo 8'deki gibi olduğu bildirilmektedir. KUK'daki itriyum'un, asidik liç koşullarında potansiyel olarak geri kazanılabileceği ama KUK'dan asit liçi yoluyla itriyum geri kazanımının, bu elementlerin çözünmelerini engelleyen ve güçlü asidik koşullar gerektiren baskın camsı alümina silikat fazında bulunduğu zor olduğu vurgulanmaktadır. İtriyum'un KUK'dan geri kazanılması amacıyla öncelikle fiziksel olarak çeşitli ayırma yöntemleri ve ardından asitle liç uygulanarak optimum liç koşullarında itriyum'un %79,85 oranında kazanıldığı rapor edilmiştir.

Tablo 8. KUK'nın NTE kimyasal analizi (Pan ve ark., 2020)

Element	Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
ppm	39.89	109.9	138.7	290.3	30.28	113.6	21.59	3.51
	Gd	Dy	Tb	Lu	Ho	Er	Tm	Yb
	20.88	20.04	3.23	1.56	3.98	12.02	1.66	10.8

SONUÇ

Demir ve demir dışı endüstrilerden kaynaklanan metalürjik yan ürünler birkaç değerli temel, nadir ve nadir toprak elementlerini içerir. Bu açıdan, NTE'lerin bu tür yan ürünlerden geri kazanılması için verimli süreçlerin keşfedilmesi, dünya çapında NTE'lere yönelik artan talep ve hükümetler tarafından uygulanan madencilik ve ihracat kısıtlamaları nedeniyle acil hale gelmiştir. Ayrıca bu tür yan ürünlerden NTE'lerin geri kazanımı, NTE'lerin yüksek maliyetleri ve sınırlı mevcudiyetleri nedeniyle çekici bir süreç haline gelmiştir. Bundan dolayı burada yapılan bölüm çalışması, genellikle farklı endüstriyel pirometalürjik üretim süreçleri sonucunda ortaya çıkan çeşitli cüruflar, kırmızı çamur ve termik santral baca küllerinden potansiyel NTE'lerinin geri kazanımı için genel bir bakış sağlamaktadır. NTE'lerinin bu tür yan ürünlerden veya farklı atıklardan geri kazanımı henüz emekleme aşamasındadır. Bu tür endüstriyel yan ürünlerdeki nadir toprak konsantrasyonlarının, birincil nadir toprak cevherlerine kıyasla düşük olması nedeniyle, nadir toprakların bu tür yan ürünlerden geri kazanılmasına yönelik halen uygulanabilir ölçekte özel işlemler geliştirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca NTE'lerinin tedarik riski, aynı zamanda, bu tür yan ürünlerden NTE'lerinin geri dönüştürülmesine ilişkin araştırmaları da destekler nitelikte olmalıdır. Şimdiye kadar, NTE geri dönüşüm araştırmaları, yüksek bir NTE içeriğine sahip nispeten küçük hacimli kullanım ömrünü tamamlamış atıklar üzerine odaklanmıştır. Bununla birlikte, NTE'leri çok sayıda endüstriyel yan ürünlerde daha düşük konsantrasyonlarda da bulunmaktadır. Bu nedenle bu inceleme, bahsedilen yan ürünlerden NTE'lerini geri kazanma olasılıklarını tartışmaktadır. Ayrıca bu bölümde incelenen metalürjik yan ürünlerden başka şu ana kadar NTE potansiyeli incelenmemiş, birincil ve ikincil Al üretimi baca tozu ve cürufları, ferrokrom cürufu, bakır üretim baca tozu, BOF çamuru ve çinko ekstraksiyon artığı gibi birçok yan ürünlerinde NTE potansiyelinin incelenmesi önerilmektedir. Tüm bu yan ürünlerin ortak noktası, yalnızca belirli bir NTE konsantrasyonlarına sahip olmaları değil aynı zamanda çok büyük hacimlerde mevcut olmalarıdır. Bundan dolayı, verimli geri dönüşüm akış şemalarının geliştirilebilmesi koşuluyla, bu endüstriyel yan ürünlerin önemli miktarlarda NTE sağlayabileceği anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, mutlak anlamda, bu tür yan ürünler nispeten büyük miktarlarda NTE'leri içerir ve ekonomik olarak cazip ikincil nadir toprak kaynakları haline gelebilirler.

KAYNAKLAR

- Abhilash, Hedrich, S., Meshram, P., Schippers, A., Gupta, A., Sen, S., (2022). Extraction of rees from blast furnace slag by *gluconobacter oxydans*. Minerals. 12(6):701
- Abhilash, Meshram, P., Gupta, A. et al., (2023). Steel plant wastes as a resource of rare earth elements and rare metals–characterisation, resource estimation, and economic assessment. Trans Indian Inst Met., <https://doi.org/10.1007/s12666-022-02794-0>
- Abhilash, Meshram, P., Kar, S., Venugopalan, T., (2017). Hydrometallurgical processing of metallurgical wastes in extraction of rare earth metals. In: Proceedings of XVI international seminar on mineral processing technology, (MPT-2017), Mahabalipuram, Chennai, India, Abstract Volume, p 68.
- Abhilash, Meshram, P., Sarkar, S. et al. (2017). Exploring blast furnace slag as a secondary resource for extraction of rare earth elements. Mining, Metallurgy & Exploration, 34:178–182
- Allain, E., Kanari, N., Diot, F., Yvon, J., (2019). Development of a process for the concentration of the strategic tantalum and niobium oxides from tin slags. Minerals Engineering, 134:97-103
- Anawar, HMD., Strezov, V., Abhilash., (2019). Sustainable and Economic Waste Management: Resource Recovery Techniques. CRC Press, Boca Raton
- Aromaa, R. (2019). Rare earth elements distribution kinetics in copper matte-slag system. Aalto University, Master's Programme in Chemical, Biochemical and Materials Engineering
- Baidya, R., Ghosh S.K., Parlikar, U.V., (2019). Blast furnace flue dust co-processing in cement kiln - A pilot study. Waste Manag Res., 37(3):261-267
- Basu, A., (2019). The Indian steel industry: Growth, challenges and digital disruption. Price water Cooper Report, 1-24
- Bilen, M., (2020). Pota metalürjisinde oluşan pota cürufunun kolemanit ile ıslahı. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 35(2): 943-951
- Binnemans, K., Jones, P.T., Blanpain, B., Van Gerven, T., and Pontikes, Y., (2015). Towards zero-waste valorisation of rare-earth-containing industrial process residues: a critical review. Journal of Cleaner Production, 99:17–38

- Binnemans, K., Pontikes, Y., Jones, P.T., Gerven, T.V., Blanpain, B., (2013). Recovery of rare earths from industrial waste residues: A concise review. In Proceedings of the 3rd International Slag Valorisation Symposium Leuven, Belgium, pp. 191–205.
- Borra, C.R., Blanpain, B., Pontikes, Y., Binnemans, K., Gerven, T.V., (2019). Recovery of rare earths from bauxite residue (red mud). pp.343-356 10.1142/9789813271050_0016.
- Chmielewski, A.C., Wawszczak, D., Brykala, M., (2016) Possibility of uranium and rare metal recovery in the polish copper mining industry. *Hydrometallurgy*, 159:12–18
- EC, 2017 EC Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the 2017 List of Critical Raw Materials for the EU
- Ghosh, A., Dhiman, S., Gupta, A., Jain, R., (2023). Process evaluation of scandium production and its environmental impact. *Environments*, 10:8
- Gorai, B., Jana, R.K., Premchand., (2003). Characteristics and utilisation of copper slag /a review. *Resour. Conserv. Recy.*, 39 (4):299-313
- Hansen, L.D., Silberman, D., Fisher, GL., (1981). Crystalline components of stack-collected, size fractionated coal fly ash. *Environ. Sci. Technol.*, 15:1057-1062
- He, S., Sun, H., g Tan, D., Peng, T., (2016). Recovery of titanium compounds from ti-enriched product of alkali melting ti-bearing blast furnace slag by dilute sulfuric acid leaching. *Procedia Environ. Sci.*, 31:977–984.
- Hosseini, S., Soltani, SM. Fennell, P.S., Choong, T.S.Y., Aroua, M.K., (2016). Production and applications of electric-arc-furnace slag as solid waste in environmental technologies: A review. *Environ. Technol. Rev.*, 5:1-11
- Izquierdo, M., Querol, X., (2012). Leaching behavior of elements from coal fly combustion fly ash: An overview. *Int. J. Coal Geol.*, 94:54-66
- Kasina, M., Michalik, M., (2016). Iron metallurgy slags as a potential source of critical elements - Nb, Ta and REE. *Mineralogia*, 47, No 1-4: 15-28
- Kermer, R., Hedrich, S., Bellenberg, S., Brett, B., Schrader, D., Schoenherr, P., (2017). Lignite ash: Waste material or potential resource investigation of metal recovery and utilization options. *Hydrometallurgy*, 168:41–152

- Kim, J., Azimi, G., (2020). Recovery of scandium and neodymium from blast furnace slag using acid baking-water leaching. *RSC Adv.*, 28;10(53)
- Klemettinen, L., Aromaa, R., Dańczak, A., O'Brien, H., Taskinen, P., Jokilaakso, A., (2020). Distribution kinetics of rare earth elements in copper smelting. *Sustainability*, 12(1):208.
- Li, D.G., (2005). Selective precipitation and separation of valuable constituent in blast furnace slags. Ph.D. Thesis, Northeast University, China, 210 pp.
- Li, W., Li, Z., Wang, N., Gu, H., (2022). Selective extraction of rare earth elements from red mud using oxalic and sulfuric acids. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10-6:108650
- Lidelöw, S., (2011). Leaching behavior of air-cooled blast-furnace slag under intermittent and continuous wetting. Technical Report, Luleå University of Technology, Sweden, 30 pp.
- Miganei, L., Gock, E., Achimovičová, M., Koch, L., Zobel, H., Kähler, J., (2017). New residue-free processing of copper slag from smelter, *Journal of Cleaner Production*, 164:534-542
- Mikoda, B., Potysz, A., Kmiecik, E., (2019). Bacterial leaching of critical metal values from Polish copper metallurgical slags using *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Journal of Environmental Management*, 236:436-445
- Mondal, S., Ghar, A., Satpati, A.K., Sinharoy, P., Singh, D.K., Sharma, J.N., Sreenivas, T., Kain, V., (2019). Recovery of rare earth elements from coal fly ash using TEHDGA impregnated resin. *Hydrometallurgy*, 185: 93-101
- Morian, D., Van Dam, T., Perera, R., (2012). Use of air-cooled blast furnace slag as coarse aggregate in concrete pavements. <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif12031.pdf>
- Munir, B., Permana, S., Amilia, A., Maksum, A., Soedarsono, J.W., (2019) Initial study of cerium and lanthanum extraction from Bangka tin slag through NaOH and HClO₄ leaching. *MATEC Web of Conferences* 269:07003. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926907003>.
- Narayanan, R.P., Ma, L.C., Kazantzis, N.K., Emmert, M.H., (2018). Cost analysis as a tool for the development of sc recovery processes from bauxite residue (red mud). *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 6:5333–5341
- Pan, J., Hassas, B.V., Rezaee, M., Zhou, C., Pisupati, S.V., (2021). Recovery of rare earth elements from coal fly ash through sequential chemical

- roasting, water leaching, and acid leaching processes. *Journal of Cleaner Production*, 284, 124725
- Pan, J., Nie, T., Hassas, B.V., Rezaee, M., Wen, Z., Zhou, C., (2020). Recovery of rare earth elements from coal fly ash by integrated physical separation and acid leaching. *Chemosphere*, 248, 126112,
- Pandey, V.C., Singh, J.S., Singh, R.P., Singh, N., Yunus, M., (2011). Arsenic hazards in coal fly ash and its fate in Indian scenario. *Resour. Conserv. Recycl.*, 55:819-835
- Permana, S., Rustandi, A., Majid, R.A., (2017). Thermodynamic analysis with software: a case study of upgrading rare earth elements content in Bangka tin slag. *Far East Journal of Electronics and Communications*, 17(5):1211-1220
- Rao, S.R.R., (2011). Resource recovery and recycling from metallurgical wastes. *Elsevier*, 7:580
- Rath, S.S., Rao, D.S., Tripathy, S.K., Biswal, S.K., (2018). Characterization vis-à-vis utilization of blast furnace flue dust in the roast reduction of banded iron ore. *Process Safety and Environmental Protection*, 117:232-244
- Reddy, A.S., Pradhan, R.K., Chandra, S., (2006). Utilization of Basic Oxygen Furnace (BOF) slag in the production of a hydraulic cement binder. *International Journal of Mineral Processing*, 79(2):98-105
- Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2018. Available online: http://publications.europa.eu/resource/ellar/d1be1b43-e18f-11e8-b690-01aa75ed71a1.0001.01/DOC_1
- Rivera, R.M., Ulenaers, B., Ounoughene, G., Binnemans, K., Gerven, T.V., (2018). Extraction of rare earths from bauxite residue (red mud) by dry digestion followed by water leaching. *Minerals Engineering*, 119:82-92
- Roy, S., Datta, A., et Rehani, S., (2015). Flotation of copper sulphide from copper smelter slag using multiple collectors and their mixtures. *International journal of mineral processing*, 143:43-49
- Royset, J., Ryum, N., (2005). Scandium in aluminium alloys. *Int. Mater. Rev.*, 50:19-44
- Salman, A.D., Juzsakova, T., Rédey, Á., Le, P., Nguyen, X.C., Domokos, E., Abdullah, T.A., Vagvolgyi, V., Chang, S.W. and Nguyen, D.D., (2021). Enhancing the recovery of rare earth elements from red mud. *Chem. Eng. Technol.*, 44:1768-1774

- Seredin, V.V., Dai, S., (2012). Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium. *Int. J. Coal Geol.*, 94:67-93
- Shi, C., Meyer, C., Behnood, A., (2008). Utilization of copper slag in cement and concrete. *Resour. Conserv. Recycl.*, 52:1115-1120
- SkyQuest, 2022. Erişim adresi: <https://www.skyquestt.com/report/fly-ash-market>, Erişim tarihi: 02.04.2023
- Suli, L.M., Ibrahim, W.H.W., Aziz, B.A., Deraman, M.R., Ismail, N.A., (2019). A review of rare earth mineral processing technology. *Chem. Eng. Res. Bull.*, 19:20-35
- Szamałek, K., Konopka, G., Zglinicki, K., Marciniak-Maliszewska, B., (2013). New potential source of rare earth elements. *Mineral Resources Management*, 29 (4)
- Trinopiawan, K., Mubarak, Z., Widana, K.S., Ani, B.Y., Susilo, Y.S.B., Prassanti, R., Susanto, I., Permana, S., Soedarsono, J.W., (2020). A study of cerium extraction from Bangka tin slag using hydrochloric acid. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(6 (106):24–30
- URL-1:<https://www.statista.com/statistics/273676/global-copperconsumption/>
- USGS (U.S. Geological Survey), 2022. *Mineral Commodity Summaries 2022*. Erişim adresi: <https://geology.com/articles/rare-earth-elements/> Erişim tarihi: 28.03.2023
- USGS, (2020). *Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*
- USGS, (2022); *US Geological Survey: Reston, VA, USA, 2022*.
- World Steell Association, 2022. Erişim adresi: <https://worldsteel.org/> , Erişim tarihi: 02.04.2023
- Xue, S., Wu, Y., Li, Y., Kong, X., Zhu, F., William, H., Li, X., Ye, Y., (2019). Industrial wastes applications for alkalinity regulation in bauxite residue: a comprehensive review. *J. Cent. South Univ.*, 26:268-288

BÖLÜM 2

PETROL TÜREVİ ATIKLARIN GERİ KAZANIM PROSESİ

Öğr. Gör. Abdulsamed GÜNEŞ¹

Çevre Yüksek Mühendisi Yusuf DURAN²

¹ Fırat Üniversitesi, EOSB MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Elazığ, Türkiye
abdulsamedgunes@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8652-3720

² İstanbul Enerji A.Ş., İstanbul, Türkiye
yduran@enerji.istanbul, ORCID: 0000-0002-4204-6168

1. GİRİŞ

Sintine, kullanılmış her türlü motor yağları, solventler, gemi yakıt artıkları ve yıkama sularını ihtiva eden karışımlara verilen genel isimdir. Ayrıca bu karışımdaki ürünlerin kullanım sebebiyle kendilerine has bazı özelliklerini kaybetmiş çeşitli yapıları da bünyesinde bulundurmaktadır. Bu atık ürünün içeriği gemi türlerine göre de değişiklik göstermektedir. Bu nedenle sintine bileşiminin içeriğinin tam olarak tarif etmek mümkün olmamakla beraber sulu karışık atık yağ olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle sintine geri kazanım işlemi bir çeşit atık yağ geri kazanım süreci olarak da belirtilebilir.

Dünyada günlük olarak yaklaşık 12 milyon ton petrol ve petrol türevi ürünler kullanılmaktadır. Bunların yaklaşık 2,5 milyon tonu deniz taşımacılığında kullanılmaktadır. Her türlü araç ve motorlarda kullanılan endüstrinin vazgeçilmezi motor yağları da bu petrol türevi ürünlerin bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu madeni yağlar kullanımı sonrası imhasının doğaya zarar vermeden bertaraf edilmelidir. Uygun şekilde bertaraf yapılmadan doğaya bırakılan yağların doğadan temizlenmesinin maliyeti çok yüksektir. Geri dönüşümü planlanmadan dökülen yağların dökülen yere ve yağ cinsine göre değişkenlik göstermekle birlikte 1 litre yağı temizleme maliyeti 30-400 \$ aralığındadır. Deniz ve okyanusların kıyı ve sahil bölümlerini temizleme maliyeti çok daha pahalı olmaktadır.

Kullanılmış madeni yağlardan özellikle motor yağlarının rafine edilerek kullanılmasında bu ürünlerin sürtünme, aşınma gibi tribolojik özellikleri önemli parametrelerdir.

Yağlama işlemi, her endüstri sektöründe kullanılan bütün motorların türü ne olursa olsun sorunsuz çalışmasının garantisidir. Üstelik ileri teknolojik özellikli modern motorlar yüksek verimlerinden dolayı yüksek sürtünme ve aşınmaya daha fazla maruz kalmaktadırlar. Bu sebeple yağların önemi eskiye nazaran daha vazgeçilmez bir duruma gelmiştir. Motorlarda kullanılan yağın birçok hayati görevi olup esas görevi birbirine sürtünen makine elemanlarının yağlanarak ısınma ve tahribatının engellenmesidir. Hareketli parçaların çalışma esnasında oluşturduğu sürtünme neticesinde aşırı ısı ve aşınma güç kaybına sebebiyet verir. Bu sebeple makine parçaları arasında meydana oluşturulan film yağ tabakası ile parçaların birbiriyle temasları engellenmektedir. Bu sayede makinelerde istenmeyen yüksek sıcaklık durumu da engellenerek verim artırılmış olur.

Atık geri dönüşümü ve rafinasyon ile ilgili çok çeşitli yöntem ve prosesler mevcuttur. Bunlar; asit, kil, solvent ekstraksiyonu, fiziksekimyasal işlemler olarak ayrılabilir. Farklı özelliklerdeki baz yağlara bitkisel bazlı ürünler eklenerek verimli olarak kullanımı mümkün olmaktadır. Örnek bir tesis aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 1. Örnek Bir Tesis (İstanbul Enerji A.Ş., 2000)

1. Atık Kabul Üniteleri
2. Seperasyon ve Distilasyon Ünitesi
3. Yangın Havuzu ve Soğutma Kulesi
4. Kazan Dairesi
5. Arıtma Tesisi
6. Trafo ve Jeneratör

Ülkemiz 1990 yılında “Denizlerin Gemiler Tarafından Kirlenmesinin Önlenmesi Hakkında Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL 73/78)’ni imzalamıştır. Bu sözleşme ile denizlerimizin ve dolayısıyla tüm çevremizin kirlenmesinin engellenmesi amaçlı yürürlüğe koyulmuştur. Tarafı olunan sözleşmenin I, II, IV, V numaralı eklerinde belirtilen ve gemilerin normal faaliyetleri neticesinde gemi dışına deşarj edilmesi gereken atıkları toplama amaçlı limanlara sahip devletlerde atık toplama ve işleme tesisi kurma zorunluluğu şart koşulmuştur. Bu kapsamda İstanbul Büyükşehir Belediyesi

iştiraklerinden İstanbul Enerji A. Ş. ve Kocaeli Büyükşehir Belediyesi bu tesisleri kurmuştur ve halen işletmektedirler.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sintine içeriğinde yağ, gres, yüzey aktif madde ve tuz gibi kirleticiler barındırmaktadır. Yüksek derecede kirletme potansiyeli olan bu atıklar suyun doğaya zarar vermesini sözleşmeler kapsamına belirtilen şartlara uygun arıtma işlemine tabi tutulması gerekir. Benzer bir proses uygulayan, haydarpaşa atık kabul tesisinde sintineye koagülasyon, flokülasyon, fenton oksidasyonu gibi kiyasal işlemler ile granül aktif karbon adsorpsiyonu uygulanmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada sintine suyunun fenton oksidasyonu ve granül aktif karbon adsorpsiyonu ile çok aşamalı arıtmanın en verimli metot olduğu belirlenmiştir. (Öz, 2013)

Geri dönüşüm alanında yaptıkları çalışmada kullanılmış yağların geri kazanımlarında solventlerin içeriğindeki diğer çözücülerini ayrıştırmak için incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan motor yağındaki baz ürün olan yağın çözünebilirliği için en uygun olan solvent oranı ve en verimli olan sıcaklık değerinin tespiti çalışılmıştır. (Murata, Kurita, & Suwa, 2010)

Kullanılan atık yağların geri dönüşümü için hidrokarbon temelli solventlerin prosesi sonucu asfalt miktarını % 0,106, kül miktarını % 0,108 ve karbon atık miktarını % 0,315 ve diğer atık miktarlarının da çok düşük seviyelere inebileceği belirtilmiştir. İşlenen bu atıkların geri kazanımlı baz yağ şeklinde ürün formuna dönüştürülebileceği belirtilmiştir. (Banad, Howari, & Al-Hamad, 2005)

E. K. Martin ve A. Onabajo, 1992 yılında almış oldukları ABD patentinde atık yağların geri dönüşümü için bir proses geliştirmişlerdir. Bu çalışmada ilk aşamada bir filtrasyon uygulanmış olup ardından su karıştırılmış antifrizli cam suyu çözeltisi (%0,5-%2,5) ve polialken glikol (%0,25-%2,5) ile yeni bir çözelti hazırlanmıştır. Karışımın çökebilmesi için çözelti yüksek sıcaklıklarda ortalama 80°C bekletilmekte ve ortaya çıkan yağ fazı damıtılarak (100-140°C, 3kPa - 130 kPa) ile fraksiyon işlemine tabi tutulmaktadır. (Amerika Birleşik Devletleri Patent No. US. 5.141.628, 1992)

Moore'un aldığı ABD patentinde organo metalik bileşenler içeren kullanılmış ve ömürleri bitmiş atık yağların geri kazanılması için bir proses geliştirmiştir. Bu proseste kullanılmış yağ içerisinden sıcak buhar geçirilerek organo-metalik bileşenlerin parçalanması sağlanmaktadır. Bu

bozulmanın ürünleri reaktörlerin alt kısmından uzaklaştırılmakta ve damıtılabilir nitelikteki hidrokarbonlar ve gazlar üst kısımdan yoğunlaştırılarak alınmaktadır. (Amerika Birleşik Devletleri Patent No. US. 6.068.759, 1992)

Başka bir çalışmada da ilk defa gemilerden kaynaklı atıksu ile sintine atığının içeriğindeki ağır metallerin insan sağlığı riski MCS yöntemiyle değerlendirildiğinden mevcut araştırmanın sonuçları temel olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde deniz ve kıyılarımızda gemi kaynaklı sintine ile atıksu atıklarının ciddi bir insan sağlık riski oluşturduğu görülmüştür. (Özkaynak, 2022)

Gemi kaynaklı atıksu ve sintine suyu sağlık riski değerlendirmesinde sintine suyunun hem yüzücü hem de gemi personeli için yüksek risk oluşturduğu belirlenmiştir. (Audibert, 2006)

1997 yılında Kyoto'da düzenlenen Dünya Çevre Konferansı'nda doğaya bırakılan petrol ve türevli malzemelerin azaltılması gerekliliği belirtilmiştir. Gerçek verilere dayanarak dünyada 1995 yılında yağ bazlı atıkların yarıdan daha az bir miktarının geri dönüşüme gönderilebileceği belirtilmiştir. Geri kalan bölüm son kullanıcı tarafından çevreye atılmakta veya amacı dışında kullanılmaktadır. 1 litre atık yağın geri dönüşüm amaçlı proseslere sokulması için ortalama 8000 kJ'lük bir enerjiye; bu da yaklaşık 100 Watt'lık bir cihazın 24 saat boyunca çalışmasına veya 1000 Watt'lık bir cihazın yaklaşık 2 saat boyunca çalıştırılması için gerekli olan enerji miktarı kadardır. Bunlara ek olarak 1 litre motor yağı üretimi için 67 litre ham petrole ihtiyaç varken, yine aynı işlem için 1,6 litre atık yağ geri dönüştürülerek elde edilebilmektedir. (Kyoto, 1997)

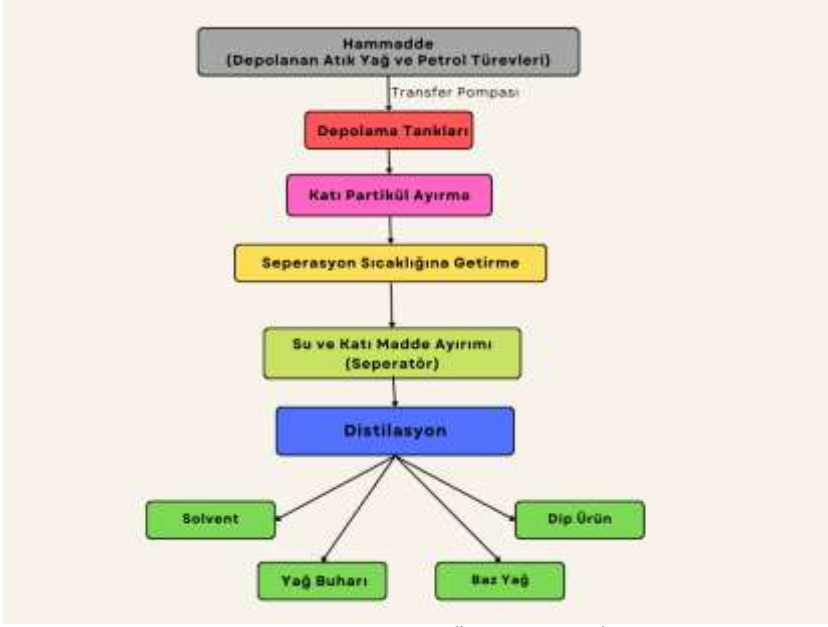
3. MATERYAL VE METOD

MARPOL EK-1 kapsamındaki petrol ve petrol türevli atıklar (sintine, kirli balas, yağ/yakıt slacı, slop, atık yağ), atık kabul tesislerinde temel fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra taşınarak geri dönüşüm tesisine işlenmek üzere getirilir ve atık kabul alanında depolanır. Atıklar karayolu taşımacılığı ile yapılıyorsa bu atıkları taşıyan araçların tesise girmeden önce ve tesisten çıkmadan önce tekerler ve şaselerinin temizlenmesi işlemi yapılmalıdır. Bu işlem atıkların çevreye ve yola yayılmasının engellenmesi için önem arz etmektedir. Tesise giren atık yağlar tartıldıktan sonra pompalar ile atık yağın cinsine göre hammadde tanklarına basılır ve bu tanklarda prosese girmek üzere depolanır. Tanklar ısıtma serpantinli olmalı havalandırma, soğutma, temizleme gibi işlemleri yerine getirebilecek herhangi bir taşkın,

sızıntı, kaçak vb. durumlarda atık yağın dışarıya ve toprağa sızarak çevreyi kirletmemesi için sızdırmaz ve hacmi tank hacimlerine en az eşit veya daha büyük hacimli olacak şekilde beton duvarlar ile çevrilmiş olmalıdır. Atık yağlar bu depolama bölümlerine girmeden önce analiz edilmeli ve kategorisine uygun olan atık yağ depolama bölümüne alınmalıdır. Depolama tanklarının tabanına çökerek ayrılan su, kimyasal arıtma tesisine nakledilerek arıtılır ve daha sonra alıcı ortama deşarj edilir.

3.1. Seperasyon ve Distilasyon Ünitesi

Seperasyon ve distilasyon ünitesi genel olarak tesise gelen atık yağ ve petrol türevi ürünlerin ayrıştırılması ve geri kazanım faaliyetleri yapılmaktadır. Seperasyon ve distilasyon üniteleri kapalı alanlarda tesis edilmelidir. Depolanan ve dinlendirilen atık yağ ve petrol türevleri işlenmek üzere transfer pompaları aracılığı ile seperasyon bölümüne transfer edilir. Seperasyon bölümünde hammaddenin içinde bulunan ve partikül büyüklüğü 1 mm ve üzerinde olan katı partiküller, özel bir tasarım separatör besleme pompası vasıtası ile filtreye basılır ve bu partiküller otomatik temizlemeli filtreler vasıtasıyla prosten çekilir. Filtreden kısmi temizlenmiş olarak çıkan atık yağlar ve petrol türevi ürünler seperasyonun daha iyi yapılabilmesi için spiral tip ısı değiştiricileri ile 90-95 °C olan seperasyon sıcaklığına getirilir. Otomatik filtreden çıkan atık yağ ve petrol türevleri bulunan ve filtreler aracılığı ile alınamayan su ve ince partiküllerin tamamen uzaklaştırılması için separatör kullanılır. Seperatöre yönlendirilen atık yağ ve petrol türevlerinde bulunan su ve katı maddeler yüksek dönüş hızında santrifüj etkisi ile separatör nozullarında toplanarak dışarı alınır. Su ve katı maddesi giderilmiş ve ara tanklarda depolanmış olan susuzlaştırılmış atık yağ, içinde bulunan solventlerden arındırmak ve prosesin daha ekonomik çalışmasını sağlamak amacıyla distilasyon reaktörlerine gönderilir. Distilasyon reaktörlerinde ortaya çıkan atık solvent ve yağ buharı bir kolon vasıtasıyla vakum altında kondenserlerden geçirilir. Her reaktör üzerinde bir kondenser mevcut olup, her bir reaktöre bağlanan iki toplama kabında toplanan atık solvent, atık solvent depolama tanklarına gönderilir. İleri aşamada gelen ve toplama kabında toplanan baz yağ da baz yağ depolama tanklarına gönderilir. Aynı zamanda reaktör içinde kalan dip ürünler soğutucu üzerinden geçirilerek sıcaklığı düşürülür ve dip toplama tanklarına gönderilir.



Şekil 2. Seperasyon ve Distilasyon Ünitesine Ait İş Akım Şeması

3.1.1. Seperasyon Ünitesi

Fiziksel olarak hammaddenin içinde bulunan su ve katı maddeleri ayıran ünedir. Bu ayırma yöntemi atığın cinsine göre 4 aşamadan meydana gelmektedir.

Seperasyon bölümü günlük kullanım tankına transfer edilen atık yağ buradan seperatör besleme pompası vasıtasıyla aşağıdaki aşamaları takip ederek işlenir.



Şekil 3. Örnek Bir Seperasyon Ünitesi

1. Aşama: Hammaddenin içinde bulunan partikül büyüklüğü 1 mm ve üzerinde bulunan katı partiküller seperatör besleme pompası vasıtası ile filtreye basılması ve partiküllerin burada temizlenmesi.

2. Aşama: Filtreden kısmi temizlenmiş olarak çıkan atık yağ seperasyonun daha iyi yapılabilmesi için 90-95 °C olan seperasyon sıcaklığına getirilmeli ve spiral tip ısı değiştiricisi ile yapılmalıdır. Atık yağ burada seperasyon sıcaklığına getirilmeli ve bu sıcaklık sürekli kontrol edilerek korunmalıdır.

3. Aşama: Otomatik filtreden çıkan atık içerisinde bulunmaya devam eden ve filtreler vasıtasıyla alınamayan su ve ince partiküllerin tamamen arıtılması için santrifüj kuvvet etkisiyle yüksek hızlı ve 3 fazlı dikey seperatör esasına dayanır. Sürekli deşarj ile çalışma prensibine dayanan nozul tip tam otomatik seperatör olmalıdır. Seperatöre beslenen atık yağda bulunan su ve katı maddeler yüksek dönüş hızında seperatör nozullerinde toplanarak dışarıya aktarılacaktır. Bu işlemdeki ısıtma, pompalama, işlenen atık miktarı gibi parametreleri gösterecek şekilde tam otomatik olacak bir PLC otomasyonu ile dizayn edilirse işlem kalitesi daha yüksek olacaktır ve olası hatalara anında müdahale edilebilecektir. Bu ünitenin tasarımı içindeki su ve katı miktarının ne olduğuna bakılmaksızın sulu sintine ve slop susuzlaştırmaya da uygun olmalıdır.

4. Aşama: Bu aşama sistemde temizlenen atık yağların depoya basılması ve çıkan kirli suyun sirkülasyon ile tekrar seperatörde kullanılabilir hale getirilmesini kapsar. Bunu yaparken toplama tankında biriken suyun içinde toplanan yağ toplama kabında biriktirilerek bir pompa vasıtasıyla seperatör günlük kullanım tankına basılmalıdır. Fazla su kimyasal arıtma işlemine aktarılmalıdır. Seperatörden çıkan susuzlaştırılmış atık yağ veya sintine/slop analizden sonra ya ara depolama tankına ya da dip ürün tankına gönderilmelidir. Bu sistem en az bir adet tank, plakalı ısı değiştiricisi ve sıcak su pompasından meydana gelmektedir.

3.1.2. Distilasyon Reaktörleri

Atık yağ ve sintine gibi atık ürünlerden baz yağ yapmak amacıyla katı maddesi giderilmiş ürünler bu reaktörlerde solventlerden arındırılır. Bu işlemde atıklar pompalar vasıtasıyla distilasyon reaktörlerine basılır. Tesislerde en az 2 adet distilasyon reaktörü ve burada distile edilen atıkları baz yağları toplama amacıyla her reaktör için en az 2 adet toplama kabı olmalıdır. Toplama kaplarının, reaktörlerin ve diğer ekipmanların yedekli olması her

türlü çalışma şartlarında sürekli üretim için önem arz etmektedir. Reaktörlerden biri dolunca diğeri vakum altına alınarak devreye sokulur ve diğeri boşaltılmak üzere vakumdan alınır. Distilasyon reaktörleri dışarıdan sarımlı borulardan ve aynı zamanda reaktörün içindeki çift sıra serpantin borularından termal yağların geçirilerek vakum altında ısıtma ve buharlaştırma daha sonra da indirek su teması ile kondens etme yöntemine dayalı olarak çalışan reaktörler olması verimin ve geri dönüşüm hızının artırılmasında önem arz etmektedir. Bu sistemin tamamı vakum altında çalışmaktadır. Vakum grubu bilahare anlatılacaktır. Reaktörlerde prosesin maksimum çalışma sıcaklığı 350 °C'dir.



Şekil 4. Örnek Bir Distilasyon Ünitesi

3.2. Kondenserler

Kondenserler paslanmaz çelikten imal edilen lazer kaynaklı, plakalı tip ve yüksek verimli ısı değıştircileridir. Reaktörler kondenser, soğutucular, dip ürün pompaları ve toplama kaplarından meydana gelir. Kondenserler distilasyon reaktöründe meydana gelen atık solventler veya yağ buharının bir kolon vasıtasıyla vakum altında çalışırlar. Her reaktörün üzerinde bir kondenser ve her reaktöre iki toplama kabı bağlanacak şekilde dizayn edilmelidir. Bu tasarımla toplama kabında toplanan solvent, pompalar vasıtasıyla solvent depolama tanklarına gönderilir. Ayrıca ileri aşamada gelen ve toplama kabında toplanan baz yağlar da aynı pompa ile baz yağ depolama tanklarına gönderilerek depo edilir.

Aynı zamanda reaktör içinde kalan dip ürün, dip ürün pompaları vasıtasıyla kondenserlerle aynı yapıya sahip soğutucu üzerinden geçirilip parlama sıcaklığının altına da bir sıcaklığa düşürülerek atık dip depolama tanklarına gönderilir. Her reaktörün altında bir adet dip ürün pompası ve soğutucusu olmalıdır.

3.3. Vakum Grubu

Tesis dizaynında her reaktöre bir adet olmak üzere su halkalı vakum pompası olmalıdır. Bir grup teşkil edilen reaktör, kondenser ve toplama kapları da tamamen vakum altında çalışmalıdır. Tüm sistem vakum altında negatif basınçta çalıştırılmalıdır ve sistem bu geri dönüşüm prosesinde 120-760 mm Hg sütunu vakum (negatif basınç) altında çalışmalıdır. Bu sistemde vakum toplama kabından emilerek sağlanır. Her bir vakum pompasının kapasitesi kapalı sistemdeki tüm havayı emecek şekilde belirlenen kapasiteye uygun olarak seçilmelidir. Vakum suyu toplama tankı kimyasal arıtma kanalı ile bağlantılı olmalıdır.

3.4. Soğutma Ünitesi, Yangın Havuzu ve Sirkülasyon Ünitesi

Tesiste ihtiyacı karşılayacak en az bir adet soğutma kulesi olmalıdır. Bu soğutma kulelerinde amaç kondenserde ısınan suyu istenen derecede bir farkla soğutmak ve tekrar sisteme göndermektir. Bu sistemler kapalı devre soğutma prensibine göre çalışmaktadır. Bu sayede sistem hem buharlaşmadan hem de dış ortam etkilerinden korunmuş olur ayrıca su sertliği de giderilmiş olacaktır. Pompalama işlemi santrifüj pompa ile yapılmalı ve bu su bir ara tank vasıtasıyla sürekli olarak devrede olmalıdır.

3.5. Kazan Dairesi Ünitesi

Petrol ve petrol türevli ürünlerin geri kazanımı yapılan tesislerde bulunan kazanların görevi sistemde sürekli olarak devir edilen termal yağlı brülörlü kazanlarda ortalama 350°C ye kadar ısıtmaktır. Bu işlemle gerekli olan safhalarda işlenen atığın içindeki fazların distile olma sıcaklığını yakalamış olur. Bu proseste termal yağların geçtiği yüzeylerin tamamı ısı kaybına karşı izole edilmelidir. Bu ünite aracılığıyla elde edilen kızgın yağ sadece distilasyon reaktörlerinde kullanılmalıdır. Tesisdeki hammadde depolama tankları, nihai ürün depolama tankları, seperasyon bölümünde ihtiyaç duyulan ısı ihtiyacı ve bina ısıtması buhar ve sıcak su ısıtma sistemlerinden karşılanmalıdır.

Sistemin buhar ihtiyacı buhar kazanlarından karşılanmalıdır. Bu sistem degazör, kondens tankı, besleme ve kondens pompaları, brülör, yakıt tankı ve kontrol panosundan meydana gelir.

Kızgın yağ kazanı ve buhar kazanı enerji santrali içinde yer almalıdır. Ayrıca yangına karşı korunma için enerji santrali uyarıcı gaz dedektörleri ile donatılmalı ve periyodik kontrolleri yapılmalıdır.

3.6. Arıtma Tesisi

Atık yağ geri kazanım tesisinden kaynaklı endüstriyel ortak bir kanal ile sisteme gelen atık sular arıtma tesisine aktarılır. Bu tesis fiziksel, kimyasal, biyolojik arıtma tesislerine ek olarak çamur susuzlaştırma ünitesinden oluşur. Kimyasal arıtma işlemi yapılan atık sular da karışım dengeleme havuzuna alınıp buradan biyolojik arıtma bölümüne nakledilir.

Biyolojik arıtma öncesinde havalandırma havuzunda bakterilerin askıda kalması için tam homojen karışım gereklidir. Bunun için sisteme blower eklenmelidir.

Biyolojik arıtma işleminde biyolojik fosfor giderimi için bu ünite anaerobik koşullarda en az 2 saatlik bekletme süresi olmalıdır. Anaerobik basamağın hidrolik alıkonma süreleri 1 ile 2,5 saatler arasında değiştirilirken, diğer anoksik I, oksik I, anoksik II ve oksik II basamaklarının süreleri sırasıyla 1,5 saat, 4,5 saat, 1,5 saat ve 1,5 saat'de sabit tutulmalıdır. Amonyum azotu giderme verimi 1,5 saatlik alıkonma süresinde maksimum en az %88 olmalıdır. Nitrat azotu giderme verimi de 2 saatlik bekletilme zaman en az %90 verim ile yapılmalıdır. Fosfat fosforu giderme verimi en az %70'ler seviyesinde olmalıdır. Bu veriler sonucunda anaerobik basamak için en uygun hidrolik alıkonma süresi 2 saat seçilmiş tüm sistemin KOİ, NH₄-N, NO₃⁻ N ve PO₄-P giderme işlemleri yeterli düzeyde yapılmalıdır. Kimyasal arıtma işlemleri sonucunda sülfat ve florür parametreleri suyun deşarj kriterlerini sağlarsa bu değerler göz ardı edilebilir.

48 saat / 3 şarj = 16 saat

Bu reaksiyon süresinin aşamaları aşağıda belirtilmiştir.

Doldurma Fazı	: 1 saat
Anaerobik Fazı	: 2 saat
Havalandırma Fazı	: 10 saat
Çöktürme ve Boşaltma Fazı	: 2,5 saat
Çamur Stabilizasyon Süresi	: 0,5
Toplam	: 16 saat

Bu işlemler sonunda arıtılmış olan su deşarj pompası vasıtasıyla alıcı ortama deşarj edilebilir.

3.7. Depolama Alanları

Tesisteki depolama alanları hammadde depolama tankları ve nihai ürün depolama tankları olmak üzere iki çeşittir. Gerek ham madde yani atık yağlar gerekse nihai ürün depolama tankları aynı karakteristik özelliklere sahip olabilir. Bu tanklar;

- **API 650**, Petrol Depolama Tankları Kaynaklı, 11. Baskı, Lahikası 2, Kasım, 2009.
- **API 653**, Tank Denetim, Onarım, Tadilat ve İmar, 4th Edition, Ek 1, Ağustos 2010.
- **API 2015**, Petrol Depolama Tankları, Sixth Edition, Ağustos 2001 Güvenli giriş ve temizleme için gereksinimleri
- **TS EN 12285-2 22.03.2011** Çelik tanklar - Fabrika yapımı - Bölüm 2 Yanıcı ve yanıcı olmayan su kirletici sıvıların yer üstünde depolanması için - Tek ve çift cidarlı - Yatay silindirik Standartlarına uygun tanklar olmalıdır.



Şekil 5. Depolama Tankları

Depolama alanları C30 ve daha yüksek özellikli en az 10 cm beton ile kaplanarak yapılmalıdır. Bu şekilde depolama alanları sızdırmaz hale getirilmelidir. Tesis sahasının çevresi en az 1,5 metrelik betonarme yapı ve dikenli çitler ile çevrili olmalıdır.

Elektrik tesisatları, aydınlatma direkleri ve diğer teçhizatlar topraklama ilgili mevzuata göre yapılmalı ve yıldırım olaylarına karşı TS 622'ye uygun bir paratoner sistemi korunmalıdır.

Sonuç olarak tesis, montaj ve gerekli düzenleme çalışmaları gerçekleştirilerek, TSE Standartları'na ve API normlarına göre düzenlenmelidir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada genel özellikleri verilen geri kazanım tesisinde sintine geri kazanımı prosesi ile sintine ile üç çeşit ürün elde edilmektedir. Bu ürünlerin üretimi depolanması ve satışı işlemleri sonucunda hava, su ve toprağa herhangi bir kirletici verilmemektedir. Ayrıca bu proseste çevreye kayda değer bir atık da kalmamaktadır. Bu özelliklerin yanı sıra bu ve benzeri tesisler atığın hem alınmasında hem de ayrıştırılan ürünlerin satışında gelir elde edilen nadir bir endüstri sektörünün bir koludur.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülerek sonuçların ortaya çıkmasında Fırat Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi ve İstanbul Enerji A.Ş. yetkililerinin vermiş olduğu desteğe teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKÇA

- Audibert, F. (2006). Waste Engine Oils. *Elsevier*.
- Banad, K., Howari, F., & Al-Hamad, H. (2005). Heavy metals in urban soils of central Jordan. *Environmental Research*, 258-273.
- İstanbul Enerji A.Ş. (2000). www.enerji.istanbul: www.enerji.istanbul
- Kyoto. (1997). *Dünya Çevre Konferansı. KYOTO*.
- Martin, E., & Onabajo, A. (1992). *Amerika Birleşik Devletleri Patent No. US. 5.141.628*.
- Moore. (1992). *Amerika Birleşik Devletleri Patent No. US. 6.068.759*.
- Murata, S., Kurita, Y., & Suwa, S. (2010). Filter presses: A review of developments in automatic filter presses. *Filtration & Separation*, 32-35.
- Öz, Ç. (2013, Mayıs 1). *Sintine suyunun kimyasal yöntemlerle arıtılması. Sintine Suyunun Kimyasal Yöntemlerle Arıtılması. İTÜ*.

BÖLÜM 3

SABİT VE HAREKETLİ ŞAMANDIRALARIN KARAKTERİSTİKLERİ

Karahan KARAKURT¹

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL²

1 Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı,
Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, İzmir-Türkiye; karahankarakurt1997@gmail.com;
ORCID ID: 0009-0002-6050-4641.

2 Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı,
Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, İzmir-Türkiye; turgut.gursel@deu.edu.tr;
ORCID ID: 0000-0002-9681-680X.

1. GİRİŞ

Şamandıralar, denizlerde fenerler ile aynı amaçlar düşünülerek oluşturulan yüzer işaretleme düzenekleridir. Karayollarında sürücüler için gerekli olan trafik işaretleri, trafik ışıkları ve özel uyarılar, denizlerde de denizciler için çeşitli işaretleme şamandıraları tarafından karşılanmaktadır. Gemilere yol gösteren ya da tehlike uyarısında bulunan şamandıralar, denizde belli bir noktaya demirlenerek, deniz yolu güvenliği, su altındaki bazı cisimlerin yerini belirleme, bir tehlikeyi işaret etme ya da gemi trafiğini düzenleyerek geçiş yolunu gösterme / emniyet altına alma ve gemi bağlama gibi değişik amaçlarla kullanılan yüzer platformlardır. Genelde, yön verme, liman giriş uyarısı ve deniz için uyarı amaçlı markalama amacıyla tesis edilmiş olmalarına rağmen, günümüzde ışıklandırma ve bilimsel ölçümlmelerden deniz üzerinden hava araçlarına uyarıda bulunulmasına kadar uzanan geniş bir alanda hizmet vermeye başlamışlardır.

Ancak gelecekte, özellikle otonom, yani gemi personeli bulunmayan konteyner gemilerinin belirli bir süreçte devreye girmesi ile, ülke karasularına giren bu gemilerin limana yanaşana ve daha sonra ülke karasularını terk edene kadar meteorolojik durum ile deniz ve liman trafiği hakkında yoğun bir veri transferine ihtiyaç duymaları söz konusu olacaktır. Tüm bu verilerin sabit ve mobil şamandıralarla sağlanması gerekmektedir. Bu altyapıyı kuramayan ülke limanlarına bu gemilerle yük taşınması mümkün olmayacaktır. Bu çalışma kapsamında tüm sabit ve mobil şamandıraların teknik analizleri gerçekleştirilecektir. Daha sonra çok amaçlı mobil bir şamandıranın yapısal ve hidrodinamik tasarımının gerçekleştirilmesi ve modelinin üretilmesi hedeflenmektedir. Şamandıranın dinamik pozisyonlama özelliği bulunacak ve farklı düzeylerde otonomi kazandırılmaya, sürü halinde görev yapmaya elverişli olacaktır.

2. ŞAMANDIRALARIN KULLANIM ALANLARI

Şamandıraların hizmet ettiği alanlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- i. Deniz üzerinde inşaat ve çeşitli kurulum işlemleri
- ii. Gemiler için demirleme noktası sağlanması
- iii. Çevresel veriler hakkında bilgi sağlama
- iv. Denizde afet önleme sistemleri
- v. Askeri alanda çeşitli görevler
- vi. Enerji sağlama ve depolama
- vii. Navigasyon sağlama

- viii. Çeşitli su sporları faaliyetleri
- ix. Gelecekteki gemiler için seyir ve gözetleme sağlamak.

2.1 Denizlerde Şamandıra Kullanan Kurumlar

Denizlerde can ve mal güvenliğinin sağlanması, entegre kıyı yönetimlerinin oluşturulması, meteorolojik ve oşinografik verilerin sağlanması için çok sayıda kurum denizlerde sayısız şamandıra kullanmaktadır. İlgili kurumlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOOA) bağlı National Data Buoy Center (NDBC)
- Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Devletlerarası Oşinografi Komisyonu'na (IOC) bağlı;
- Deniz Meteorolojisi ve Oşinografi Programı (MMOP):
- Veri Şamandırası İşbirliği Paneli (DBCP)
 - Yunan Devleti'nin Yunan Deniz Araştırmaları Merkezi (HCMR)'ne bağlı Poseidon sistemi
 - Avrupa Araştırma Altyapısı Konsorsiyumu'na (ERIC) bağlı olan Euro-Argo ve EMSO
 - Küresel Okyanus Gözlem Sistemi (GOOS)
- MONGOOS, MOON, MEDGOOS, EuroGOOS, GOOS Afrika, vb.
 - Copernicus Deniz Ortamı İzleme Servisi (CMEMS)
 - UNESCO, IMO, IHO, Arctic Council, DOALOS, UN Oceans, UN Decade of Ocean Science, vb.
 - Uluslararası Seyir Yardımcıları ve Fenerler Otoriteleri Birliği (IALA)

2.2 IALA'ya Göre Navigasyon Yardımcıları

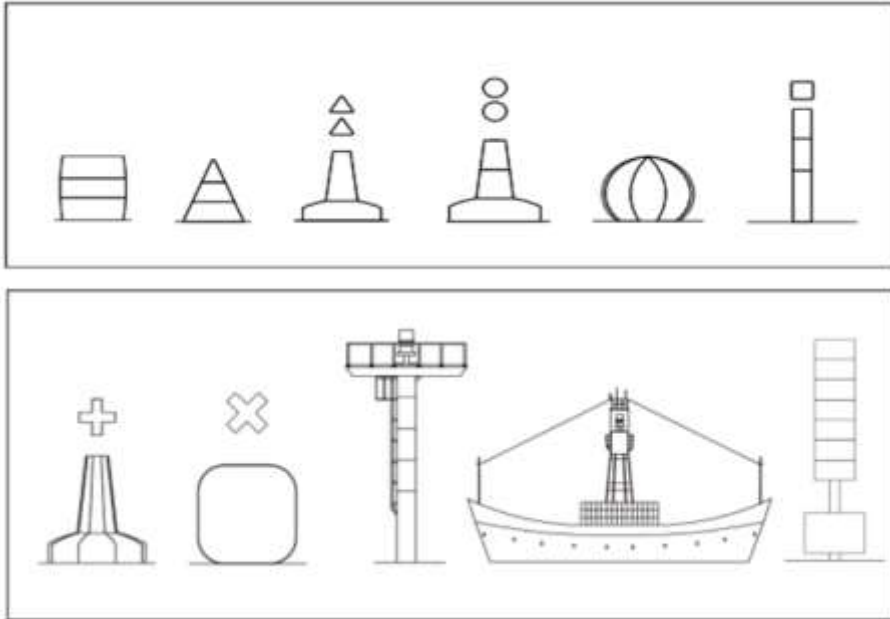
SOLAS Bölüm V Yönetmelik 13'e göre, sözleşmeyi imzalayan devletler, Deniz Şamandıra Sistemi (Maritime Buoyage System) de dahil olmak üzere Uluslararası Seyir Yardımcıları ve Fenerler Otoriteleri Birliği'nin (IALA) tavsiyelerini ve yönergelerini dikkate almak zorundadır (<https://www.iala-aism.org/>).

15 Nisan 1982'de Paris'te 53 ülkenin temsilcileri tarafından IALA Deniz Yüzdürme Sistemleri'nin uygulanması için anlaşmaya varılmıştır ve böylece deniz yüzdürme sistemlerinin dünya çapında uyumlulaştırılması başlamıştır. Türkiye, şamandıra sistemleri bakımından Sistem A'yı 28.7.1982'de kabul ederek uygulamaya koymuştur (Şekil 1 ve 2).



Şekil 1. Sabit IALA Şamandırası Örneği (<https://www.martek.com.tr/>)

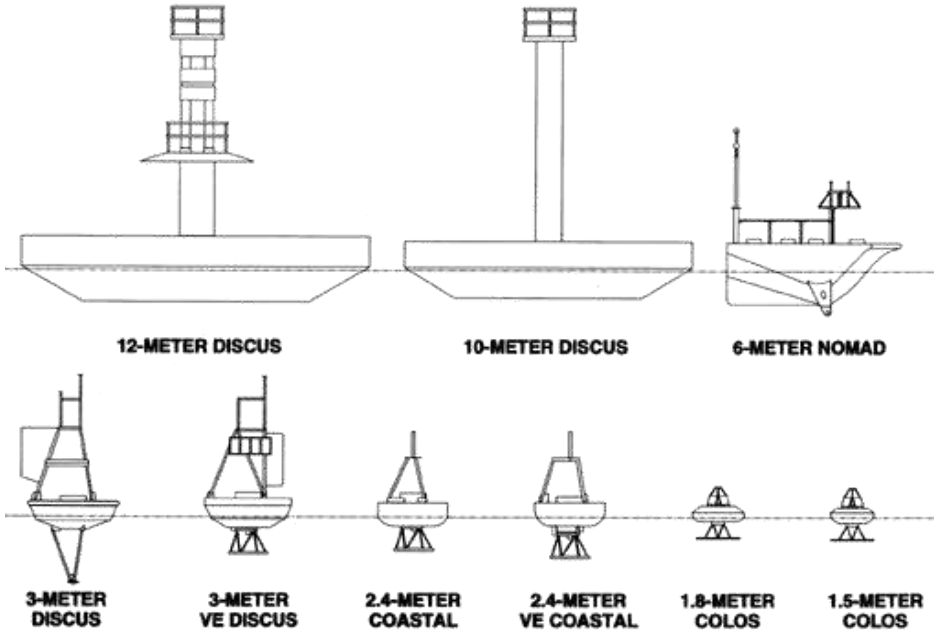
IALA, şamandıraların karakteristiklerine göre şamandıraları silindirik, küresel ve konik olarak gruplandırmaktadır (<https://www.iala-aism.org/>). National Oceanic and Atmospheric Administration'a (NOAA) göre sabit ve yüzer şamandıra tipleri Şekil 3 ve 4'de verilmektedir.



Şekil 2. IALA'ya Göre Şamandıra Tipleri (<https://www.iala-aism.org/>)



Şekil 3. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Göre Sabit Şamandıra Örnekleri (<http://www.ndbc.noaa.gov/>).



Şekil 4. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Göre Yüzer Şamandıra Tipleri (<http://www.ndbc.noaa.gov/>)

National Data Buoy Center (NDBC) ait sabit şamandıralar meteorolojik ve oşinografik veri toplanması için Batı Atlantik'ten Pasifik Okyanusu'ndaki Hawaii yakınlarına ve Bering Denizi'nden Güney Pasifik'e kadar kıyı ve açık deniz sularında bulunmaktadır (<http://www.ndbc.noaa.gov>). NDBC'nin sabit şamandıra filosu 3, 10 ve 12 metrelik dairesel sephiye tekneleri ile 6 metre tekne boyuna sahip sephiye elemanlarından oluşmaktadır.

2.3 Veri Şamandırası İşbirliği Paneli'ne (DBCP) ait veri şamandıra tipleri

Veri Şamandırası İşbirliği Paneli (DBCP) Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Devletlerarası Oşinografi Komisyonu'nun (IOC) resmi bir organıdır. Sahip olduğu hem sabit hem de sürüklenen durumdaki veri şamandıraları, Argos, Orbcmm ve Iridium gibi uydu telekomünikasyon sistemleri aracılığıyla gerçek zamanlı iletişim kurarak öngörülebilir ve kontrollü bir şekilde otomatik olarak ölçüm yapar ve topladığı verileri iletir (<https://www.oceanops.org/dbcp/platforms/>).

- Sürüklenen Şamandıralar (Drifting Buoys)

Sürüklenen şamandıralar genellikle bir tür deniz çapasına bağlanır, yerleştirilmesi kolaydır. Ortalama 18 ay boyunca atmosfer ve okyanus yüzeyi koşullarını oluşturan temel parametreleri güvenilir bir şekilde ölçer. DBCP, meteorolojik ve oşinografik uygulamalar için gözlem gereksinimlerine uyacak şekilde standartlaştırılmış sürüklenen şamandıralar tasarlar. Yüzey akıntılarını bu şekilde takip eden şamandıralara Lagrangian drifters denir ve okyanus akıntılarını izlerler.

- Sabit Şamandıralar (Demirli Şamandıralar)

Sabit şamandıralar, birçok farklı atmosferik ve oşinografik sensörden düzenli olarak veriler toplar. Demirli şamandıralar genellikle ulusal tahmin ihtiyaçlarına, deniz güvenliği ihtiyaçlarına hizmet etmek ve bölgesel iklim modellerini gözlemlmek için konuşlandırılır. Sabit şamandıralar nispeten büyük ve pahalı platformlardır. Boyları ve genişlikleri birkaç metreden 12 metreye kadar değişebilir.

Eğer sabit bir şamandıra sürüklenirse, bu durum, potansiyel olarak maliyetli ekipman kaybı anlamına gelir ve navigasyon için olası bir tehlikeyi gösterir. Bu nedenle şamandıranın belirli bir alandan ayrılması durumunda uyarı gönderilmesini sağlamak için konumlama sistemi de bulunmaktadır.

- Dalga Şamandıraları

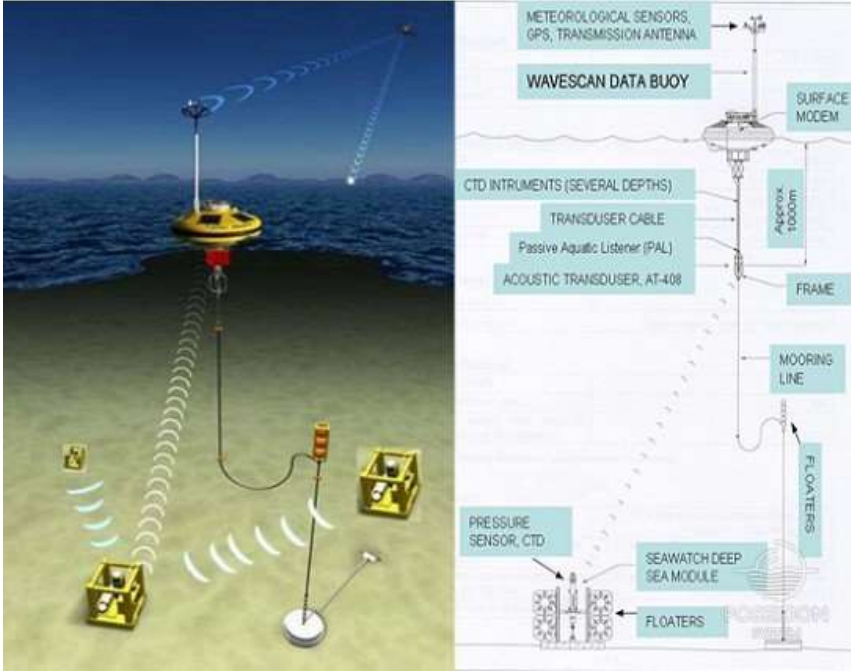
Dalga enerjisi konverterleri aynı zamanda atmosferik ve oşinografik verileri toplamak için de kullanılabilir (Şekil 5).

- Buzul Şamandıraları

Buzul şamandıraları, Kuzey Kutbu ve Antarktika bölgelerinde buzul hareketlerini izlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür şamandıralar, -50°C 'ye kadar sıcaklıklarda çalışabilen düşük sıcaklık elektroniği ve lityum pillerle donatılmıştır.

- Alt yüzey şamandıraları (Sub-surface floats)

Bu şamandıralar, orta derinliklerde veri toplayan ve zaman zaman veri iletmek için yüzeye çıkan otonom serbest sürüklenen platformlardır.



Şekil 5. Dalga Şamandıraları Örneği (<https://www.ocean-ops.org/dbcp/platforms/types.html>)

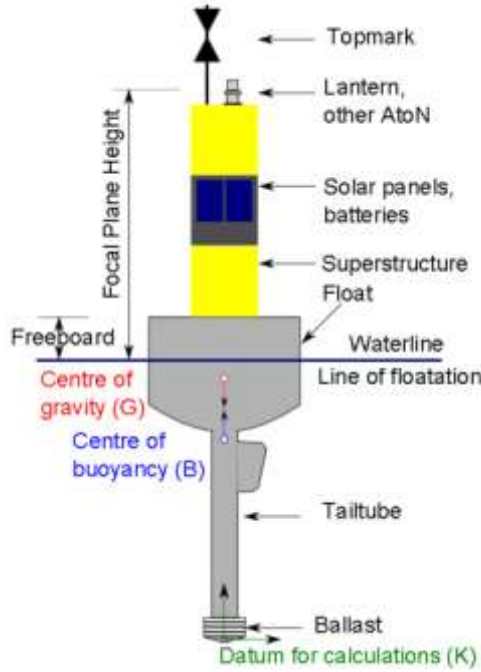
3. SABİT ŞAMANDIRALARIN KARAKTERİSTİKLERİ

Sabit şamandıraların ağır fırtına ve dalgalardan etkilenmeden görevlerini sürdürebilmeleri için hem malzeme özellikleri ile üretim kalitesinin hem de hidrostatik özelliklerinin çok yüksek seviyede olması büyük önem taşır. Hesaplamaların başlangıç noktasını, üzerine monte edilecek tüm ekipmanların belirlenmesi, ağırlıklarının saptanması ve tüm bu bileşenlerin toplamı oluşturur. Kuşkusuz, pratik olduğu durumlarda tüm bileşenlerin tartılmasının ağırlık hesabını iyileştireceği açıktır. Şamandıra malzemesi olarak çelik, alüminyum, yüksek-yoğunluklu polietilen (HDPE) kullanılabilir (Tablo 1). Polietilen gibi plastik malzemelerin ilk yatırım maliyetleri ile bakım onarım maliyetleri daha düşüktür; ayrıca çelik yapıların sahip olduğu korozyon sorunu bulunmamaktadır. Tablo 1’de IALA tarafından modüler bir şamandırada kullanılması gereken malzemeler verilmiştir.

Yüzen araçların dolayısıyla şamandıraların tasarımında dikkat edilmesi gereken iki tip stabilite vardır. Bunlardan ilki form stabilitesidir ve şamandıranın daldırılan kısmının ve su hattı formunun sağladığı stabiledir (Şekil 6). Normal bir silindirik şamandırada, şamandıranın çapı ne kadar büyükse, o kadar stabildir. Şamandıranın ağırlık merkezinin şamandırayı doğrultacak konumda bulunması ağırlık stabilitesini sağlar. Şamandıranın dip kısmındaki balast ise doğrultma momentinin yükselmesini sağlar (Şekil 6). Statik stabilitede form stabilitesi ve ağırlık stabilitesinin birleşik etkileri değerlendirilir (Şekil 7).

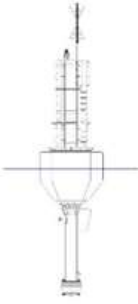
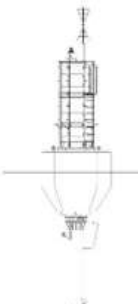
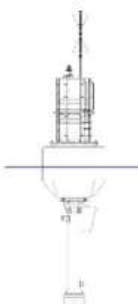



Tablo 1. Şamandıraların temel özellikleri (<https://www.iala-aism.org/product-category/publications>)

Component	Material Type	Ease of Recycling	Recycling Method
Hull	Polyethylene	Easy – Readily Accepted	Plastics Recycling Depot
	Polyurethane Foam	Is to separate from the other buoy materials	Plastics Recycling Depot
	Glass reinforced plastic (GRP)	Not recyclable	
Foam Filling	Fused Expanded Polystyrene	Easy – Readily Accepted	Plastics Recycling Depot
	Polyurethane Foam	Is to separate from the other buoy materials	Plastics Recycling Depot
Superstructure	Polyethylene	Easy – Readily Accepted	Plastics Recycling Depot
	Aluminium	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
Radar Reflector	Aluminium	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
Ladders & Railings	Stainless Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
	Aluminium	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
Core Structure	Polyethylene	Easy – Readily Accepted	Plastics Recycling Depot
	Galvanized Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
Lifting & Mooring Connection Bars	Stainless Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
	Galvanized Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
Threaded Inserts	Stainless Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
	Brass	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
Fasteners	Stainless Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
	Galvanized Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
	Aluminium	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
Ballast	Concrete	Easy – Readily Accepted	Clean Fill Designated Infill
	Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
	Cast Iron	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot



Şekil 6. Sabit Şamandıranın Özellikleri (<https://www.iala-aism.org/wiki/>).

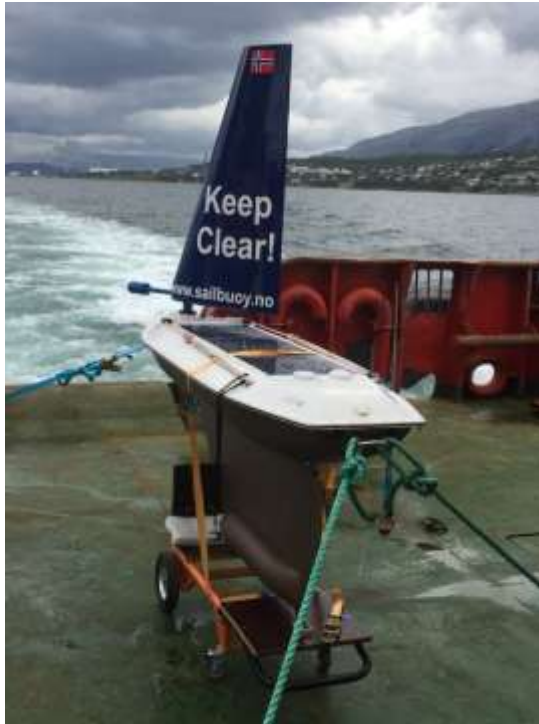
Şamandıranın toplam kütlesi (m), kaldırma kuvvet (sephiye) merkezi (B) ve ağırlık merkezi (G) belirlenerek metasantrik yükseklik (GM) hesaplanır. Metasantrik yükseklik, şamandıranın ağırlık merkezinin kaldırma kuvveti merkezine göre oluşan doğrultma momentinin bir ölçüsüdür. Şamandıranın stabil (kararlı) olması için mutlaka GM pozitif olmalı ve M noktası her zaman G noktasının üzerinde olmalıdır (Şekil 7). Şekil 8’da ise IALA tarafından farklı malzemelere, sephiye değerlerine ve yalpa doğal frekansına sahip şamandıralar karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Modular plastic buoys	A8L	B6L	CSL
Ballast 650 kg			
Volume	9 m ³	7 m ³	6 m ³
Mass	3 650 kg	3 400 kg	3 150 kg
Natural roll period	4.85 seconds	4.70 seconds	4.20 seconds
Steel buoys			
Volume	7.50 m ³	12 m ³	26 m ³
Mass	5 000 kg	9 500 kg	15 000 kg
Natural roll period	5.80 seconds	7 seconds	7 seconds

Şekil 8. Modüler Plastik ve Çelik Şamandıraların Toplam Ağırlık ve Yalpa Periyodu Karşılaştırması (<https://www.iala-aism.org/product-category/publications/>)

4. HAREKETLİ ŞAMANDIRALARIN KARAKTERİSTİKLERİ

Hareketli şamandıralara verilebilecek iyi bir örnek olan “Sailbuoy” isimli tasarımda (<http://www.sailbuoy.no/>), sevk gücü olarak rüzgâr öngörülmüştür. Elektronik sistemlerin ve aktüatörlerin enerjisi güneş panelleri tarafından karşılanmaktadır (Şekil 9). Veri iletişimi ve kontrolü, kullanıcı dostu bir web arayüzü aracılığıyla Iridium uydu sistemi kullanılarak gerçek zamanlı olarak kurulmuştur. Şamandıranın oşinografik ve meteorolojik enstrümantasyonu, uzun süreli otonom operasyonlar için tasarlanmıştır. Belli bir süre sonra yelkenli insansız yüzey aracı (USV) sınıfına alınmıştır. Boyu yaklaşık $L=2$ metre uzunluğundadır, kütlesi $m=60$ kg ve ortalama hızı 1-2 knot arasındadır. Sailbuoy, çok çeşitli okyanus uygulamaları için kullanılabilir ve denizel ve atmosferik parametrelerin ölçülmesinden petrol sızıntılarının izlenmesine veya denizaltı enstrümantasyonu için bir iletişim istasyonu olarak görev yapmaya elverişlidir.

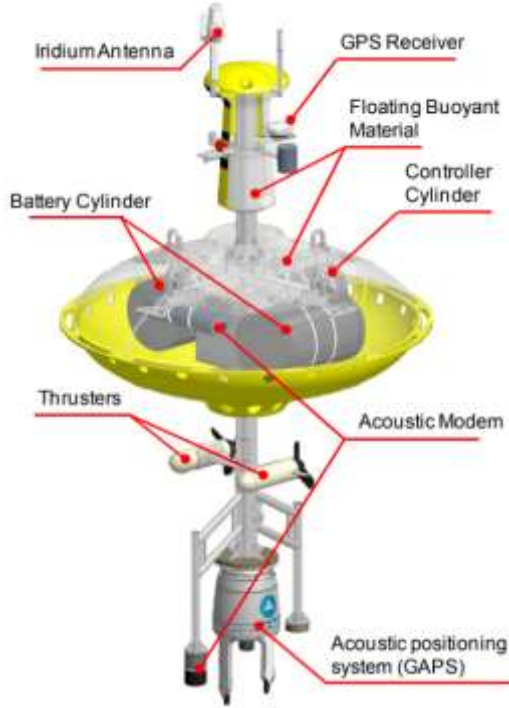


Şekil 9. ‘SailBuoy’ Adlı Mobil Şamandıra Örneği (<http://www.sailbuoy.no/>)

2018 yılında MIT ve Singapur Teknoloji ve Tasarım Üniversitesi tarafından yapılan çalışmada (Zoss, vd., 2018), sürü tarzında mobil şamandıralar kullanılmıştır (Şekil 10). Göller, göletler ve deniz kıyı alanları dinamik, fiziksel ve biyo-jeokimyasal süreçler açısından karmaşık bir etkileşime maruz kalmaktadır. İnsan müdahalesi ve etkinliği, bu ortamların dinamiklerini daha da karmaşık hale getirmiştir. Bu süreçleri anlamak ve insan etkisini incelemek için çevre bilimcileri ve oşinograflar, çok çeşitli ölçümlere ve bunların sonuçlarına (örneğin sıcaklık, çözünmüş oksijen konsantrasyonu, tuzluluk ve biyolojik veriler) ihtiyaç duymaktadır. Çevresel izleme ve otonom yüzey ve sualtı araç filolarının sahip olduğu mobil sensör ağları ile bu veriler artık toplanabilmektedir (Şekil 10).

Hybrid PowerBuoy 2020'de Ocean Power Technologies (OPT) tarafından üretilen bir tür deniz elektrik santrali şamandırasıdır (Şekil 11) ve kesintisiz güç kaynağı görevi görecektir şekilde tasarlanmıştır. Deniz üzerindeki bakım ve onarım çalışmalarında da kullanılmaktadır. Hibrit PowerBuoy'un lityum demir fosfat pillerin şarj etmek için araç üzerindeki güneş panelleri kullanılır (Şekil 11). Güneş panelleri kısa süreler için yeterli güç sağlayamıyorsa, bir Stirling motoru yedek güç sağlamak için pilleri şarj eder.

Otonom su altı araçlarının emniyeti ve emniyetli çalışması için, akustik konumlandırma sistemi ve akustik modem kullanan bir destek gemisi ile bu araçların izlenmesi gereklidir. Bu nedenle uygun maliyetle herhangi bir AUV'nin uzaktan izlenmesini sağlayan otonom bir şamandıra sistemi geliştirilmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. “ABA” adlı Mobil Şamandıra'nın Genel Düzeni
(<https://www.semanticscholar.org>)

2015 yılında Tokyo Üniversitesi tarafından geliştirilen ve otonom su altı araçlarının (AUV) uzaktan izlenmesini sağlayan otonom şamandıra sistemi dinamik konumlandırma işlevine sahiptir ve hedef AUV'yi takip edebilir (Şekil 12). Aynı zamanda şamandıra hem akustik hem de radyo veri bağlantısı kullanarak mesajları AUV ile AUV'nin yüzey izleme sistemi arasında iletebilmektedir.
















5. HAREKETLİ ŞAMANDIRA TASARIMI

Hareketli şamandıraların tasarımında öncelikle gereksinimler ile amaç ve hedefler belirlenmelidir. Temel gereksinimler şu şekilde sıralanabilir (Şekil 13):

- Şamandıra kesinlikle su geçirmez ve tamamen yüzer olmalıdır.
- Dalgalara veya diğer etkenlere rağmen pozisyonunu koruyabilmelidir.
- Gemiye aktarılacak verileri uzaktan alabilmelidir.
- Her görev için yeni konum koordinatlarına (boylama ve enleme) gidebilmelidir.

Hareketli şamandıraların amaç ve hedefleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Şekil 13):

- Başka bir gemiye otonom olarak gidebilen ve fiziksel bir veri bağlantısı sağlayabilen konuşlandırılabilir bir şamandıra tasarlanmalıdır.
- Şamandıra ana merkez ile iletişim kuracak ve kıyıdan uzakta erişilebilen bir bilgi-işlem merkezi görevi üstlenecektir.
- Sudaki sabit konum, otonom GPS tabanlı dinamik pozisyonlama sistemi ile korunmalıdır.
- Araç koordinatları, varış noktası ve görev durumu, kıyıdaki özel bir Grafikselsel Kullanıcı Arayüzü'nden gerçek zamanlı olarak görüntülenmelidir.

Solution Path		1	2	3	4
Sub Units					
A	Hull				
B	Fixing	 (Without anchor)	 (Anchor)	 (Anchor with release mechanism)	
C	Sensors	 Meteorological	 Meteorological - oceanographic	 Meteorological - oceanographic acoustic	
D	Processor	 mProc	 FPGA		
E	Communication	 GSM	 RF	 SAT	
F	Battery	 Ni-Cd	 Ni-Mh	 Li-Ion	 Li-Fe-Po4

Şekil 13. Şamandıra Tasarımı Çözüm Aşamaları Tablosu (Börklü vd., 2017)

Hareketli şamandıra tasarlanırken aşağıdaki parametreler mutlaka değerlendirilmelidir (Börklü vd., 2017):

- Karaya yakınlığına bağlı olarak bağlama türü seçimi.
- İhtiyaca ve doğruluk değerine göre sensör türü ve ölçüm aralığı seçimi.
- Ölçülen verilerin işleme hızına, verilerin boyutuna ve doğruluğuna bağlı olarak donanım seçimi.
- Karaya yakınlığına bağlı olarak iletişim türü seçimi,
- Tüketilen elektrik enerjisi (amper-volt dengesi), güç miktarı ve süresine bağlı olarak batarya seçimi yapılmalıdır.

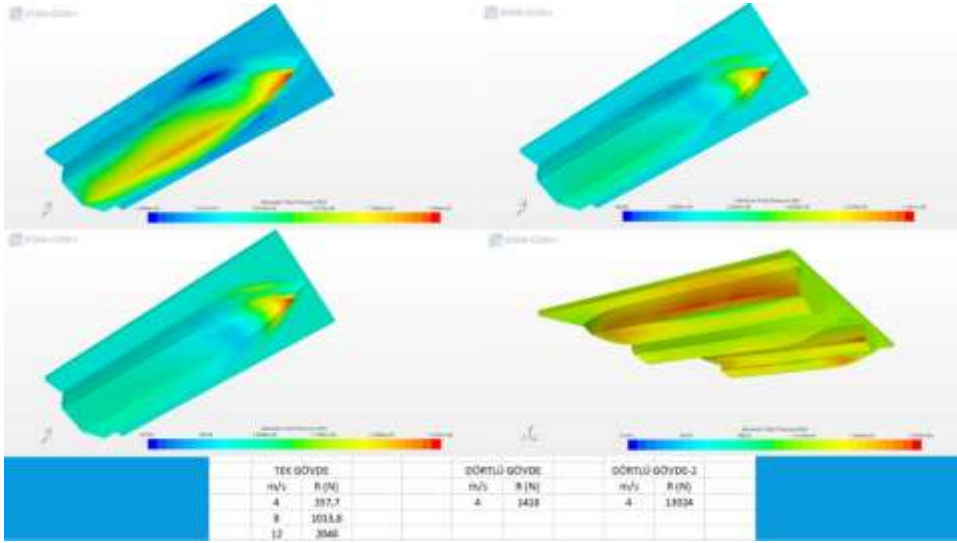
İzleyen aşamada tüm bu parametreler dikkate alınarak şamandıranın toplam hacmi ve ağırlığı gibi temel tasarım büyüklükleri saptanır ve buna göre gövde formu oluşturularak tasarımı tamamlanır. Ancak günümüzde karmaşık ortam koşullarında, hâlâ şamandıra davranışını tanımlamak yetersiz

kalabilmektedir. Genellikle şamandıranın yalpa, baş-kıç vurma hareketleri ihmal edilirken sadece dalıp-çıkma hareketi dikkate alınmaktadır (Li ve Bian, 2021).



Şekil 14. Hareketli şamandıra tasarımı

Bu çalışmada, ifade edilen her tipteki sabit şamandıranın bakım ve kontrolü ile diğer açık deniz platformlarını desteklemek ve acil durumlarda müdahale etmek için hem manuel olarak kontrol edilebilen, hem de otonom özelliklere sahip bir mobil şamandıranın tasarımı yapılmıştır (Şekil 14) (Yu vd., 2017; Fangxi vd., 2011; Li ve Bachmayer, 2013; Oliveira vd., 2003; Gürsel ve Taner, 2019; Brizzolara vd., 2011; Begovic vd., 2015). Bu tasarım tek araç olarak ve sürü halinde kumanda edilebilir özelliklere sahiptir. Genellikle 4-8 tanesi borda bordaya sabitlenerek Şekil 14'deki gibi drone'lar için, 12 ve üzerindeki mobil şamandıra sabitlenerek helikopterler için iniş pisti oluşturmaktadır.



Şekil 15. STAR-CCM+ ile gerçekleştirilen hidrodinamik analiz görüntü ve sonuçları

Tasarımı yapılan bu mobil şamandıranın 24 kn'a (12 m/s) kadar olan hızlar için maruz kaldığı hidrodinamik direnç değeri STAR-CCM+ yazılımında gerçekleştirilen ayrıntılı analizlerde 2048 N olarak saptanmıştır (Şekil 15). Bu durumda ilgili hız değerlerine ulaşmak için yaklaşık $P_B=40$ kW makina gücü gerekmektedir. Araçlar tek ve birleşik formasyonda her yöne ilerleyebilecek kapasitededir (Şekil 15). Ayrıca tasarım, sahip olduğu 360° dönebilir özel pervane aracılığıyla tek ve birleşik formasyonda tamamen dinamik pozisyonlama (DP) yeteneği sayesinde dış etkilere (akıntı, rüzgâr, dalga kuvvetlerine) karşı sabit bir noktada öngörülen operasyonları sürdürebilir.

SONUÇ

Çalışmada tüm şamandıraların genel bir tanıtımı ve değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan araştırma sonucunda bazı hareketli şamandıraların kullanım amaçlarına göre otonom su altı araçlarına (AUV) veya insansız yüzey araçlarına (USV) benzerlikleri görülmüştür. Çalışma kapsamında, sabit şamandıraların ve diğer deniz yapılarının bakım onarımı ve desteği için kullanılacak mobil bir şamandıranın tasarımı yapılmış ve hidrodinamik özellikleri ile gerekli makine gücünün bu hizmetleri sağlamak için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmanın izleyen aşamasında ise, mobil şamandıranın otonom özellikleri ve sürü davranışı araştırılacaktır.

KAYNAKÇA

- Begovic, E., Bertorello, C., Mancini, S. (2015). *Hydrodynamic performances of small size SWATH craft*. Brodogradnja/ Shipbuilding, 66 (4).
- Börklü, H. R., Helvacilar, E., Özdemir, V. Conceptual Design of a New Buoy, GU J Sci, Part A, 4(4): 125-143 (2017).
- Brizzolara, S., Bovio, M., Federici, A., Vernengo, G. (2011). *Hydrodynamic Design of a Family of Hybrid SWATH Unmanned Surface Vehicles*. Sea Grant College Program, Massachusetts Institute of Technology.
- Fangxi S., Lianhong Z., Zhiliang W., Leping W. (2011). *On Resistance Calculation for Autonomous Underwater Vehicles*. Advanced Materials Research Vols. 189-193 pp 1745-1748.
- Gürsel, K.T.,Taner, M. (2019). *Hydrodynamic Potential Improvement of Pontoon Boats*, Naval Engineers Journal, June 2019; No. 131-2.
<https://www.iala-aism.org/>
<https://www.martek.com.tr/>
<http://www.ndbc.noaa.gov/> (National Data Buoy Center. Available online:)
<https://www.oceanops.org/dbcp/platforms>
<http://www.sailbuoy.no/>
<https://www.semanticscholar.org>
- Li, X., Bian, Y. (2021). *Modeling and prediction for the buoy motion characteristics*. 239(1):109880, Ocean Engineering.
- Li, Z., Bachmayer, R. (2013). *The development of a robust Autonomous Surface Craft for deployment in harsh ocean environment*. In 2013 OCEANS-San Diego (pp. 1-7). IEEE.
- Oliveira, P., Pascoal, A., Norte-Piso, T. (2003). *On the design of multirate complementary filters for autonomous marine vehicle navigation*. In GCUV2003-1st IFAC Workshop on Guidance and Control of Underwater Vehicles.
- Yu, F., Hu, X., Dong, S., Liu, G., Zhao, Y., & Chen, G. (2017). *Design of a low-cost oil spill tracking buoy* - Journal of marine science and technology, 23(2). DOI:10.1007/s00773-017-0472-8.
- Zoss, B. M., Mateo, D., Kuan, Y., Tokić, G., Chamanbaz, M., Goh, L., Valleggra, F., Bouffanais, R., Yue, D. (2018). *Distributed system of autonomous buoys for scalable deployment and monitoring of large waterbodies*, Autonomous Robots (2018) 42:1669–1689.

BÖLÜM 4

GEMİLERİN DARBE VE ÇARPIŞMA ANALİZİ

Can KIRAN¹

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL²

1 Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı, Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, İzmir-Türkiye; cnkran@gmail.com;
ORCID ID:0000-0003-1329-4493.

2 Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı, Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, İzmir-Türkiye; turgut.gursel@deu.edu.tr;
ORCID ID: 0000-0002-9681-680X.

1. GİRİŞ

Deniz trafiğinin çok yoğunlaştığı işlek dar boğaz ve kanal geçişleri ile limanların yaklaşma sahaları deniz taşımacılığının en riskli bölgelerini oluşturmaktadır. Özellikle fırtınalı ve sisli havalarda, akıntıların da güçlü olduğu çok işlek liman ve boğazlarda gemilerin çarpışması ya da gemilerin limanların belirli bölgelerine çarpması veya karaya oturması çok yaygın görülen deniz kazalarından sayılmaktadır.

Tankerlerin tankları ya tamamen boş durumdadır veya tanklarında sadece sıvı ham veya işlenmiş petrol taşırlar. Büyük hacimli ham petrol taşımacılığı olarak da tanımlanabilen tankerlerle yapılan taşımacılık, tüm deniz taşımacılığında taşınan tonajın yaklaşık yarısını oluşturmaktadır. Herhangi bir geminin bir tankerle veya tankerlerin birbirleriyle çarpışması sonucu denize yayılan petrol kirliliği genellikle büyük çevre felâketlerine neden olur; bu durum kıyı ve deniz ekosistemlerini olumsuz yönde etkilediği gibi, doğal ya da üretim çiftliklerindeki deniz ürünlerinin tamamen zarar görmesi ve çeşitli rekreasyonel faaliyetleri engellemesi sebebiyle ekonomik olarak da yıkıcı etkilere sahiptir. Her yıl yaklaşık olarak 5 milyon ton petrol ve petrol türevinin denizlere karıştığı tahmin edilmektedir (Tablo 1).

Gemi kazaları sonucu oluşan petrol kirliliğinin önemi, ilk olarak Torrey Canyon isimli petrol tankerinin 1967 yılında Scilly Adaları açıklarında karaya oturarak yaralanması ve yaklaşık 119.000 ton ham petrolün denize karışması sonrasında artmıştır (Tablo 1). Bu kazadan sonra MARPOL 1973 Sözleşmesi (Denizlerin Gemiler Tarafından Kirletilmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Konvansiyon) gündeme gelmiş ve “Petrol Kirliliğinden Doğan Zararların Hukuki Sorumluluğu ile ilgili Uluslararası Sözleşme”sine bağlı olarak yeni kurallar oluşturulmuştur (Onay, 2020).

Bu araştırmada, bir yük gemisinin bodoslamadan bir tankerin bordasına çarpma senaryosu ayrıntılı olarak ANSYS-LS-DYNA yazılımı aracılığıyla dinamik analizler yapılarak incelenecek ve çarpışma sırasında ortaya çıkan enerji ve deformasyon mekanizmaları araştırılarak hasar analizleri gerçekleştirilecektir. Böylelikle tanker ve diğer gemilerin tasarımı aşamalarında, hem çevre felaketlerini önlemeye yönelik olarak, hem de maddi zararları tamamen sınırlayabilmek için konstrüktif önlemleri tasarım aşamasında ve ekonomik olarak geliştirmek mümkün olacaktır. Çalışmanın sonucu, gemi inşa sektörü kadar, çevrenin korunması amacıyla alınan önlemler açısından da büyük önem taşımaktadır.

Tablo 1. Büyük Tanker Kazaları Listesi (ITOPF(2023)-Oil Tanker Spill Statistic 2022)

Hasar Sırası	Gemi Adı	Yıl	Kaza Bölgesi	Sızıntı miktarı(Ton)
1	Atlantic Empress	1979	Tobago, Karayipler	287000
2	ABT Summer	1991	Angola	260000
3	Cast. De Bellver	1983	Saldanha, G. Afrika	252000
4	Amoco Cadiz	1978	Brittany, Fransa	223000
5	Haven	1991	Cenova, İtalya	144000
6	Odyssey	1988	Nova Scotia, Kanada	132000
7	Torrey Canyon	1967	Scilly, Birleşik Krallık	119000
8	Sea star	1972	Umman	115000
9	Sanchi	2018	Shanghai, Çin	113000
10	Irenes Serenade	1980	Mora, Yunanistan	100000
11	Urquiola	1976	La Coruna, İspanya	100000
12	Hawaiian Patriot	1977	Honolulu, Hawaii	95000
13	Independenta	1979	İstanbul, Türkiye	95000
14	Jakob Maersk	1975	Porto, Portekiz	88000
15	Braer	1993	Shetland Adaları, Birleşik Krallık	85000
16	Aegean Sea	1992	La Coruna, İspanya	74000
17	Sea Empress	1996	Milford Haven, Birleşik Krallık	72000
18	Khark 5	1989	Fas	70000
19	Nova	1985	Hark, İran	70000
20	Katina P	1992	Maputo, Mozambik	67000

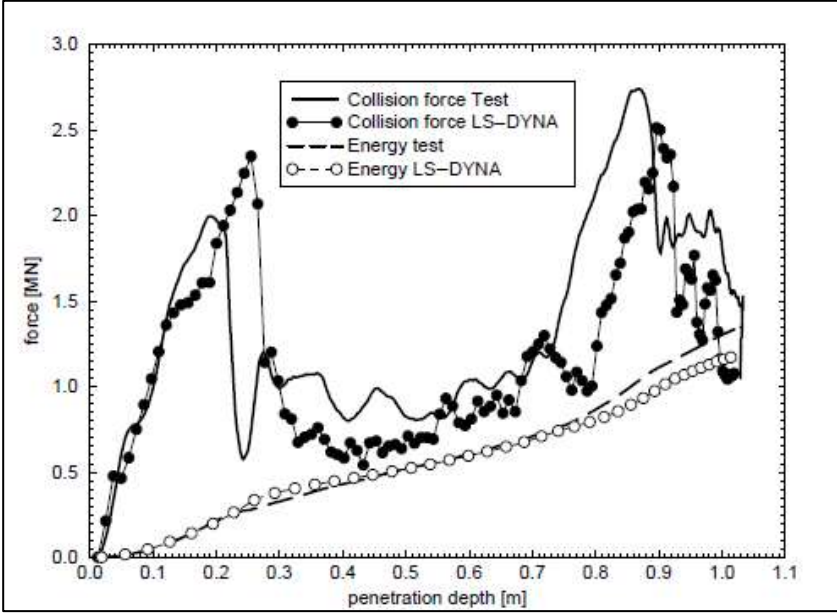
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, Nedlloyd 34'e ait yumrubaş modelinin Amatha isimli gemi modelinin bordasına çarpması deneyi ile ASIS tarafından 1993'de yapılan ve serbest düşmeye bırakılan bir yumrubaşın basit bir konstrüksiyona çarpması sonucunda gerçekleşen deformasyon testi ayrıntılı olarak analiz edilerek test sonuçlarına ulaşılması hedeflenmiştir. Böylelikle izleyen aşamada gerçekleştirilecek çeşitli çarpışma senaryolarına dayalı simülasyonlar için gerekli olan validasyon çalışması başarıyla tamamlanmış olacaktır.

2.1 TNO-Çarpışma Deneyinin Doğrulaması

Nedlloyd 34'e ait yumrubaş modeli ile Amatha isimli gemi modelinin bordasına çarpılması suretiyle gerçekleştirilen testte, yumrubaş rijit ve 762 ton, Amatha'nın konstrüksiyon kütlesi ise 1442 ton olarak verilmektedir. Gemi yüksekliği 4,2 metre ve kesit uzunluğu 7,5 metre olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan sacın kalınlıkları 4-6 mm arasındadır ve kalitesi Romanya standartlarındaki A seviyesindedir.

Deneyde Nedlloyd'a ait yumrubaş modelinin 2,55 m/s hız ile Amatha'nın bordasına çarpması sağlanmıştır. Çarpışma, yaklaşık 1 s sürmüştür ve yaralanma derinliği yaklaşık 1 metre olarak gerçekleşmiştir. Deneyde, çarpışma süresince oluşan kuvvetin dağılımı Şekil 1'de verilmiştir.

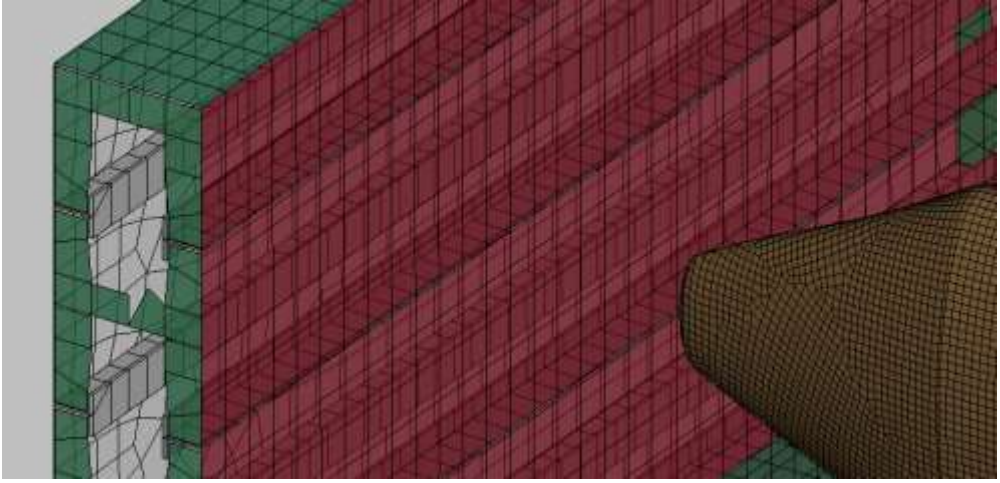


Şekil 1. Deneyde ölçülen kuvvet / enerji - deplasman değerleri (Lehmann ve Peschmann, 2001)

Bu çalışmada, gövde kesiti ve yumrubaş modelleri hazırlanarak, LS-DYNA yazılımında ağ yapıları oluşturulmuştur. Ağ yapılarının hazırlanmasında 200 mm'lik elemanlar kullanılarak modellerin ayrıklaştırma işlemi tamamlanmıştır (Şekil 2). Çarpılan gövde kesiti bir tankeri sembolize edecek şekilde çift cidara sahiptir (Şekil 2).

Sınır şartları olarak, çarpılan gemi bordası her iki yandan ankastre olarak sabitlenerek, yumru başa ilk hız ve kütle tanımlanmıştır. Malzeme, lineer elastik-plastik özellikte kabul edilerek A240 çeliği seçilmiştir (Tablo 2) ve yazılım çalıştırılmıştır.

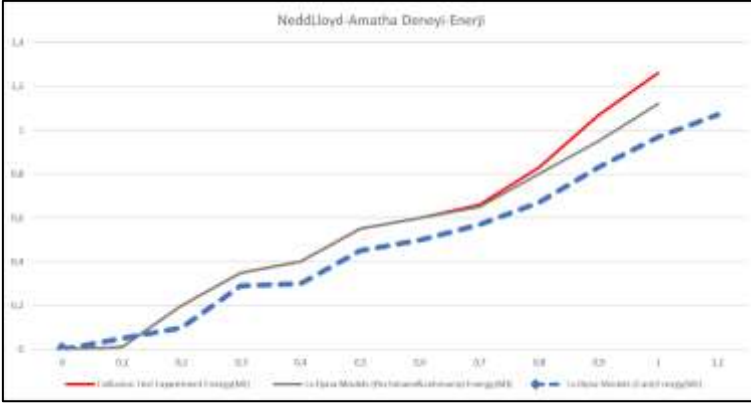
Sınırlar oluşturulurken deney verilerinden görsel olarak mesnet noktaları atanmıştır. Deney düzeneği, hedef sacın çevresine karesel olarak yerleştirilen problar vasıtasıyla ölçümlenmiş ve böylelikle çarpışma durumunda oluşan hasar araştırılmıştır.



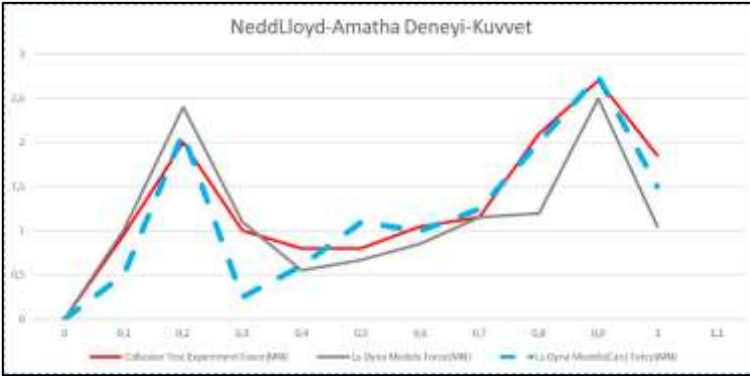
Şekil 2. Çarpılan Amatha gemi modelinin ağ yapısının oluşturulması

Tablo 2. AH36 ve A240 çeliğinin mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	AH 36 Çeliği (ASTM)	A240 Çeliği (ASTM)
Akma Gerilmesi (MPa)	355	195
Kopma Mukavemeti (MPa)	490-630	250-275
Minimum Gerinim	0,21	-
Young Modülü (MPa)	206	193
Poisson Oranı	0,3	0,29



Şekil 3. Çarpışma testinde oluşan enerji (MJ) ile deplasmanın (m) ölçülmesi ve LS-DYNA yazılımı kullanıcılarının analizlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması



Şekil 4. Çarpışma testinde oluşan kuvvet (MN) ile deplasmanın (m) ölçülmesi ve LS-DYNA yazılımı kullanıcılarının analizlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Lehmann ve Peschmann (2001) tarafından gerçekleştirilen çarpışma testi sonuçlarının LS-DYNA analiz sonuçları ile oldukça uyumlu olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3 ve 4). Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde de çarpışma testinde oluşan kuvvet (MN) ve enerji değerleri (MJ) ile bu sırada oluşan yaralanma derinliği değerlerinin aynı koşullar altında gerçekleşen analiz sonuçları ile uyum içinde olduğu saptanmıştır (Şekil 3 ve 4).

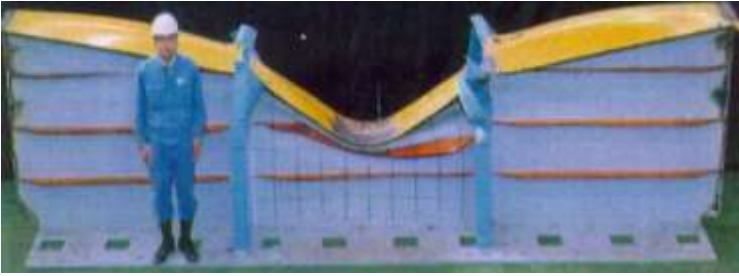
2.2 ASIS (1993)-Serbest Düşme Deneyinin Doğrulaması

Bu çalışmaya konu olan diğer bir deney ise ASIS tarafından 1993’de yapılan ve serbest düşmeye bırakılan bir yumrubaşın basit bir konstrüksiyona çarpması sonucunda gerçekleşen deformasyon testidir (Şekil 5 ve 6).

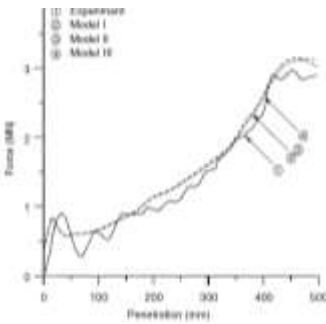


Şekil 5. a. Test öncesi

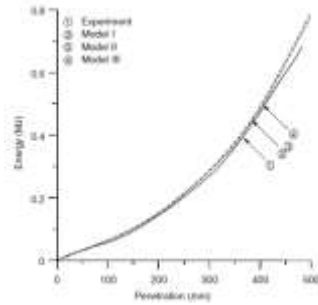
b. Test sonrası (Paik, 2010)



Şekil 6. Deney sonucunda oluşan deformasyon (Paik, 2010)



Şekil 7. ASIS a) Kuvvet-Deplasman değişimi
(Paik, 2010)



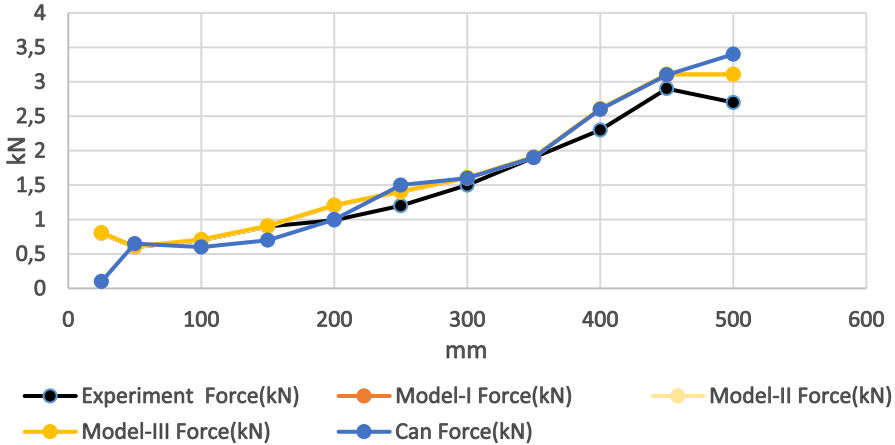
b) Enerji-Deplasman değişimi

Bu teste ait sayısal analizler, farklı sac kalınlıklar için; Test, Model-I, Model-II ve Model-III için tekrarlanmış ve elde edilen kuvvet ve enerji değerleri Şekil 7’de verilmiştir. ASIS testinin bu çalışmada doğrulamasını yapmak amacıyla yumru başa ve konstrüksiyona ait boyutlar ile sac ve profil kalınlıkları Tablo 3’te verilmiştir.

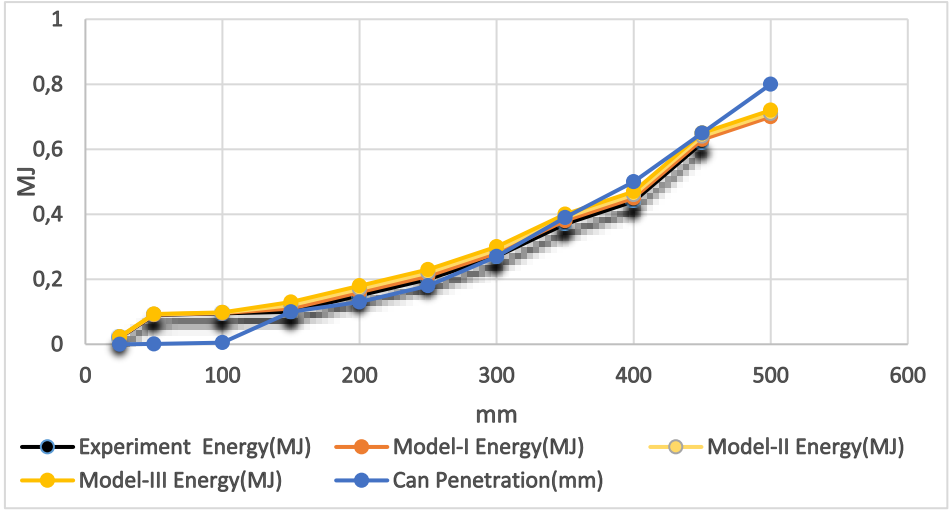
Tablo 3. ASIS test verileri

Borda Yüksekliği (H)	1635
Toplam Uzunluk (L)	6000
Mesnet aralığı (2b)	2000
Sac Genişliği (2a)	450
Sac Kalınlık (t_p)	10
Profil kalınlığı (t_s)	8

Tablo 3’teki verilere göre sac konstrüksiyon modeli hazırlanmış ve yumru baş modelin konstrüksiyona serbest düşmesi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, deney sonuçları ile analiz sonuçlarının tam olarak uyumlu olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 8 ve 9).



Şekil 8. Test ve analizlerden elde edilen kuvvet ve hasar derinliğinin karşılaştırılması



Şekil 9. Test ve analizlerden elde edilen absorbe edilen enerji ve hasar derinliğinin karşılaştırılması

3. ÇARPIŞMA ANALİZLERİ

Gemi konstrüksiyonunda dayanımı sağlayan temel konstrüksiyon elemanlarını sac ve profiller oluşturmaktadır. Bu elemanların darbe doğrultusundaki eksnelere ait atalet momentlerinin yüksekliği, çarpan nesnelere karşı konstrüksiyonun dayanım kabiliyetini arttırmaktadır. Bu tip çelik konstrüksiyonlarda çok önemli olan diğer bir konu sac ve profillerin kaynak işlemidir. Bu çalışmada kaynak yöntem ve işlemlerinin hatasız olduğu ve çarpışma bölgesindeki kaynak dayanım değerinin, sac ve profillerin mukavemet değerlerinin üstünde olduğu kabul edilmiştir.

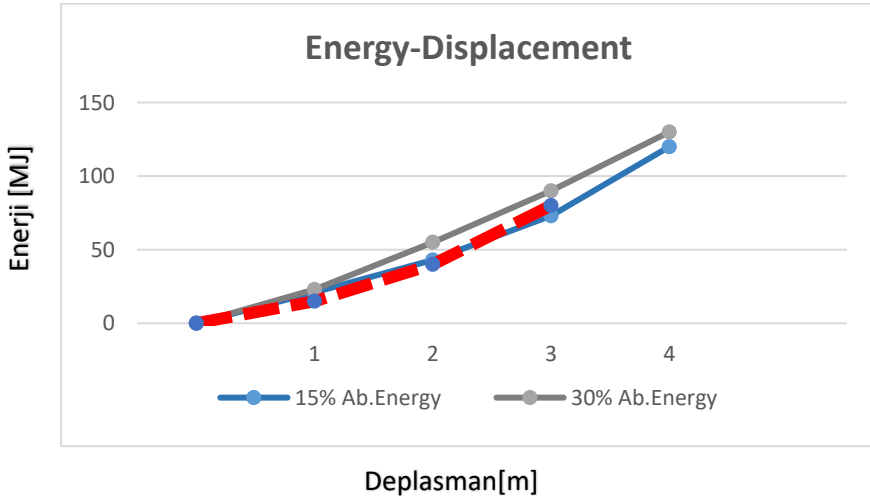
Çarpışma ile çevre felaketinin oluşmasında, çarpan geminin çarpılan geminin bordasına dik çarpması ve böylelikle çarpma yüzeyinin küçülmesi etkili olmaktadır. Çarpılan geminin ise sac ve profil kalınlıkları, kullanılan profillerin sıklığı, yani çarpılan bölgenin ortalama atalet momenti değeri ile malzemenin niteliği kazanın boyutlarını belirlemektedir. Buna göre çarpışmalardan en tehlikelisi, bir geminin diğer bir geminin bordasına dik olarak çarpmasıdır ve analizler de genellikle bu kurgu çerçevesinde gerçekleştirilir.

Gemilerde oluşabilecek potansiyel çarpışma durumları Liu ve Villavicencio (2020) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çarpışmalar

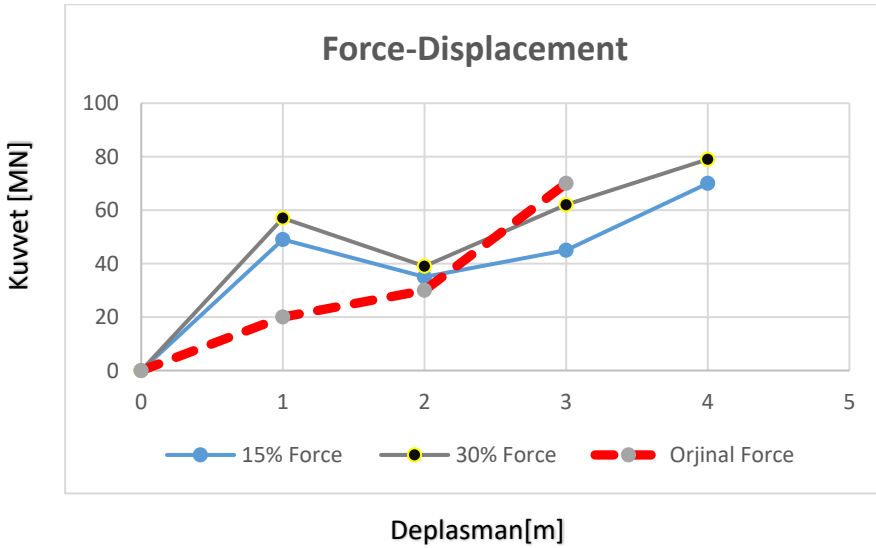
Bu çalışmada, Şekil 10 ve 11’de görülen gövde ve yumrubaş konstrüksiyon kesitlerinin modelleri hazırlanarak, LS-DYNA yazılımında ağ yapıları oluşturulmuştur. Sınır şartları olarak, çarpılan gemi bordası her iki yandan ankastre olarak sabitlenerek, yumrubaşa ilk hız ve kütle tanımlanmıştır. Malzeme, lineer elastik-plastik özellikte kabul edilerek AH36 çeliği seçilmiştir

Gürsel ve Nane (2010) çalışmalarında bir otomobilin çarpışma senaryolarını simüle etmişler ve çarpışma sırasında kapı içine yerleştirilen profilin cidar kalınlığıyla, absorbe edeceği enerji miktarının doğru orantılı olarak arttığını göstermişlerdir. Bu çalışmadan hareketle analizlerin izleyen aşamalarında, çift cidarlı tanker konstrüksiyonunun daha fazla enerji absorbe ederek çarpışmalara karşı dayanımını arttırmaya yönelik olarak sac kalınlıkları iki aşamalı %15 ve %30 oranlarında arttırılmıştır. Bu analizlerde de önceki analizlerde olduğu gibi ağ yapısı, kontak şekli ve sürtünme katsayıları özdeş alınmış ve çarpılan konstrüksiyonun birleşik olarak değerlendirilmesi sağlanmıştır. Analizde en önemli parametrelerden birisi de çarpan yumrubaş modelidir. Bu elemanın rijit olarak işleme girmesi ve standart olması gereklidir. Çarpışmanın nasıl olması gerektiği ile ilgili herhangi bir kural olmasa da burada en tehlikeli kazaya sebep olacak gemi bordasına dikine çarpmalar dikkate alınıp çözümlenmesi yapılmıştır.

Sac kalınlıkları %30 artırıldığında absorbe edilen enerjinin düşük oranda arttığı, fakat sac kalınlığının %15 arttırılması durumunda absorbe edilen enerjinin çok değişmediği saptanmıştır (Şekil 12 ve 13). Dolayısı ile çarpışmaya karşı daha mukavim bir gemi konstrüksiyonunun henüz tasarım aşamasında ayrıntılı olarak planlanmasının gerektiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 12. Çarpışma sırasında absorbe edilen enerji ve oluşan deplasman



Şekil 13. Çarpışma sırasında oluşan kuvvet ve deplasman

4. SONUÇ

Bu çalışmada, literatürden elde edilen gemi çarpışma testleri modellenmiş ve yapılan simülasyonlarda elde edilen analiz sonuçlarının, test verileri ile doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Gemi modellerinin darbe ve çarpışma simülasyonlarında “ANSYS/LS-DYNA” yazılımı kullanılmıştır.

Analizlerde, çarpışma ve darbelerin yoğunlaştığı bir senaryo belirlenmiş ve farklı konstrüksiyonlara sahip gemi bordaları ile çarpışmalar simüle edilmiştir. Son aşamada sac kalınlıkları % 15 ve % 30 artırılarak hazırlanan daha mukavim konstrüksiyonların analizleri yapılmış ve ancak sac kalınlığı % 30 oranında arttığında absorbe edilen enerjinin sınırlı oranda arttığı saptanmıştır. Dolayısı ile çarpışmaya karşı daha mukavim bir gemi konstrüksiyonunun henüz tasarım aşamasında çok daha ayrıntılı olarak ele alınması ve incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

- Gürsel, K. T., Nane, S. N. (2010). Non-linear finite element analyses of automobiles and their elements in crashes. *International journal of crashworthiness*, 15(6), 667-692.
- Lehmann, E., Peschmann, J. (2002). Energy absorption by the steel structure of ships in the event of collisions. *Marine Structures*, 15(4-5), 429-441.
- Liu, B., Villavicencio, R., Pedersen, P. T., & Soares, C. G. (2021). Analysis of structural crashworthiness of double-hull ships in collision and grounding. *Marine Structures*, 76, 102898.
- Paik, J. K. (2007). Practical techniques for finite element modelling to simulate structural crashworthiness in ship collisions and grounding (Part II: Verification). *Ships and Offshore Structures*, 2(1), 81-85.
- Onay, M. G., Pehlivanoglu-Mantas, E., & Martins, F. (2020). Oil spill modeling in East Mediterranean. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(4), 1737-1750.

BÖLÜM 5

TÜRK ARAMA KURTARMA SAHASINDA DENİZ KAZALARI

Dr. Öğr. Üyesi Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU¹

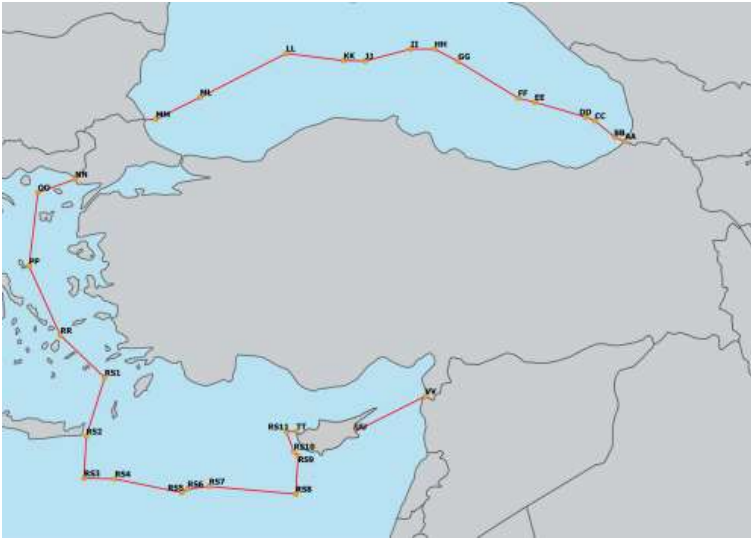
¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye. akucukosmanoglu@mehmetakif.edu.tr. ORCID ID: 0000-0002-7551-1513

GİRİŞ

Ülkemiz ve dünya ticaretinin yaklaşık %80'i denizyolu ile taşınmaktadır. Denizyolu taşımacılığı büyük miktarda yüklerin taşınmasını sağlamaktadır. Denizyolu taşımacılığı; demiryolu taşımacılığına göre 3,5 kat, karayolu taşımacılığına göre 7 kat ve havayolu taşımacılığına göre 22 kat daha ucuzdur (DPT, 2007).

Her taşımacılık sektöründe olduğu gibi denizyolu taşımacılığında da kazalar meydana gelmektedir. Olası bir kaza sonucunda çevresel etkileri azaltmak (Özdemir, 2012) ve kurtarma çalışmalarına acilen başlamak için, ülkeler acil müdahale birimleri oluşturmaktadır (Aşan, 2021).

Ülkemizde acil müdahale birimi, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Denizcilik Genel Müdürlüğü Ana Arama Kurtarma ve Koordinasyon Merkezi'dir. Türk arama kurtarma sahasında (AAKMM, 2022) meydana gelen deniz ve hava kazalarına müdahale edebilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1: Türk Arama Kurtarma Sahası

Türk arama kurtarma sahasında meydana gelen kazalar kayıt altına alınmaktadır. Meydana gelen deniz kazaları kayıt altına alınırken Antalya, Çanakkale, İstanbul, İzmir, Mersin, Samsun, Trabzon ve Uluslararası olmak üzere 8 bölgeye ayrılarak arşivlenmektedir. Çalışmada uluslararası hariç olmak üzere 7 bölge için kaza sayıları elde edilmiştir.

Literatürde İstanbul Boğazı (Otay & Özkan, 2003; Ece, 2021; Erol vd., 2017; Altan & Otay, 2017), Çanakkale Boğazı (İlgar, 2015), ...vb. çeşitli bölgelerde (Kundakçi & Nas, 2018) yapılmış bölgesel kaza analiz ve risk çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmada Türkiye genelinde kaza sayılarının değişimi incelenmiştir.

1. ÇALIŞMANIN VERİ TABANI

Ana Arama Kurtarma ve Koordinasyon Merkezi (AAKKM) tarafından arşivlenen 2001 ile 2010 yılları arasındaki kaza verileri derlenmiştir. Verilere göre 2001 ile 2010 yılları arasında yıllık ortalama ~140 deniz kazası meydana gelmektedir. Meydana gelen deniz kazalarının yıllık ortalama 66'sı İstanbul, ~24'ü İzmir ve ~26'sı Çanakkale Bölgesinde olmuştur (Tablo 1).

Tablo 1: Ülkemizde Meydana Gelen Deniz Kazalarının Bölgelere ve Yıllara Göre Değişimi

Yıllar	Bölgeler							Toplam
	Antalya	Çanakkale	İstanbul	İzmir	Mersin	Samsun	Trabzon	
2001	11	20	41	28	8	11	8	127
2002	7	13	48	16	4	5	0	93
2003	9	22	45	30	4	4	1	115
2004	12	24	67	29	8	3	1	144
2005	7	26	72	27	3	5	6	146
2006	5	16	68	17	6	4	0	116
2007	8	26	54	17	6	3	3	117
2008	13	55	96	19	7	7	1	198
2009	11	22	67	31	6	8	2	147
2010	11	31	105	28	10	7	2	194
Ortalama	9,4	25,5	66,3	24,2	6,2	5,7	2,4	139,7
Yüzde	6,73%	18,25%	47,46%	17,32%	4,44%	4,08%	1,72%	100,0%

Meydana gelen deniz kazalarının bölgelere göre yüzdesel değişimi incelendiğinde ortalama ~%47'sinin İstanbul, ~%18'inin Çanakkale, ~%17'sinin İzmir Bölgesinde olduğu görülmektedir (Şekil 2). Yıllara göre her bölgede meydana gelen deniz kazalarının yüzdesi incelendiğinde deniz kazalarının en az Trabzon Bölgesinde olduğu görülmektedir (Tablo 2). Trabzon Bölgesini sırasıyla Samsun, Mersin ve Antalya Bölgeleri izlemektedir.

2001 ile 2010 yılları arasında meydana gelen deniz kazaları ortalamaları incelendiğinde kazaların yaklaşık %83'nün İstanbul, İzmir ve Çanakkale Bölgesinde olduğu hesaplanmaktadır. Bu durum meydana gelen deniz kazalarının İstanbul, İzmir ve Çanakkale Bölgesinde yoğunlaştığını göstermektedir.



Şekil 2: Deniz Kazalarının Bölgelere Göre Dağılımı

Tablo 2: Ülkemizde Meydana Gelen Deniz Kazalarının Bölgelere ve Yıllara Göre Yüzdesele Değişimi

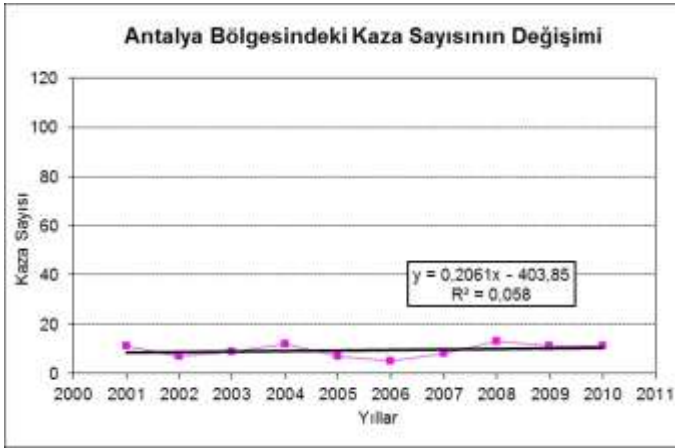
Yıllar	Bölgeler							Toplam
	Antalya	Çanakkale	İstanbul	İzmir	Mersin	Samsun	Trabzon	
2001	%8,7	%15,7	%32,3	%22,0	%6,3	%8,7	%6,3	%100,0
2002	%7,5	%14,0	%51,6	%17,2	%4,3	%5,4	%0,0	%100,0
2003	%7,8	%19,1	%39,1	%26,1	%3,5	%3,5	%0,9	%100,0
2004	%8,3	%16,7	%46,5	%20,1	%5,6	%2,1	%0,7	%100,0
2005	%4,8	%17,8	%49,3	%18,5	%2,1	%3,4	%4,1	%100,0
2006	%4,3	%13,8	%58,6	%14,7	%5,2	%3,4	%0,0	%100,0
2007	%6,8	%22,2	%46,2	%14,5	%5,1	%2,6	%2,6	%100,0
2008	%6,6	%27,8	%48,5	%9,6	%3,5	%3,5	%0,5	%100,0
2009	%7,5	%15,0	%45,6	%21,1	%4,1	%5,4	%1,4	%100,0
2010	%5,7	%16,0	%54,1	%14,4	%5,2	%3,6	%1,0	%100,0
Ortalama	%6,8	%17,8	%47,2	%17,8	%4,5	%4,2	%1,7	%100,0

2. BÖLGELERDE DENİZ KAZALARININ DEĞİŞİMİ

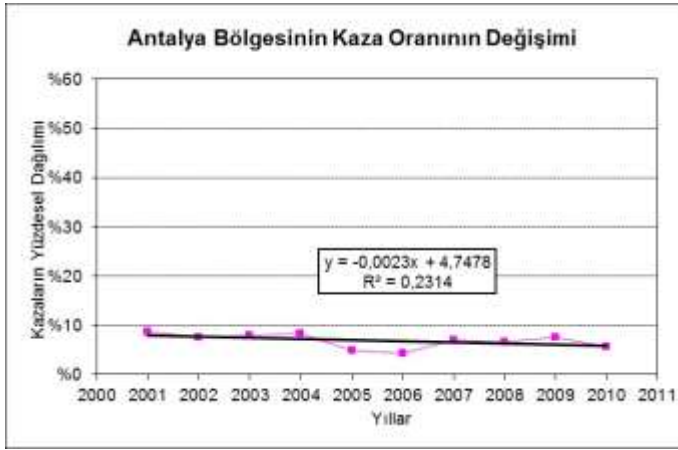
2001 ile 2010 yılları arasında meydana deniz kazalarının her bölge için eğilimleri incelenmiştir. İncelemelerde her bölgedeki kaza sayısı ve yüzdesel değişim eğilimi sunulmuştur. Lineer regresyon eğrilerindeki determinasyon katsayıları ile yıllara göre değişimin regresyon eğrisi ile uyumu gösterilmiştir. Determinasyon katsayısının 1 olması regresyon eğrisinin yıllara göre değişimi tam olarak (%100) temsil ettiğini göstermektedir.

2.1. Antalya Bölgesi Deniz Kazaları Değişimi

2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazalarının ortalama ~9'u, ~%7'si Antalya Bölgesinde meydana gelmiştir. Meydana gelen deniz kazaları regresyon doğrusu ile beraber gösterildiğinde, Mersin Bölgesine benzer şekilde yıllara göre neredeyse değişim görülmemektedir (Şekil 3). Determinasyon katsayısı 0,058 kazaların %5,8'inin lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir. Ayrıca Antalya Bölgesi kaza yüzdesinin diğer bölgeler arasında 2001 ile 2010 yılları için azaldığı görülmektedir (Şekil 4). Antalya Bölgesinde İstanbul, İzmir ve Çanakkale Bölgesine göre deniz trafiği daha sakinidir.



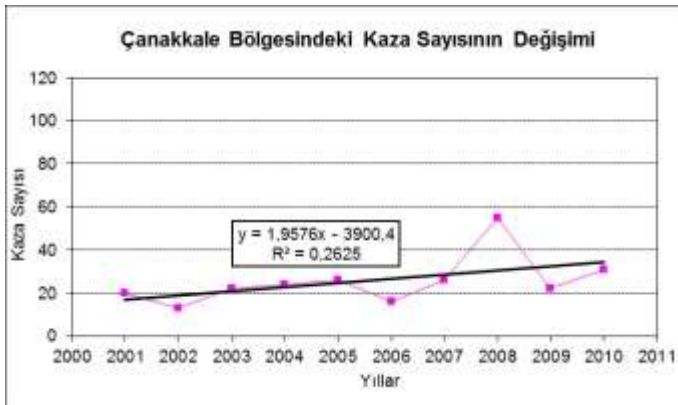
Şekil 3: Antalya Bölgesindeki Kaza Sayısının Değişimi



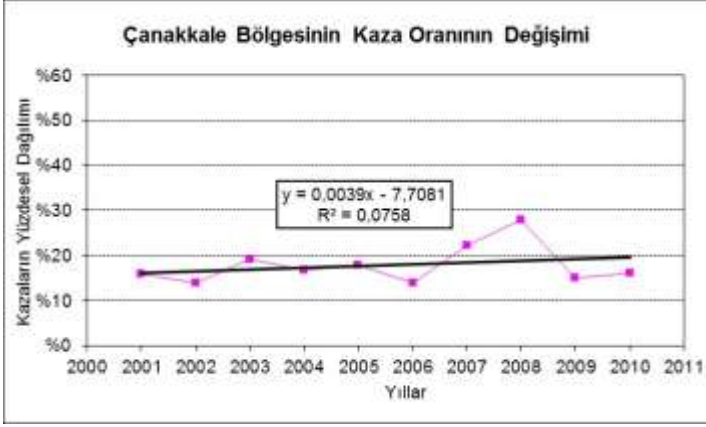
Şekil 4: Antalya Bölgesinin Kaza Yüzdesinin Değişimi

2.2. Çanakkale Bölgesi Deniz Kazaları Değişimi

2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazalarının ortalama ~26'sı, ~%18'i Çanakkale Bölgesinde meydana gelmiştir. Meydana gelen deniz kazaları regresyon doğrusu ile beraber gösterildiğinde, yıllara göre bir artış eğilimi olduğu görülmektedir (Şekil 5). Akdeniz ile Karadeniz arasındaki deniz bağlantısında yer alan Çanakkale Bölgesinde deniz trafiği yoğundur. İkinci yüksek artışa sahip olan bölgede transit deniz trafiği yoğunluğunun etkili olduğu düşünülmektedir. Determinasyon katsayısı 0,263 kazaların %26,3'ünün lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir. Ayrıca Çanakkale Bölgesi kaza yüzdesinin diğer bölgeler arasında 2001 ile 2010 yılları için arttığı görülmektedir (Şekil 6).



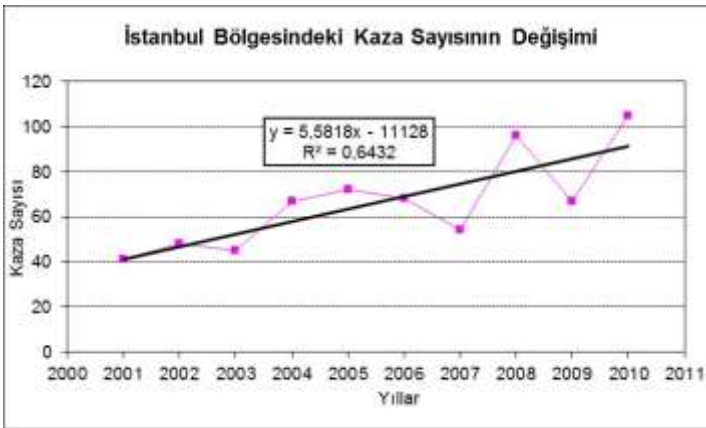
Şekil 5: Çanakkale Bölgesindeki Kaza Sayısının Değişimi



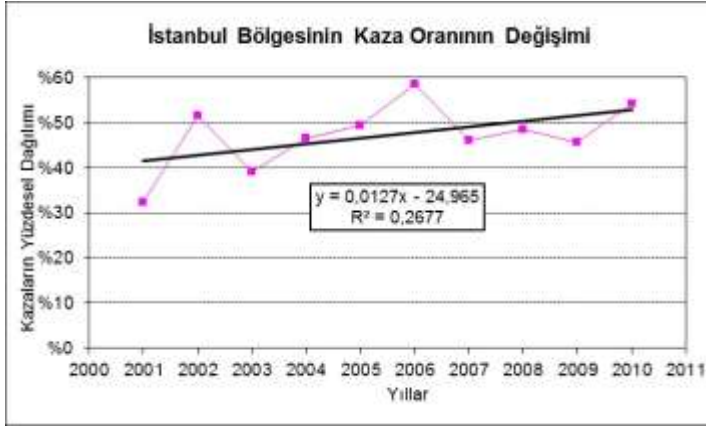
Şekil 6: Çanakkale Bölgesinin Kaza Yüzdesinin Değişimi

2.3.İstanbul Bölgesi Deniz Kazaları Değişimi

2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazalarının ortalama ~66'sı, ~%47'si İstanbul Bölgesinde meydana gelmiştir. Meydana gelen deniz kazaları regresyon doğrusu ile beraber gösterildiğinde, yıllara göre bir artış eğilimi olduğu görülmektedir (Şekil 7). Deniz trafiği açısından diğer bölgelere göre en yoğun olan İstanbul Bölgesinde kaza sayılarındaki artışın fazla olması olasıdır. Determinasyon katsayısı 0,6432 kazaların %64,32'sinin lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir. Ayrıca İstanbul Bölgesi kaza yüzdesinin diğer bölgeler arasında 2001 ile 2010 yılları için arttığı görülmektedir (Şekil 8).



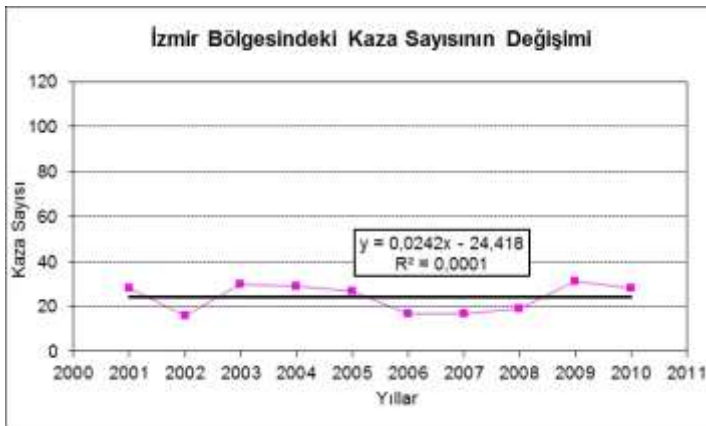
Şekil 7: İstanbul Bölgesindeki Kaza Sayısının Değişimi



Şekil 8: İstanbul Bölgesinin Kaza Yüzdesinin Değişimi

2.4. İzmir Bölgesi Deniz Kazaları Değişimi

2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazalarının ortalama ~ 24 'ü, ~ 17 'si İzmir Bölgesinde meydana gelmiştir. Meydana gelen deniz kazaları regresyon doğrusu ile beraber gösterildiğinde, yıllara göre neredeyse değişim görülmemektedir (Şekil 9). İzmir Bölgesindeki kaza sayısında yıllara göre değişim ortalama değer civarındadır. Bölgenin transit gemilerden etkilenmediği düşünülmektedir. Determinasyon katsayısı 0,0001 kazaların $\%0,01$ 'inin lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir. Ayrıca İzmir Bölgesi kaza yüzdesinin diğer bölgeler arasında 2001 ile 2010 yılları için azaldığı görülmektedir (Şekil 10).



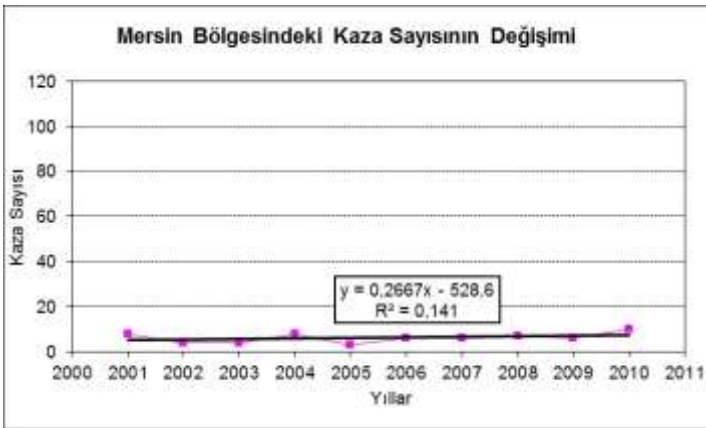
Şekil 9: İzmir Bölgesindeki Kaza Sayısının Değişimi



Şekil 10: İzmir Bölgesinin Kaza Yüzdesinin Değişimi

2.5. Mersin Bölgesi Deniz Kazaları Değişimi

2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazalarının ortalama ~6'sı, ~%4'ü Mersin Bölgesinde meydana gelmiştir. Meydana gelen deniz kazaları regresyon doğrusu ile beraber gösterildiğinde, yıllara göre neredeyse değişim görülmemektedir (Şekil 11). Mersin Bölgesinin Samsun Bölgesine benzer bir şekilde deniz trafiği yoğunluğu azdır ve transit gemilerden etkilenmediği düşünülmektedir. Samsun Determinasyon katsayısı 0,141 kazaların %14,1'inin lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir. Ayrıca Mersin Bölgesi kaza yüzdesinin diğer bölgeler arasında 2001 ile 2010 yılları için neredeyse değişmediği görülmektedir (Şekil 12).



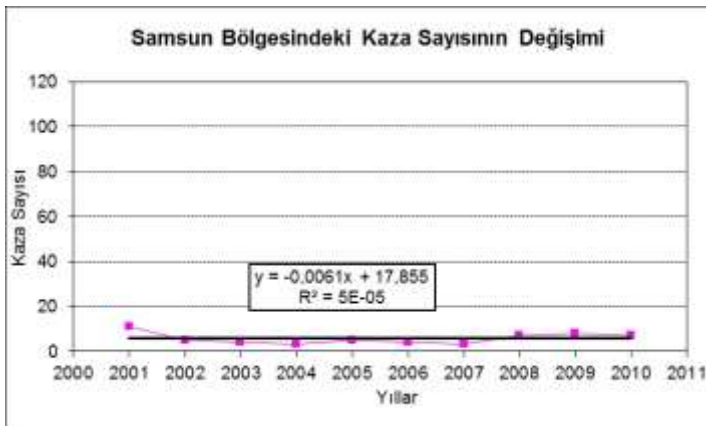
Şekil 11: Mersin Bölgesindeki Kaza Sayısının Değişimi



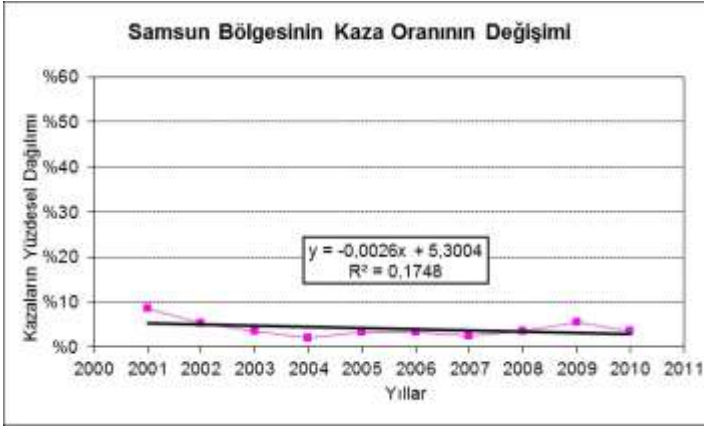
Şekil 12: Mersin Bölgesinin Kaza Yüzdesinin Değişimi

2.6. Samsun Bölgesi Deniz Kazaları Değişimi

2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazalarının ortalama ~6'sı, ~%4'ü Samsun Bölgesinde meydana gelmiştir. Meydana gelen deniz kazaları regresyon doğrusu ile beraber gösterildiğinde, yıllara göre neredeyse değişim görülmemektedir (Şekil 13). Samsun Bölgesinin Mersin Bölgesine benzer bir şekilde deniz trafiği yoğunluğu azdır ve transit gemilerden etkilenmediği düşünülmektedir. Determinasyon katsayısı 0,00005 kazaların %0,005'inin lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir. Ayrıca Samsun Bölgesi kaza yüzdesinin diğer bölgeler arasında 2001 ile 2010 yılları için azaldığı görülmektedir (Şekil 14).



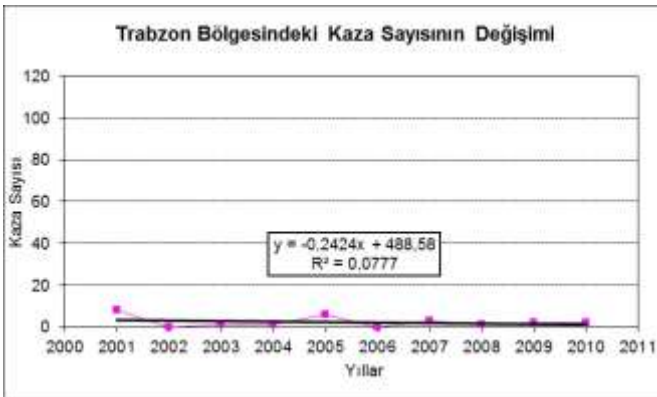
Şekil 13: Samsun Bölgesindeki Kaza Sayısının Değişimi



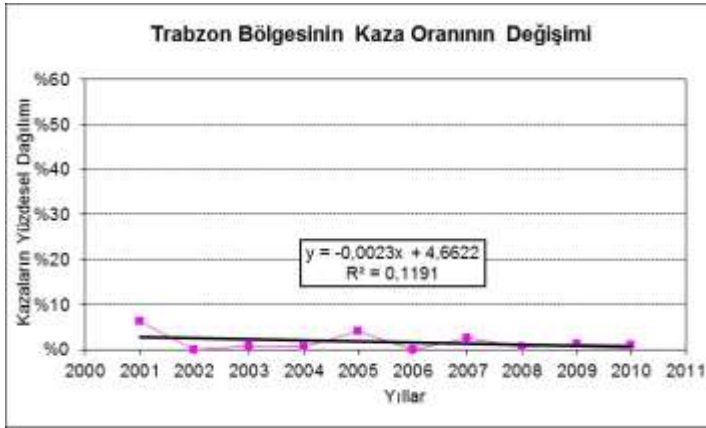
Şekil 14: Samsun Bölgesinin Kaza Yüzdesinin Değişimi

2.7. Trabzon Bölgesi Deniz Kazaları Değişimi

2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazalarının ortalama ~2'si, ~%2'si Trabzon Bölgesinde meydana gelmiştir. Meydana gelen deniz kazaları regresyon doğrusu ile beraber gösterildiğinde, yıllara göre neredeyse değişim görülmemektedir (Şekil 15). En az deniz kazası Trabzon Bölgesinde görülmektedir. Trabzon Bölgesinin Doğu Karadeniz'de yer aldığı göz önüne alınırsa transit gemi trafiğinden etkilenmemesi beklenmektedir. Determinasyon katsayısı 0,0777 kazaların %7,77'sinin lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir. Ayrıca Trabzon Bölgesi kaza yüzdesinin diğer bölgeler arasında 2001 ile 2010 yılları için azaldığı görülmektedir (Şekil 16).



Şekil 15: Trabzon Bölgesindeki Kaza Sayısının Değişimi



Şekil 16: Trabzon Bölgesinin Kaza Yüzdesinin Değişimi

2.8. Toplam Deniz Kazaları Değişimi

Ana Arama Kurtarma ve Koordinasyon Merkezi tarafından arşivlenen 2001 ile 2010 yılları arasında ortalama ~140 deniz kazası meydana gelmiştir. Meydana gelen deniz kazaları regresyon doğrusu ile beraber gösterildiğinde, yıllara göre bir artış eğilimi olduğu görülmektedir (Şekil 17). Determinasyon katsayısı 0,4771 kazaların %47,71'inin lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir.



Şekil 17: Ülkemizde Arşivlenen Kaza Sayısının Değişimi

2001 ile 2010 yılları arasında ülkemizde meydana gelen deniz kazalarında artış görülmektedir. Kazalar arşivlenirken alabora, çatışma, çatma, deniz haydut saldırısı, deniz olayı (kazayla sonuçlanmamış tehlikeli olay), denize adam düşmesi, diğerleri, gemi veya ekipman hasarı, kayıp: kayıp varsayılan, makina arızası, oturma, patlama, sürüklenme, teknede hasar/ su geçirmez bölmelerde hasar, temas, tıbbi tahliye, yan yatma, yangın ve yardım talebi olmak üzere 19 başlıkta (tipte) gruplanmaktadır. Gruplar incelendiğinde bazı tiplerin kaza tanımına uygun olmadığı değerlendirilmektedir. İlerleyen çalışmalarda kaza olarak tanımlanan tiplerin irdelenmesi ve kaza sayısının değişiminin buna göre değerlendirilmesi daha uygun olacaktır.

SONUÇ

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de ithalat ve ihracatın büyük bir kısmı deniz yolu ile taşınmaktadır. Her taşımacılık sektöründe olduğu gibi deniz yolu taşımacılığında da kazalar meydana gelmektedir. Ana Arama Kurtarma ve Koordinasyon Merkezi tarafından arşivlenen 2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazaları incelenmiştir. 2001 ile 2010 yılları arasında ülkemizde ortalama ~140 deniz kazası meydana gelmiştir.

Meydana gelen deniz kazaları kayıt altına alınırken Antalya, Çanakkale, İstanbul, İzmir, Mersin, Samsun, Trabzon ve Uluslararası olmak üzere 8 bölgeye ayrılarak arşivlenmektedir. Çalışmada uluslararası hariç olmak üzere 7 bölge için yıllara göre kaza sayıları bulunmuştur.

2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazalarının ortalama ~9'u, ~%7'si Antalya Bölgesinde, ortalama ~26'sı, ~%18'i Çanakkale Bölgesinde, ortalama ~66'sı, ~%47'si İstanbul Bölgesinde, ortalama ~24'ü, ~%17'si İzmir Bölgesinde, ortalama ~6'sı, ~%4'ü Mersin Bölgesinde, ortalama ~6'sı, ~%4'ü Samsun Bölgesinde ve ortalama ~2'si, ~%2'si Trabzon Bölgesinde meydana gelmiştir (Tablo 1).

Meydana gelen deniz kazaları regresyon doğrusu ile incelendiğinde, Çanakkale ve İstanbul Bölgesinde yıllara göre bir artış eğilimi; Antalya, İzmir, Mersin, Samsun ve Trabzon Bölgesinde neredeyse değişim görülmemektedir.

Ayrıca Antalya, İzmir, Samsun, Trabzon Bölgesi kaza yüzdesinin diğer bölgeler arasında 2001 ile 2010 yılları için azaldığı; Mersin Bölgesi kaza yüzdesinin neredeyse değişmediği; Çanakkale ve İstanbul Bölgesi kaza yüzdesinin diğer bölgeler arasında 2001 ile 2010 yılları için arttığı belirlenmiştir. İstanbul ve Çanakkale Bölgesi transit geçen gemiler ve yerel deniz trafiği yoğunluğu göz önüne alınarak değerlendirilmelidir. Bu bölgelerin kaza yüzdelerinin diğer bölgelere göre artması deniz trafiği yoğunluğu dikkate alındığında beklenen bir sonuç olabilir.

2001 ile 2010 yılları arasında ülkemizde meydana gelen deniz kazası sayısında da artış görülmektedir. Ancak kazalar 19 tipte arşivlenmektedir ve bazı kaza tiplerinin (deniz haydut saldırısı, deniz olayı, denize adam düşmesi,...vb.) kaza tanımına uygun olmadığı değerlendirilmektedir. İlerleyen çalışmalarda kaza olarak tanımlanan tiplerin irdelenmesi ve kaza sayısının değişiminin buna göre değerlendirilmesi daha uygun olacaktır.

KAYNAKÇA

- AAKKM. (2022, May 17). TC Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Denizcilik Genel Müdürlüğü Ana Arama Kurtarma Koordinasyon Merkezi: <https://denizcilik.uab.gov.tr/aakkm> adresinden alındı
- Altan, Y. C., & Otay, E. N. (2017). Maritime Traffic Analysis of the Strait of Istanbul based on AIS data. *Journal of Navigation*, 70(6), 1367-1382. doi:10.1017/S0373463317000431
- Aşan, C. (2021). Türkiye'nin Denizel Çevre Kirliliğine Müdahale Sahaları. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 13(2), 231-246. doi:10.18613/deudfd.1033131
- DPT. (2007). *Denizyolu Ulaşımı Özel İhtisas Komisyonu Raporu*. Ankara: T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı.
- Ece, N. J. (2021). Statistical Analysis of Marine Accidents In The Strait of Istanbul Using Chi-Square Test. *Mersin University Journal of Maritime Faculty*, 3(1), 17-27. doi:10.47512/meujmaf.919762.
- Erol, S., Demir, M., Cetisli, B., & Eyüboğlu, E. (2017). nalysis of Ship Accidents in the Istanbul Strait Using Neuro-Fuzzy and Genetically Optimised Fuzzy Classifiers. *Journal of Navigation*, 71(2), 1-18. doi: 10.1017/S0373463317000601
- Ilgar, R. (2015). Çanakkale Boğazındaki gemi hareketliliği ve kaza risk haritasının belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*(65), 1-10. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tcd/issue/21272/228377> adresinden alındı
- Kundakçı, B., & Nas, S. (2018). Mapping Marine Traffic Density by Using AIS Data: An Application in the Northern Aegean Sea. *Polish Maritime Research*, 25(4), 49-58. <https://doi.org/10.2478/pomr-2018-0131> adresinden alındı
- Otay, E. N., & Özkan, Ş. (2003). Stochastic Prediction of Maritime Accidents in the strait of Istanbul. *Proceedings of the 3rd International Conference on Oil Spills in the Mediterranean and Black Sea Regions*, (s. 92-104).
- Özdemir, Ü. (2012). Türkiye'de Gemilerden Kaynaklı Deniz Kirliliğinin İncelenmesi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi* , 1(2), 373-384. <https://dergipark.org.tr/en/pub/buyasambid/issue/29823/320843> adresinden alındı

BÖLÜM 6
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ALANINDA YAPILAN
BULANIK MANTIK ÇALIŞMALARININ İNCELENMESİ

Dr. Özlem ÇOMAKLI SÖKMEN¹

¹ Erzurum Teknik Üniversitesi, Kariyer Planlama Uygulama ve Araştırma Merkezi, Erzurum, Türkiye, ozlem.sokmen@erzurum.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-8765-0038.

GİRİŞ

Günümüz dünyasının gelişen teknoloji ve bilim alanındaki ilerlemelerine uyum sağlamada klasik mantık sistemi zaman içerisinde yetersiz kalmıştır. Bunun sonucunda klasik mantıkla açıklanamayan olay ve durumları değerlendirmek için yapay zeka, yapay sinir ağları ve bulanık mantık gibi kavramlar klasik mantığa alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. İlk kez 1965 yılında Lotfi A. Zadeh'in bilim dünyasına tanıttığı bulanık mantık kavramı kesinliğin net olmadığı belirsizlik durumlarında karşımıza çıkmaktadır (Yaşar vd., 2018). Bulanık mantıkta klasik Aristo mantığının aksine olaylar kesin sınırlarla değerlendirilmez ve sınırlarda bir esneklik payı bulunur. Bu bağlamda karmaşık yapılara sahip olan ve belirsizlik içeren gerçek hayat olaylarını daha iyi yansıtan bulanık mantık kavramının oldukça yaygın uygulama alanı bulunmaktadır. Konulara gerçekçi çözümler sunması nedeniyle gelişen endüstri mühendisliği uygulamalarında da bulanık mantığa dayalı çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada 1992-2023 yılları arasında Web of Science (WOS) veri tabanında endüstri mühendisliği alanında yapılmış olan bulanık mantık çalışmaları bibliyometrik açıdan analiz edilmiştir. Analiz sonucunda endüstri mühendisliğinde yapılan bulanık mantık çalışmalarında en fazla kullanılan anahtar kelimelerin, özetlerde en fazla geçen kelimelerin ve en yaygın kullanılan dillerin hangileri olduğu sorularına yanıt aranmıştır. Bu çalışmaların sayısının en fazla hangi yıllarda artış gösterdiği, en çok hangi dilde yayınlandığı gibi hususlar incelenmiştir. Buna ek olarak ilgili alanda en fazla atıf alan yazar, ülke ve dergilere ilişkin bulgulara erişilmiştir.

1.BULANIK MANTIK KAVRAMI

1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından literatüre kazandırılmasından bu yana sağladığı teorik gelişim ile endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılan bulanık mantık kavramı nesnelere ve değerlere gerçeğe daha yakın ve daha uygun olarak betimlemeyi amaçlamaktadır. Bulanık mantık kelimeler aracılığı ile matematiksel hesaplamalar yapabilme imkânı sunmaktadır (Zadeh, 1998). Klasik mantık evet-hayır, doğru-yanlış, 0-1 gibi kesin değerlerle ifade edilmektedir. Ancak bulanık mantıkta klasik mantığın aksine kesin tanımlamalar yerine bu tanımlamalara ait olma miktarlarını gösteren 0 ile 1 arasında değişen üyelik değerleri kullanılmaktadır. Bu şekilde bulanık mantık olayları ve ilgili sonuçları yaklaşık değerlerle ifade edebilme imkanı sağlamaktadır. Bu sayede doğru ve yanlış kavramlarına ek olarak bulanık

mantık kısmen doğru ve kısmen yanlış kavramları da hesaba katmakta ve betimlemenin bant genişliği artırılmaktadır (Buckley, 1985).

Zadeh'e göre bulanık mantığın temel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Keskenler ve Keskenler, 2017):

- Bulanık mantık net değerler değil yaklaşık değerler kullanılır.
- Bulanık mantıkta değerler $[0-1]$ aralığındaki bir üyelik derecesi ile ifade edilir.
- Bulanık mantıkta bilgiler az, orta, büyük, çok büyük gibi sözel ifadeler şeklindedir.
- Bulanık mantık matematiksel olarak karmaşık olan sistemler için oldukça uygundur.
- Mantıksal sistemlerin tümü bulanık olarak ifade edilebilir.

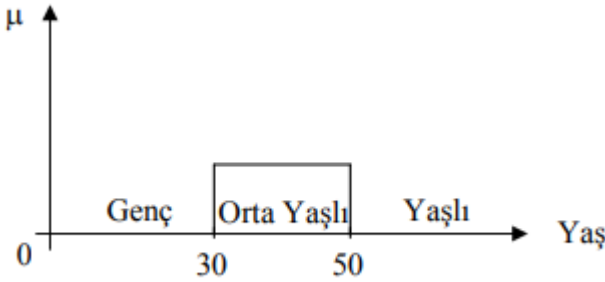
1.1. Bulanık Küme Teorisi ve Üyelik Fonksiyonları

Aristo mantığının üzerine inşa edilen klasik küme yaklaşımında, bir kümeye ilişkin elemanın üyeliği keskin değerlerle ayrılarak elemanın kümeye aitliği ya da ait olmama durumu şeklinde değerlendirilmekte ve bundan farklı olan alternatiflerin tümü yok sayılmaktadır. Keskin sınırlarla ayrılan klasik küme teorisinin aksine bulanık kümeler ise üyeliğinin kademeli olarak değerlendirilmesine izin vermekte ve gerçek hayatla ilgili birçok problem türünde olduğu gibi kümeye ait olma dereceleri ile ifade edilmektedir. Zadeh (1965) çalışmasında klasik sistem kuramının matematiksel yöntemlerinin özellikle işin içine insanları alan gerçek dünyadaki karmaşık sistemlerle uğraşırken yetersiz kaldığını ifade ederek kesin olmayan sınırlara sahip nesnelere oluşturduğu bulanık küme teorisini ortaya koymuştur (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003). Bu teori belirsizlik altında doğru ve tutarlı kararlar alınmasına imkan sağlamakta ve bulanık mantık yardımıyla düşünme ve karar mekanizmalarının modellenmesi ile ilgilenmektedir (Türkbey, 2003). Bulanık küme teorisi sağladığı esneklik açısından klasik küme teorisinden ayrılmaktadır.

Bulanık küme, bulanık mantık teorisinin en temel elemanıdır. Üyelik fonksiyonu ise öğelerin ana kümeye üyelik seviyesini belirlemektedir. Evrensel kümede tanımlanan A bulanık kümesinde üyelik $\mu_A; \mu_A : E \rightarrow [0,1]$ olarak tanımlanır. Bu bulanık A kümesindeki bir x elemanı için üyelik derecesi $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in E\}$ olarak gösterilir (Zimmermann, 2001). En

çok kullanılan üyelik fonksiyonları arasında üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları sayılabilir.

Örnek olması açısından yaş kavramını dikkate alabiliriz. Şekil 1’de 0-30, 30-50 arasında yaşlar ve 50 üzeri yaşlar sırasıyla genç, orta yaşlı ve yaşlı grubunda tanımlanmıştır. Bu durumda keskin kümelerde 29.5 yaşındaki bir birey genç olarak tanımlanırken; 30.5 yaşındaki orta yaş sınıfına dahil olmaktadır. Hâlbuki bulanık küme teorisinde durum bundan farklı olabilmektedir. (Türkbey, 2003). Bu örnekten hareketle bulanık küme teorisinde aralarında sadece 1 yaş fark bulunan bireyler kesin tanımlarla farklı yaş gruplarına dahil edilmek yerine daha esnek derecelerle betimlenebilmektedir.



Şekil 1: Keskin kümelerde Yaş Örneği (Türkbey, 2003)

Üyelik fonksiyonları, tercihe dayalı ve olanak dağılımları olarak gruplandırılabilir. Bunlardan tercihe dayalı üyelik fonksiyonu, karar vericiden tercih bilgisini alabilmektedir. Olasılık dağılımının bazı özelliklerini taşıyan olanak dağılımı ise olayların olası ortaya çıkışları düşünülerek oluşturulabilir [Lai ve Hwang, 1992]. İlgili literatür incelendiğinde üyelik fonksiyonlarının tespitinde farklı yöntemler kullanıldığı görülmektedir. Bu yöntemler arasında derecelendirme, yapay sinir ağları, sonuç çıkarma ve tümevarım gibi metotlar yer almaktadır [Ross, 2004]. Genellikle üyelik fonksiyonunun seçimi bulanık mantık kavramının öznel yönüdür.

1.2.Dilsel Değişkenler

Karmaşık gerçek hayat durumlarının modellenmesinde kesin matematiksel değerler yetersiz kalabilmektedir. Bulanık mantık karmaşık gerçek hayat olaylarını sayısal değerler yerine insan düşünce sistemine çok daha yakın olan sözel ifadelerle tanımlamaya olanak vermektedir.

Dilsel değişkenler, değerlerin dilsel terimlerle ifade edildiği değişkenler olarak tanımlanabilir [Zimmerman, 2001]. Bir dilsel model, gerçek hayatla alakalı bulanık bilgiye sahip kurallardan oluşmakta ve bilgi tabanına dayalı bir sistemi ifade etmektedir (Yager ve File, 1998).

Dilsel değişken kavramını açıklamak için yaş örneğinden devam edecek olursak yaş kavramı çok genç, genç, orta yaşlı, yaşlı ve çok yaşlı gibi sözcüklerle tanımlanabilen dilsel bir değişkendir. Bu sözel değişkenler yaşın etiketlerini meydana getirmekte ve belirtilen her dönem bir üyelik fonksiyonu ile tanımlanmaktadır. Bu sayede 35 yaşında olan bir kişinin yaşı için üyelik derecelerine göre daha geniş bir skalada değerlendirmeler yapılabilmektedir. Buna göre kesin sonuçlar yerine bu kişi belli oranda genç ve aynı zamanda belli oranda orta yaşlı olarak betimlenebilmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

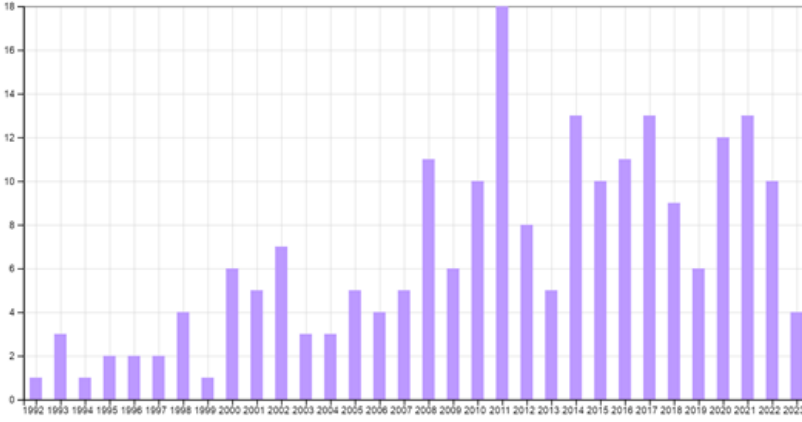
Planlama, modelleme ve insan-makine sistemleri gibi karar verme ile oldukça ilişkili olan endüstri mühendisliğinde bulanık mantık birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alanlara proses ve kalite kontrolü, üretim planlama ve stok kontrolü, yöneylem araştırması, tesis yeri seçimi ve karar algoritmaları örnek olarak verilebilir. Bulanık mantık bu alanlarda sistem karmaşıklığının üstesinden gelmeye olanak tanımaktadır. Bu çalışmada endüstri mühendisliği alanında bulanık mantıkla gerçekleştirilmiş olan çalışmaların bibliyometrik özelliklerinin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla WOS veri tabanından konuyla ilgili kelimeler girildikten sonra elde edilen veriler bibliyometrik analiz ile test edilmiştir. Analizler yapılırken bibliyometrik ağları oluşturmak ve görselleştirmek için VOSviewer yazılım aracı kullanılmıştır.

3.BULGULAR

Çalışmanın bu kesiminde analiz sonuçlarından ulaşılan veriler tablolar halinde sunularak, VOSviewer programı aracılığıyla elde edilen görsellere ilişkin yorumlara yer verilmiştir.

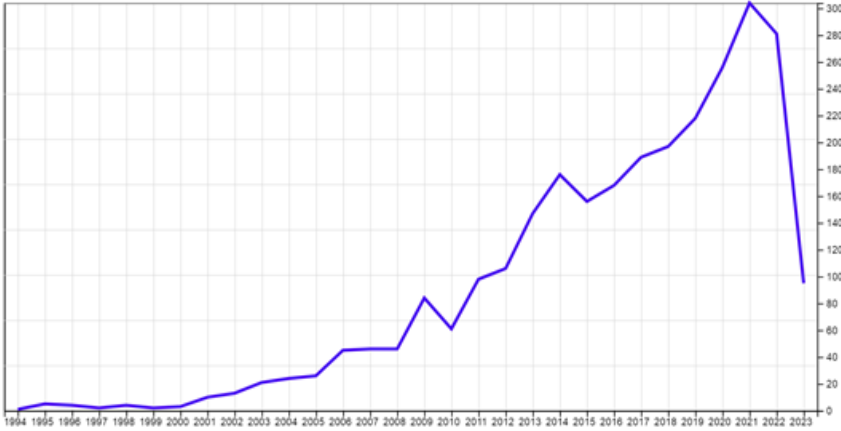
3.1. Yayın Dili, Yayın Yılı ve Yıllara Göre Atıf Sayılarına İlişkin Sonuçlar

Elde edilen çalışmaların İngilizce (f=207), İspanyolca (f=4), Hırvatça (f=1) ve Rusça (f=1) dillerinde yazıldıkları ortaya çıkmıştır. Yıllara göre yapılan çalışmalar Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2: Yıllara Göre Yapılan Çalışma Sayıları

Yayın yıllarına bakıldığında ilk çalışmanın 1992’de olmasına rağmen en çok çalışmanın 2018’de olduğu söylenebilir. Yıllara göre atıflara bakıldığında ise son yıllarda atıfların arttığı söylenebilir. Yıllara göre atıf sayıları Şekil 3’te gösterilmiştir.

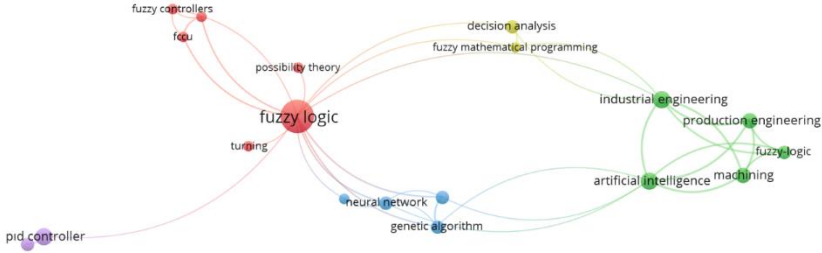


Şekil 3: Yıllara Göre Atıf Sayıları

3.2.En Çok Kullanılan Anahtar Kelimelere İlişkin Sonuçlar

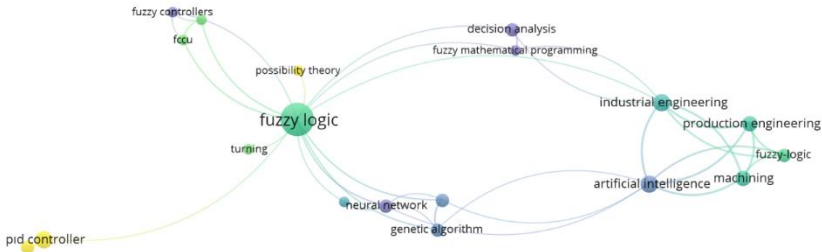
Yapılan analizler sonucunda en çok atıf alan kelimeler ortaya çıkmıştır. Elde edilen harita Şekil 4’ te sunulmuştur. Ağ haritasına göre en fazla fuzzy logic (bulanık mantık) (f=19), artificial intelligence (yapay zekâ) (f=5), industrial engineering (endüstri mühendisliği) (f=5), PID controller

(PID denetleyici) ($f=5$) kelimeleri kullanılmıştır. Yıllara göre en çok kullanılan anahtar kelimelere ilişkin oluşturulan harita ise Şekil 5'te sunulmuştur.



VOSviewer

Şekil 4: Anahtar Kelime Ağ Haritası



VOSviewer



Şekil 5: En Çok Kullanılan Anahtar Kelimelerin Yıllara Göre Dağılımı Ağ Haritası

Şekil 4’te farklı renkteki halkalar ilgili alanda ele alınan konuların gruplandığı kümeler olarak ifade edilebilir. Burada ilk küme olan kırmızı yoğunluğunun fazla olduğu görülmektedir.

3.3.En Çok Atıf Alan Ülkelere İlişkin Sonuçlar

En çok atıf alan ülkeler belirlenerek Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1: Ülkelerin Doküman ve Atıf Sayıları

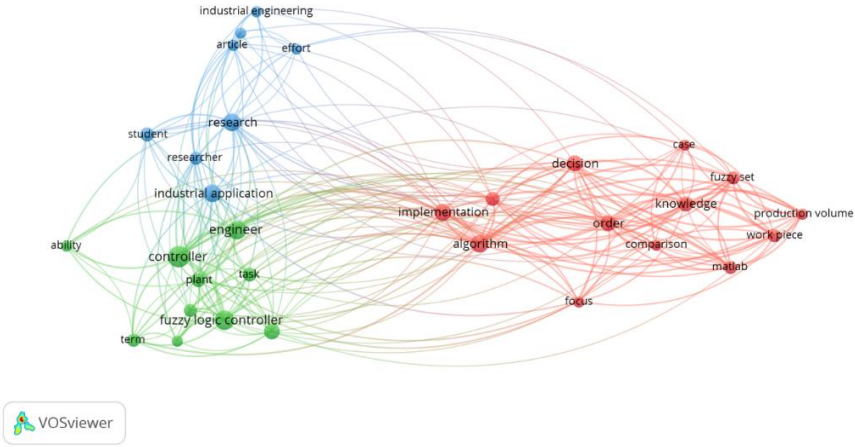
Ülke	Do küman	Atıf Sayısı	Ülke	Do küman	Atıf Sayısı
Yunanistan	2	36	Çin	1	5
Tayvan	2	2	Cezayir	1	4
Amerika	7	2	Kolombiya	2	4
İngiltere	1	2	İspanya	2	4
Kanada	3	5	Romanya	5	3
Hindistan	9	4	Fransa	2	2
Brezilya	1	0	Ürdün	1	2
Meksika	2	8	Portekiz	1	2
Litvanya	1	5	Danimarka	1	1

Tablo 1’den de görüldüğü üzere bu konuda yapılan çalışmalarda en fazla atıf alan ülkeler arasında Yunanistan, Tayvan ve Amerika bulunmaktadır.

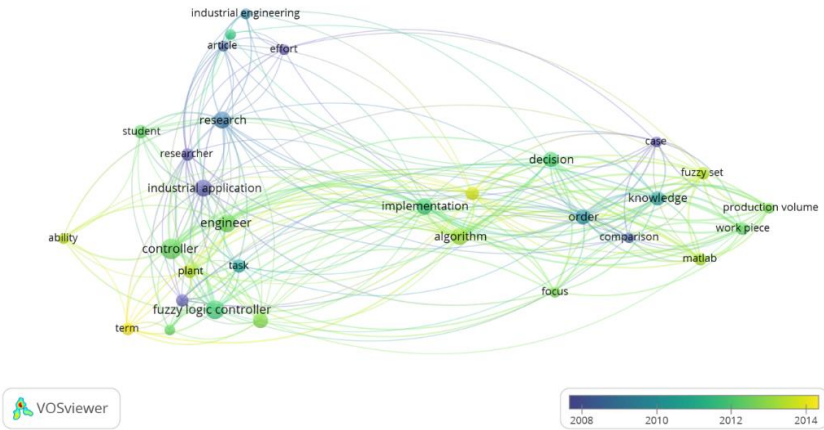
3.4. Özet Kısmında En Çok Kullanılan Kelimelere İlişkin Bulgular

Özet kısmında en fazla sayıda kullanılan kelimeleri belirlemek için analiz yapılmıştır. Buna göre özette kullanılan en çok kelimeler için

oluşturulan harita Şekil 6’da gösterilmiştir. Buna ilaveten özet bölümünde en fazla sayıda kullanılan kelimelerin yıllara göre dağılımı ise Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 6’ya göre özet kısmında en fazla sayıda kullanılan kelimelerin yeşil, kırmızı ve mavi olarak 3 farklı kümede gruplandırıldığı söylenebilir.



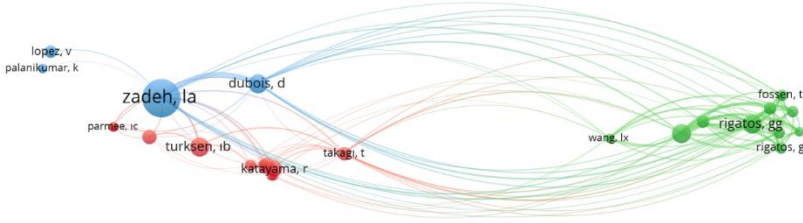
Şekil 6: Özet Kısımında En Çok Kullanılan Kelime Ağı Haritası



Şekil 7: Özet Kısımında En Çok Kullanılan Kelimelerin Yıllara Göre Dağılımı Ağ Haritası

3.5. En Çok Atıf Alan Yazarlara ve Dergilere İlişkin Bulgular

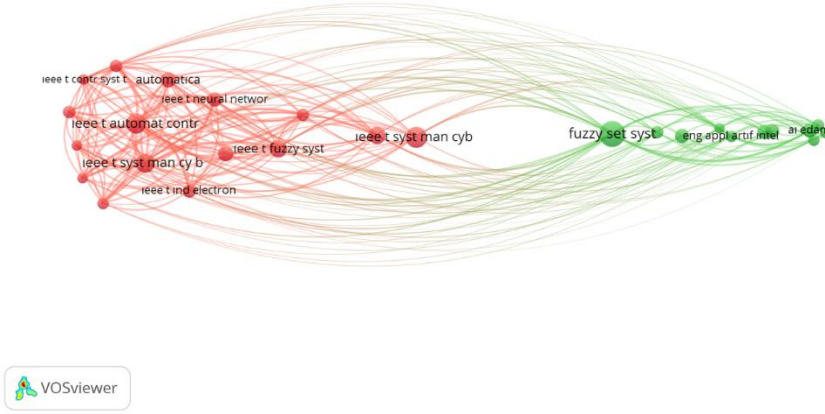
En çok atıf alan yazarları belirlemek için yapılan analizden elde edilen sonuçlara göre en çok atıf alan yazarlar sırasıyla; Zadeh (Citations=57), Rigatos (Citations=15), Dubois (Citations=15), Tzafestas (Citations=14), Turksen (Citations=14), Mamdamı (Citations=10) ve Kayatama (Citations=10) olarak sıralanmıştır. Buna ilişkin VOSviewer programında oluşturulan ağ yapısı Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8: En Çok Atıf Alan Yazar Ağı Haritası (Co-Citation Analysis)

Şekil 8’de her bir halka bir yazara karşılık gelmektedir. Yazar ağı haritasında bulunan daire büyüklükleri yazarlara ait yayın sayısını, daire renkleri yazarların birlikte çalışmalarının olduğunu, daire aralarındaki çizgiler ise hangi yazarların hangi yazarlarla ilişkisinin olduğunu temsil etmektedir (Koca ve Yıldırım, 2020).

Yapılan analiz sonucu en çok atıf alan derginin “Fuzzy Sets and Systems” olduğu ortaya çıkmıştır. En çok atıf alan dergilere ilişkin oluşturulan harita ise Şekil 9’da gösterilmiştir. Şekil 9’a göre en çok atıf alan dergiler toplamda 2 kümede gösterilmektedir. Bunlar kırmızı, ve yeşil kümelerdir.



Şekil 9: En Çok Atıf Alan Dergi Ağı Haritası

SONUÇ

Bulanık mantık yaklaşımı günümüzde ekonomi, psikoloji, tıbbi tahliller, mühendislik gibi birçok alanda geniş uygulama alanı bulmaktadır. Bu alanlar arasında proses kontrolü, üretim çözelgeleme, yapay zeka, yöneylem araştırması vb. gibi başlıca endüstri mühendisliği konuları da yer almaktadır. Bulanık mantık eksik veri ile çalışabilme, değişen şartlara hızlı uyum sağlayabilme, net bir matematiksel model kurulumunu gerektirmeme, gerçek hayat problemlerini daha iyi temsil edebilme gibi avantajlarından ötürü klasik mantığa tercih edilebilmektedir. Ayrıca insan-makine sistemlerindeki insan faktörü ve belirsizlik göz önünde bulundurulduğunda bulanık mantık endüstri mühendisliği alanında güçlü bir araç haline gelebilmektedir. Bu çalışma endüstri mühendisliği alanında yapılan bulanık mantık çalışmalarıyla ilgili genel bir bakış açısı edinmek amacıyla yürütülmüştür. Çalışmadan elde edilen bilgiler ışığında bu alandaki çalışmaların en çok İngilizce dilinde yazıldığı, en fazla çalışmanın 2018 yılında yapıldığı, en çok kullanılan anahtar kelimenin “fuzzy logic” olduğu, en çok atıf alan ülkenin Yunanistan olduğu söylenebilir. Ayrıca en çok atıf alan yazarın bulanık kavramını ortaya atan Zadeh olduğu ve en çok atıf alan derginin ise “Fuzzy Sets and Systems” olduğu analiz sonuçlarından görülebilir. Bibliyometrik analizler sonucunda elde edilen bulguların bu alanda çalışacak olan kişilere rehber olacağı söylenebilir. Ayrıca araştırmacılar en çok kullanılan kelimelerin yıllara göre

dağılımından hareketle bulanık mantığın alanda güncel çalışmaları hakkında fikir edinip çalışmalarına bu doğrultuda yön verebilirler.

KAYNAKÇA

- Buckley, J. J. (1985). Ranking Alternatives Using Fuzzy Numbers, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 15, No. 1, pp 21-31.
- Keskenler, M. F., & Keskenler, E. F. (2017). Bulanık Mantığın Tarihi Gelişimi, *Takvim-i Vekayi*, Vol. 5, No. 1, ss 1-10.
- Kıyak, E., & Kahvecioğlu, A. (2003). Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Vol. 1, No. 2, ss 63-72.
- Koca, G. ve Yıldırım, S. (2020). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Çalışmalarına Yönelik Bibliyometrik Analiz: 2005-2019 Dönemi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Vol. 5, No. 2, ss 257-272.
- Lai, Y. J. ve Hwang C. L. (1992). *Fuzzy Mathematical Programming*, Springer-Verlag.
- Ross, T. J. (2009). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, John Wiley & Sons.
- Türkbeş, O. (2003). Çok Amaçlı Makina Sıralama Problemi İçin Bir Bulanık Güçlü Metod, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Vol. 5, No. 3, ss 81-98.
- Yager, R. R., & Filev, D. P. (1998). *Fuzzy Rule Based Models and Approximate Reasoning*, *Fuzzy Systems: Modeling and Control*. Springer Science+Business Media: New York.
- Yaşar, Z. R., Öksüzkaya, M., & Atan, M. (2018, Ekim, 11-14). Bulanık Doğrusal Programlama ile Optimal Portföy Seçimi. *International Congress of Business, Economics and Marketing*, Kiev, Ukrayna.
- Zadeh, L. A. (1965). *Fuzzy Sets*, *Inform Control*, Vol. 8, No. 3, pp 338-353.
- Zadeh, L.A., 1998. *Commercialism and Human Values*, *Azerbaijan International*, Spring.
- Zimmermann, H. J. (2001). *Fuzzy Set Theory and its Applications*, 4th ed., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.



ISBN: 978-625-367-165-5