



DİSİPLİNLERARASI AKADEMİK ÇALIŞMALAR

EDİTÖRLER

Doç. Dr. Mehmet Sait İZGİ
Doç. Dr. Mehmet Recep MİNAZ
Doç. Dr. Melih KUNCAN



İKSAD
Publishing House

DİSİPLİNLERARASI AKADEMİK ÇALIŞMALAR

EDİTÖRLER

Doç. Dr. Mehmet Sait İZGİ

Doç. Dr. Mehmet Recep MİNAZ

Doç. Dr. Melih KUNCAN

YAZARLAR

Doç. Dr. Mehmet Sait İZGİ

Dr. Öğr. Üyesi Erhan ONAT

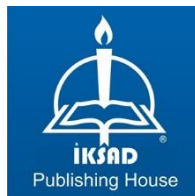
Dr. Öğr. Üyesi Mahmut DURMAZ

Dr. Öğr. Üyesi Selma EKİNCİ

Dr. Mehmet ASLAN

Kübra KAYA

Mustafa EGE



Copyright © 2023 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or
transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical
methods, without the prior written permission of the publisher,
except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other
noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic
Development and Social
Researches Publications®
(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)
TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

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

Iksad Publications – 2023©
ISBN: 978-625-367-498-4
Cover Design: İbrahim KAYA
December / 2023
Ankara / Türkiye
Size= 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

BÖLÜM 1

KARBON KUANTUM NOKTA DESTEKLİ KATALİZÖRÜN SODYUM BORHİDRÜR HİDROLİZİNE ETKİSİ

Doç. Dr. Mehmet Sait İZGİ

Dr. Öğr. Üyesi Selma EKİNCİ.....3

BÖLÜM 2

MISIR KÜSPESİNDEN HİDROTERMAL ÖN İŞLEMLE AKTİF KARBON ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Dr. Öğr. Üyesi Erhan ONAT

Doç. Dr. Mehmet Sait İZGİ.....19

BÖLÜM 3

TURCOVAC COVID-19 AŞISININ ELEKTROKİMYASAL OLARAK MİKTAR TAYİNİN BELİRLENMESİ

Dr. Mehmet ASLAN

Dr. Öğr. Üyesi Erhan ONAT.....37

BÖLÜM 4

BETONARME YAPILARDA MEYDANA GELEN KOLON HASARLARI, NEDENLERİ VE KISA KOLON ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut DURMAZ

Kübra KAYA.....53

BÖLÜM 5

TARİHİ KAGİR YAPILARDA KULLANILAN DUVAR MALZEMESİ VE HARÇLARIN İNCELENMESİ: SİİRT ÖRNEĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut DURMAZ

Mustafa EGE.....69

ÖNSÖZ

Gelişen teknolojik ve bilimsel yenilikler sayesinde her geçen gün farklı alanlarda yeni çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bilimsel yeniliklerin büyük bir çoğunluğunun disiplinlerarası çalışmalar sayesinde ortaya çıktığı görülmektedir. Temel bilimler, mühendislik bilimleri, tıp bilimleri vb. alanlarda hemen hemen hepsinde disiplinlerarası çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Özellikle son zamanlarda bu bağlamda farklı alanlarda güncel çalışmaların hem literatüre hem de bilime önemli ölçüde katkı sağladığından söz edilebilmektedir. Yapılan bu kitap bölümünde de farklı alanlarda mühendislik ve temel bilimlerin bir arada olarak yapılmasının faydalı olacağı hedeflenmektedir.

Kitabın birinci bölümünde, hem temel bilimler hem de mühendislik alanında çok önemli bir alan olan kimya alanı üzerinde olan bir çalışma yapılmıştır. Bu bölümde Karbon Kuantum Nokta Destekli Katalizörün Sodyum Borhidrür Hidrolizine Etkisi incelenmiştir. Çalışmada destek malzemelerinin katalizör sentezinde kullanılmasının, hem daha yüksek katalitik verim hem de maliyet düşürme avantajlarıyla birlikte hidrojen üretiminde ve diğer katalitik reaksiyonlarda da kullanılması gerektiğine inanılmaktadır. Bu çalışma hem bilimsel olarak hem de enerji vb. alanlar açısından beraber düşünüldüğünde önemli bir yere sahip olduğu düşünülmektedir.

Kitabın ikinci bölümünde, uzun yıllardan beri birçok araştırmacı tarafından araştırılmaya devam edilen bir araştırma alanı olan aktif karbon üretimi konusunda bir çalışma yapılmıştır. Bu bölümde Mısır Küspesinden Hidrotermal Ön İşleme Aktif Karbon Üretiminin Araştırılması incelenmiştir.

Kitabın üçüncü bölümünde, yakın zamanda hemen hemen tüm dünyayı etkisi altına alarak salgın bir hastalık olan COVID 19 konusuna ve birçok araştırmacının yakından ilgi gösterdiği AŞI konusunun incelenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu bölümde Turcovac Covid-19 Aşısının Elektrokimyasal Olarak Miktar Tayinin Belirlenmesi incelenmiştir.

Kitabın dördüncü bölümünde, yakın zamanda meydana gelen merkez üssü Kahramanmaraş olan 6 Şubat 2023 tarihinde birçok ilimizi etkileyen depremle önemi bir kez daha ön plana gelen betonarme yapıların incelenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Betonarme Yapılarda Meydana Gelen Kolon Hasarları, Nedenleri ve Kısa Kolon Etkisi incelenmiştir. Ülkemizin birçok bölgesinin fay hattında olması ve yakın zamanda meydana

gelen yıkıcı deprem (06 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık ve Elbistan) Depremleri) ile bir kez daha yapıların incelenmesinin ve detaylı analizlerinin yapılmasının ne kadar önemli olduğu görülmüştür.

Kitabın beşinci bölümünde, tarihi yapı olarak değerlendirilen Kagir yapılarının incelenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Tarihi Kagir Yapılarda Kullanılan Duvar Malzemesi ve Harçların İncelenmesi: Siirt Örneği incelenmiştir.

Bu kitabın hazırlanmasında emeği geçen herkese çok teşekkür eder, faydalı bir çalışma olmasını temenni ederiz.

EDİTÖRLER

Doç. Dr. Mehmet Sait İZGİ

Doç. Dr. Mehmet Recep MİNAZ

Doç. Dr. Melih KUNCAN

BÖLÜM 1

KARBON KUANTUM NOKTA DESTEKLİ KATALİZÖRÜN SODYUM BORHİDRÜR HİDROLİZİNE ETKİSİ

Doç. Dr. Mehmet Sait İZGİ¹

Dr. Öğr. Üyesi Selma EKİNCİ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10401412>

¹ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye, saitizgi@siirt.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-3685-3219

² Batman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Batman, Türkiye, selma.ekinci@batman.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-7835-4832

1. GİRİŞ

Fosil yakıtların zaman içerisinde tükenmesinin yanında enerji kaynağı olarak kullanılan bu yakıtlardan kaynaklanan çevreye zararlı emisyonlar da söz konusudur. Yanmamış hidrokarbonlar, is, kokular, başta sera gazı karbondioksit (CO₂) ve karbon monoksit (CO) gibi zehirli atıklar ekolojik dengenin bozularak insan sağlığını tehdit eden zararlı sonuçları netice vermektedir. Bu şekilde devam etmesi durumunda gelecekte çevre ve enerji sorunlarının üstesinden gelmek için alternatif temiz enerji kaynakları araştırmacıların en çok incelediği konulardan biridir. Hidrojen (H₂) günümüzde üzerinde çalışılan en önemli enerji kaynaklarından biridir (İzgi vd. 2017; Zandalinas vd., 2021). Fosil kaynaklar yerine hidrojenin enerji kaynağı şeklinde kullanılmasını sağlayan sistemlere (PEM) proton değişim membranlı yakıt hücreleri adı verilmektedir. Bu hücrelerde hidrojen sisteme gaz olarak verilir ve eş zamanlı olarak gaz ve elektrik üretilir (Linden ve Reddy 2001).

Diğer alternatif yenilenebilir enerji kaynaklar yerine hidrojenin kullanılmasının en önemli sebeplerinin başında birçok kaynaktan elde edilebilmesidir. Yenilenebilir kaynak dışında hidrojen, fosil kaynaklardan termokimyasal yöntemlerle, sudan ise elektroliz, hidroliz vb. yöntemlerle elde edilebilir. Bir diğer hidrojen üretim yöntemi güneş enerjisinden foto elektrokimyasal olarak, foto biyolojik olarak yeşil alglerden ve bitki dokusundan, kimyasal olarak ise bor bazlı bileşiklerden elde edilebilmektedir. (Tutar ve Ellen, 2011). Hidrojenin enerji kaynağı olarak kullanılmasına ilişkin gereklilikler göz önüne alındığında, birkaç temel soru ortaya çıkıyor. Temel sorunların başında hidrojenin gaz olarak depolanması ve taşınması ve hidrojen yakıt teknolojisinin yüksek maliyetli gelmektedir. Taşıma ve depolama sorunları büyük ölçüde hidrojenin bor bileşiklerinde kimyasal olarak depolanmasıyla çözülmektedir (Schachner ve Demirshi). 2017, Onat 2016, Taşçı 2015). Katalizörü sentezlemek için destek malzemelerinin eklenmesiyle maliyet de önemli ölçüde azalır. (Chia ve ark. 2012)

Sodyum borhidrür, hidrojen depolamak için kullanılan ana bor bileşiklerinden biridir. Sodyum borhidrür, çok miktarda hidrojen depolayabilmesinin yanı sıra, yapısında bulunan hidrojenin mümkün olduğu kadar çoğunu hidroliz yoluyla sudan ayırarak yüksek hidrojen verimi elde edilmesini sağlar. Hidrojen ayrışma reaksiyonu denklem 1 ile verilmektedir.



Denklem 1'de gösterilen reaksiyon hızı, bir katalizör kullanılarak ayarlanabilir. Bu durum, hidrojenin enerji kaynağı olarak kullanılmasında önemli avantajlar sağlamakta, taşıma ve depolama sorunlarını ortadan kaldırmaktadır.

1.1 PEM Yakıt Teknolojisi

Fosil kaynaklı yakıt ve yakılan hidrokarbonlardan dolayı yanıcı maddelerden kaynaklanan hava kirliliği kısa sürede hızla arttı. Fosil kaynaklı yakıtlardan kaynaklanan bu sorununun çözümü için temiz ve yenilenebilir yeni enerji kaynakları geliştirmemiz gerekiyor. Hidrojen tercih edilen yakıt kaynağı olarak kullanılması ve proton değişim membranlı yakıt hücreleri (PEM'ler) aracılığıyla temiz enerji sağlanması, fosil yakıtların neden olduğu çevre sorunlarını ortadan kaldırmaktadır. PEM yakıt hücreleri havadaki hidrojen ve oksijeni kullanır. Kullanımdan sonra çevreye bırakılan atık ürün ise sadece su buharıdır. Sadece bir yan ürün olan su buharı aynı zamanda PEM yakıt hücrelerinde anot yakıtıdır (Zhang, 2008).

Bor bazlı bileşikler, hidrojen üretiminde kullanılan bileşiklerin ana kaynağıdır. Bor türevi bileşikler arasında metal hidrit bileşikleri en çok çalışılan hidrojen kaynağı bileşikleri arasındadır. Bu bileşikler, kontrollü hidrojen üretimi ile kimyasal hidrit hidrolizinin kapsamlı bir şekilde incelenmesine olanak sağlamıştır. Kimyasal hidrürler arasında NaBH_4 'ün teorik hidrojen içeriği ağırlıkça yüzde 0,8'dir. Sodyum borohidrit alkali çözeltilerde yanmaz ve yan ürün geri dönüşümü de dahil olmak üzere birçok avantaja sahiptir. Bu, bir katalizör varlığında NaBH_4 'ün hidrolizi nedeniyle hidrojenin suya kendiliğinden salınması yoluyla gerçekleşir (Chia ve diğerleri, 2012). Denklem 1'de gösterildiği gibi, sodyum borohidrür hem kendi yapısındaki hidrojeni açığa çıkarmakta hem de su yapısındaki hidrojenin geri kazanılmasına olanak sağlamaktadır.

1.2 PEM Yakıt Teknolojisinde Katalizörün Yeri

Genel olarak metal hidritlerden hidrojen üretimi Denklem 1 ile özetlenebilir. Bu reaksiyon bir katalizör tarafından kontrol edilir. Hidrojen ihtiyacının bir reaksiyonla karşılandığını ve bu reaksiyonun bir katalizör

tarafından kontrol edildiğini dikkate aldığımızda, katalizörlerin hidrojen üretiminde ne kadar önemli olduğunu görebiliriz. Literatür taraması sonucu söz konusu ifadelerin ne kadar yerinde olduğunu gösterecektir.

Katalizör yapısında kullanılan metaller incelendiğinde ağırlıklı olarak Rh, Ru, Pd ve Pt gibi değerli soy metallerin kullanıldığı görülecektir. Bu metallerin artan fiyatları nedeniyle yakın zamanlarda Co, Ni, Cu, ve Mn'li metal karışımlarından katalizörler üretilerek verimlerinin artırılması mümkün hale gelmiştir. Katalizör sentezi için kullanılan bir diğer önemli sentez yöntemi ise destekli katalizör sentezi olarak adlandırılan sentezdir (Huynh ve ark. 2013, Özsaçmacı 2016, İzgi ve ark. 2017, Feyiso 2019). Bu son tekniklerin yakın gelecekte enerji kaynağı olarak kullanılan hidrojen oranını artırması bekleniyor.

1.3 Karbon Kuantum Noktacıklar

Karbon kuantum noktalarının (KKN) en belirgin özelliği; kuantum noktacıklarda olduğu gibi pi bağlarındaki elektron geçişlerinden kaynaklı luminesans etkidir. Bu etki karbon kuantum noktacıkların UV ya da diğer dalga boylarındaki ışınlar altında incelenmesine neden olmuştur. Görüntüleme cihazlarının UV ve daha düşük dalga boylarındaki ışınlardan oluşması karbon kuantum noktacıkların özelliklerinin incelenmesini çeşitlendirmiştir. Karbon kuantum noktacıkların bir diğer temel özelliği parçacık boyutunun küçük olmasıdır. Kuantum noktacıkların karbondan üretilmeye başlanmasıyla birlikte kullanım alanı ve inceleme sayısı hızlı bir şekilde artmaya başlamıştır. Çünkü birçok kaynaktan elde edilme ihtimali ve karbon yapısının canlı dokusuna olan uyumu sürecin gelişimini hızlandırmıştır. Bu alandaki gelişmelerin hızlanmasını sağlayan bir diğer temel özellik atık olarak çevreye bırakılan organik maddelerin katma değeri yüksek ürüne dönüşümünün mümkün olmasıdır. KKN keşfinden sonra kullanıldığı ya da kullanılmak üzere incelendiği alanlar; biyotıp alanındaki görüntüleme teknolojisi (Huang ve ark., 2019), yüzey modifikasyonu ile biyosensör teknolojisi (Buk ve Pemble 2019), boyaya duyarlı güneş pilleri (Geleta ve Imae 2021), organik güneş pilleri (Vercelli, 2021), yüksek çözünürlüklü görüntüleme teknolojileri (Guo ve ark., 2022), yenilenebilir enerji teknolojileri (Ghosh ve ark., 2021), süper kapasitör (Xiao ve ark., 2021), foto kataliz (Zhang ve ark., 2016), kataliz (Wang ve ark., 2019) şeklinde sıralanabilir.

Bu çalışma kapsamında KKN destekli katalizör yapısının hidrojen teknolojisindeki etkisini gözlemlemek üzere, oksalik asit kaynaklı KKN larla desteklenmiş kobalt metal atomlarının (Co@CQD) katalizör yapısının SBH hidrolizini katalizleme parametrelerinin ölçülmesi amaçlanmıştır.

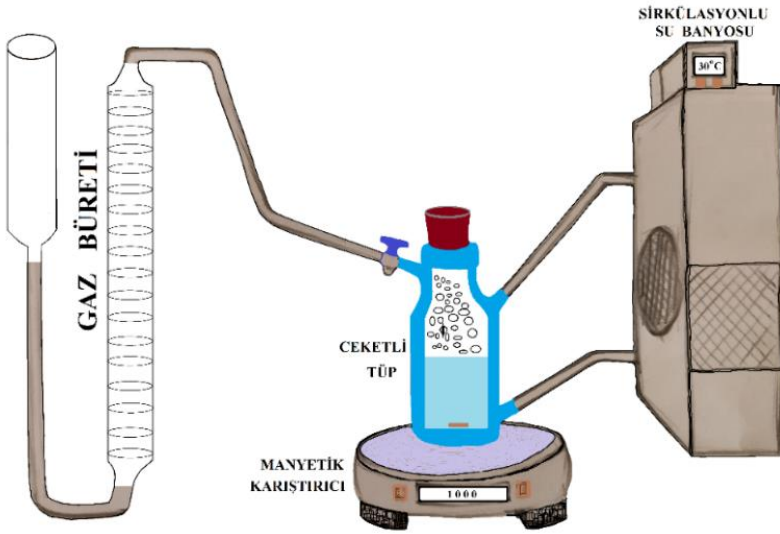
2. YÖNTEM

Araştırmanın bir parçası olarak katalizör sentezinde kullanılan malzemeler. Kimyasallar, fırınlar, dijital hassas teraziler, otoklavlar, nitrojen tüpleri, vakumlu filtreleme ekipmanları, bütretler ve çeşitli cam malzemeler. Sentez tamamlandıktan sonra hidroliz için kullanılan malzemeler. Sirkülasyonlu su banyosu, gaz toplama büreti, kimyasallar, kronometre, hassas terazi ve çeşitli cam ürünlerdir.

Bu çalışma karbon kuantum nokta destekli kobalt (Co) atomlarından oluşan mono atomik, destekli katalizörün hidroliz katalitik tepkimesini konu almaktadır. Çalışma kapsamında karbon kuantum noktacık kaynağı olarak oksalik asit, Co metal atom kaynağı olarak $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle karbon kuantum nokta sentezi gerçekleştirildi. Bu işlem hidrotermal yöntemle yapıldı. Hidrotermal işlem için 25 mL lik otoklava 18 mL saf su ve 15 mmol (1.89 gram) oksalik asit alındı, 180 o C' de 10 saat bekletildi. Daha sonra çözelti adi süzgeç kağıdıyla süzüldü. Süzülen çözelti saf suyla 50 mL ye tamamlandı. Ardından 50 mL saf suda çözünen 3 mmol (0.713 gram) $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tuzu ile hazırlanmış 50 mL çözelti, üre CQD kaynağı çözeltisine oda koşullarında 1-2 saat süreyle damlatıldı. Damlatılma işlemi sonucunda 298 K' de 500 rpm' de çözelti 16 saat süreyle karıştırılarak Co metal atomlarının CQD lara yüklenmesi sağlandı (White ve ark. 2009). Hidrotermal işlem için belirtilen uygulama aynı şekilde solvotermal işlem için de uygulanmıştır. Yükleme işleminin tamamlanmasının ardından 10 mmol (378 mg) NaBH_4 ün oluşturduğu 20 mL çözelti varlığında indirgenme işlemi gerçekleştirilerek Co@CQD katalizörünün sentezi sağlandı. Sentezlenen yapı vakumlu süzme ve azot atmosferinde kurutma işlemleri sonucunda ufalanarak hidroliz deneylerinde kullanılmışlardır.

Hidroliz yoluyla sodyum borohidritten hidrojen üretimini sağlayan deneysel çalışma sistemi görseli Şekil 1'de verilmiştir. Hidroliz deney sistemi, sirkülasyonlu bir su banyosu, bir manyetik karıştırıcı, bir muhafaza borusu, dereceli bir büret ve sıcaklık kontrolü için bağlantı borularından oluşur. Şekilde

gösterilen ceket borusu test ortamı olarak hizmet vermektedir. Belirli değerlerdeki reaksiyonları izlemek için manyetik karıştırıcılar kullanılır. Açığa çıkan H_2 gazını ölçmek için bir gaz büreti kullanılır.



Şekil 1. Hidroliz reaksiyonu için tepkime düzeneği

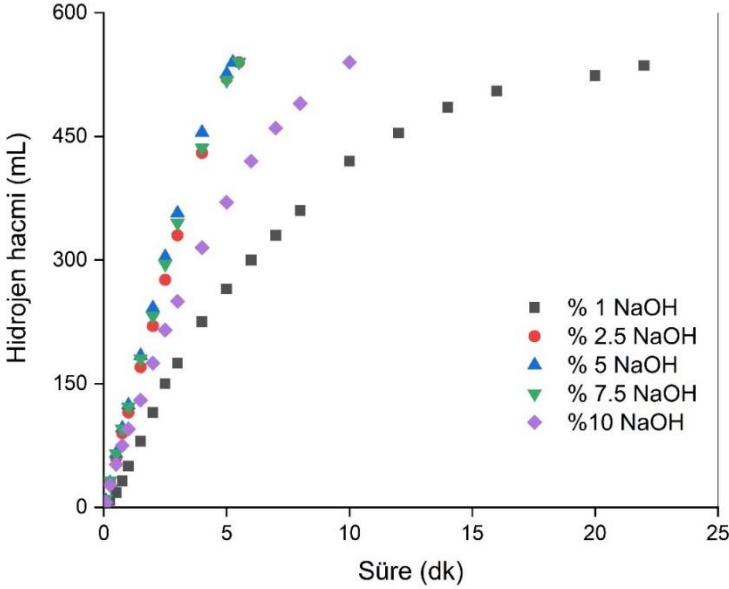
3. BULGULAR

Katalitik reaksiyon için en uygun koşullar, bu çalışmada sentezlenen CQD destekli kokatalizör kullanılarak sodyum borohidrürün hidrolizi sırasında tüm parametrelerin sabit kalması koşuluyla her seferinde bir parametrenin değiştirilmesidir. Değiştirilen bu şartların her biri aşağıdaki gibi olacaktır: Katalizör miktarı, NaOH etkisi, hidrojen kaynağı konsantrasyonu, sıcaklık ve deneysel tekrarlanabilirlik değerleri. Sıcaklık değerinin dikkate alınmasının nedeni sıcaklığa bağlı hidrojen üretim hızının belirlenmesi ve reaksiyonun aktivasyon enerjisinin hesaplanmasıdır.

3.1 NaOH Etkisi

Katalitik bir reaksiyon için en uygun verileri belirlerken dikkate alınan ilk parametre, etkili reaksiyon ortamıdır. Bu çalışmada, sodyum borohidrürün katalitik reaksiyonu için ölçülen birinci parametre, çözeltide ortak iyonlar

içeren ve ayrışmayı olumlu yönde etkileyen sodyum hidroksitinin etkisidir. Sodyum hidroksitinin parametrelerini kütleyle göre araştırdık. Bunlar %1-10 arasındaki NaOH içeren ortamlardır. Bu ortamlardaki hidrojen üretimini gösteren değerlerin grafiği Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 2'de gösterildiği şekilde hidrojen üretimi için en iyi çözelti derişimi %5 NaOH çözeltisi içeren bir ortamdır.

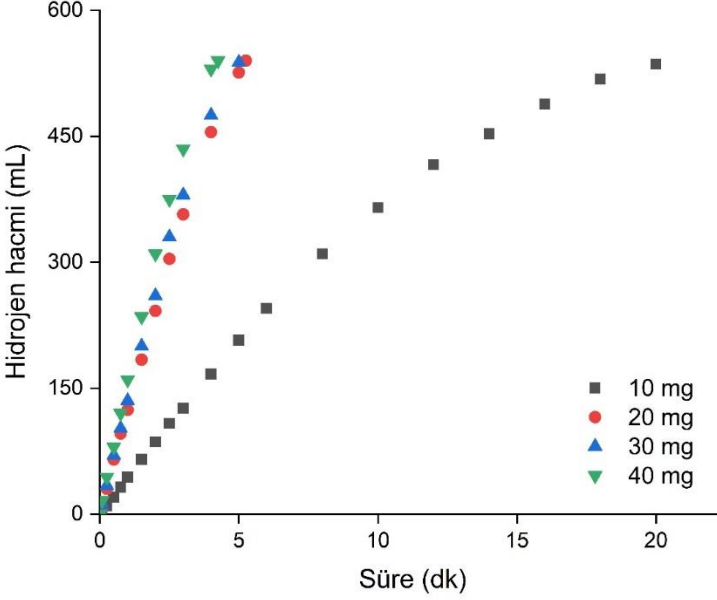


Şekil 4. 25 ° C, 20 mg Co@CQD katalizörü, %2 lik NaBH₄ çözeltisine NaOH etkisi

3.2 Katalizör Miktarı Etkisi

Çözelti derişimi olarak en uygun NaOH konsantrasyon değeri belirlendikten sonra katalizör miktarına göre hidrojen üretmek için hidroliz reaksiyonu gerçekleştirildi. Katalizör miktarının bir fonksiyonu olarak açığa çıkan hidrojen miktarını gösteren bir grafik Şekil 3'te gösterilmektedir. Grafikten görülebileceği gibi, başlangıçtaki hidrojen üretim hızı, katalizör miktarının artmasıyla birlikte arttı. Bu durum hidrojen kaynağına etki eden katalizörün artmasıyla açıklanabilir (Onat ve ark., 2023). Şekilden hidrojenin başlangıç hızının belirli bir değerden itibaren düşmeye başladığını görebiliriz. En iyi katalizör substrat yoğunluğunun 30 mg katalizör kullanılarak elde

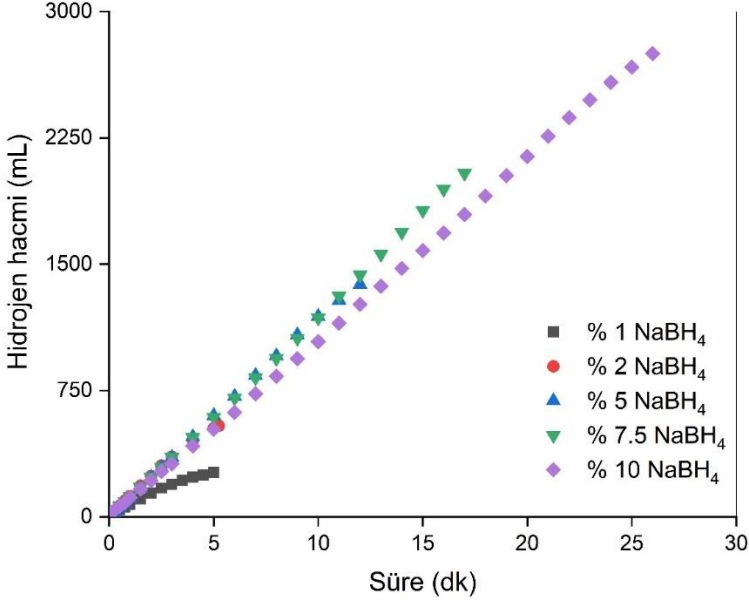
edildiği bulunmuştur. Her katalizör miktarı için ölçülen hidrojen verimi 8084 ml/g.dak'dır.



Şekil 3. 25 ° C, Co@CQD katalizörü, % 2 lik NaBH₄, % 5 NaOH, katalizör miktarı etkisi

3.3 Sodyum Borhidrür (NaBH₄) Konsantrasyonu Etkisi

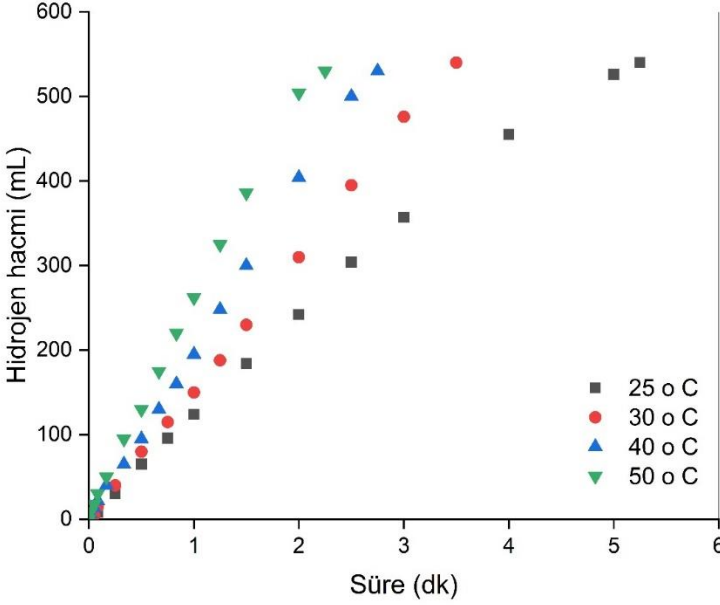
Katalizör miktarını ve çözeltinin NaOH değerini belirledikten sonra, hidroliz reaksiyonunu etkileyen en önemli faktörlerden biri olan substrat konsantrasyonunu belirleyin. Çalışmanın bu aşamasında katalitik etkinliğin en yüksek olduğu substrat konsantrasyonunu belirlemek amacıyla çeşitli NaBH₄ konsantrasyonlarında hidroliz reaksiyonları gerçekleştirilmiştir. NaBH₄'ün kütleli olarak %1 ila 10 arasındaki başlangıç konsantrasyon değerleriyle gerçekleştirilen hidroliz reaksiyonuyla ilişkili hidrojen üretimi, Şekil 4'te gösterilmektedir. Rakamlara baktığımızda en yüksek hidrojen başlama hızına %7,5 sodyum borohidrit kullanıldığında ulaşıldığını görüyoruz. Bu değerle ölçülen başlangıç hidrojen oranı 10140 ml/g.dak'dır.



Şekil 4. 25 ° C, 30 mg Co@CQD katalizörü, %2 lik NaBH₄, % 5 NaOH, NaBH₄ konsantrasyon etkisi

3.4 Sıcaklık Etkisi

Katalitik reaksiyonlar için incelenen en önemli parametrelerden biri sıcaklığın reaksiyon üzerindeki etkisidir. Çalışmamızda Co@CQD katalizörünün farklı sıcaklıklarda çalışılan NaBH₄ hidrolizi üzerindeki sıcaklığın etkisinin grafiği Şekil 5'te gösterilmektedir. Şekil 5'te görüldüğü gibi sıcaklığın artması hidrojen üretimini artırmaktadır. Aktif çarpışma teorisine göre bu durum, sıcaklık arttıkça parçacıkların etkileşimlerinin güçlenmesiyle açıklanabilir.



Şekil 5. 30 mg Co@CQD katalizörü, %2 lik NaBH₄, % 5 NaOH, % 2 NaBH₄ sıcaklık etkisi

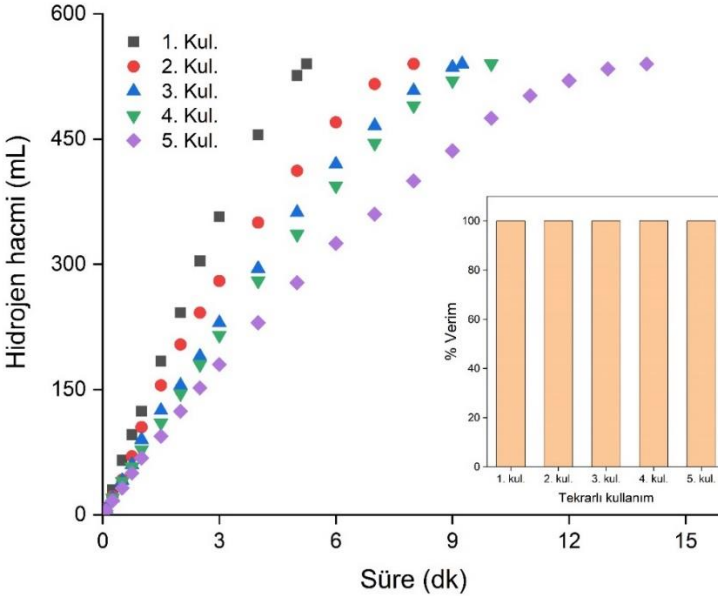
Artan sıcaklıkla birlikte katalizör başına hidrojen üretim hızı incelendiğinde, 25 °C'de 11.160 ml/g.dak olan başlangıç hidrojen oranının 50 °C'de 21.600 ml/g.dak'yı aştığını görüyoruz. Sıcaklık değişimine bağlı ölçülen hidroliz değerlerinden elde edilen parametrelerden biri Arrhenius denklemi kullanılarak belirlenen tepkime aktivasyon enerjisidir. Katalitik NaBH₄ tepkimesinden hidrojen üretim hızı sıcaklık ilişkisi aşağıdaki Arrhenius denklemi (Denklem 2) ile ifade edilebilir:

$$\ln k = \ln A - E_a / RT \quad (2)$$

Bu gösterimde R evrensel gaz sabitidir (8,314 kJ K⁻¹ mol⁻¹), k hız sabitidir (min⁻¹), yine A ile gösterilir ve Arrhenius katsayısı olarak bilinen bir sabittir. T mutlak (K) sıcaklıktır. Şekil 5'te elde edilen verilere göre lnk'ye karşı 1/T grafiği oluşturulduğunda elde edilen eğim değeri denklem 2 ile verilen Arrhenius denklemine yazılır ve reaksiyonun aktivasyon enerjisi (E_a) 27,97 kJ/mol olur.

3.5 Katalizörün Tekrarlı kullanımı

Katalitik reaksiyonların önemli parametrelerinden biri katalizörün tekrar tekrar kullanılmasıdır. Bu çalışmada, sentezlenen Co@CQD katalizörleri üzerinde sodyum borohidrit hidrolizinin tekrarlı uygulamasını araştırdık. Tekrarlanan uygulamalar için, hidroliz işlemi sonrasında çözeltinin sıvı kısmının %90'ı başka bir kaba aktarılmış ve katalizör yapısının tamamen çökmesi beklendikten sonra taze hidrojen kaynağı eklenmiştir. Böylece katalizörün kullanımı art arda beş kez tekrarlandı. Tekrarlanan kullanımdan sonraki hidroliz verileri Şekil 7'de gösterilmektedir. Rakamlara baktığımızda beşinci kullanımdan sonra %100 verim elde edildiğini görüyoruz. Bu, katalizörün tekrarlanan kullanımdan sonra bile aktif kaldığı anlamına gelir. Tekrarlanan kullanımla performanstaki hafif düşüş, metaborat yapısının katalizörün aktif yüzeyini kaplayarak lokal deformasyona neden olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 7. Katalitik hidroliz tepkimesi katalizör tekrarlı kullanım verileri

4. SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu çalışmada Co@CQD katalizörünün sodyum borohidrürün hidrolizi üzerindeki etkisini belirledik. Hidroliz reaksiyonu 313 K'de gerçekleştirildi, optimal çözünme ortamı %5 NaOH ve optimal katalizör miktarı 30 mg idi. En iyi NaBH₄ konsantrasyonu ağırlıkça %7,5 NaBH₄ idi. Bu değerlerle ölçülen en iyi hidrojen oluşum hızı 14848'dir. Bu sonuçlar, CQD malzemelerinin literatürde kullanılan birçok destek malzemesine kıyasla yüksek katalitik etkinlik sağladığını açıkça göstermektedir (Li ve diğerleri, 2022; Shi ve diğerleri, 2019).). Kinetik çalışmalar reaksiyonun sıfır dereceli olduğunu ve aktivasyon enerjisinin 27,97 kJ/mol olduğunu göstermektedir. Destekli katalizör sentez yöntemleri, katalizör sentezi için son zamanlarda kullanıma girmiş olup, avantajları nedeniyle gelecekte de yaygın olarak kullanılması beklenmektedir. Destek malzemelerinin katalizör sentezinde kullanılmasının, hem daha yüksek katalitik verim hem de maliyet düşürme avantajlarıyla birlikte hidrojen üretiminde ve diğer katalitik reaksiyonlarda da kullanılması gerektiğine inanılmaktadır. CQD'lerin destek materyali olarak kullanılması bu çalışmada öncüdür. CQD'lerin destek malzemeleri olarak kullanılması, hem hidrojen üretimi araştırmalarında hem de diğer katalitik işlemlerde yüksek katalitik verim elde etmek için değerlendirilmiştir. Organiklerin CQD kaynağı olarak kullanılması, araştırılan teknoloji yelpazesinin genişlemesini temsil etmektedir.

KAYNAKLAR

- Buk, V., and Pemble, M. E., 2019. A highly sensitive glucose biosensor based on a micro disk array electrode design modified with carbon quantum dots and gold nanoparticles. *Electrochimica Acta*, 298, 97-105.
- Chia-C. S. , Ming-C. L. , Shu-L. W. Yao-H. H. 2012. Ruthenium immobilized on Al₂O₃ pellets as a catalyst for hydrogen generation from hydrolysis and methanolysis of sodium borohydride: 2, 2073-2079
- Feyiso, j.E. 2019. “*Bor minerallerinden PEM yakıt pili uygulamaları için sodyum borhidrür sentezi ve karakterizasyonu*” Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Samsun.
- Geleta, T. A. and Imae, T., 2021. Nanocomposite photoanodes consisting of p-NiO/nZnO heterojunction and carbon quantum dot additive for dye-sensitized solar cells. *ACS Applied Nano Materials*, 4(1), 236-249.
- Ghosh, D., Sarkar, K., Devi, P., Kim, K. H., Kumar, P., 2021. Current and future perspectives of carbon and graphene quantum dots: From synthesis to strategy for building optoelectronic and energy devices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110391.
- Guo, H., Liu, Z., Shen, X., Wang, L., 2022. One-Pot Synthesis of Orange Emissive Carbon Quantum Dots for All-Type High Color Rendering Index White Light Emitting Diodes. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 10(26), 8289-8296.
- Huang, C., Dong, H., Su, Y., Wu, Y., Narron, R., Yong, Q., 2019. Synthesis of carbon quantum dot nanoparticles derived from byproducts in bio-refinery process for cell imaging and in vivo bioimaging. *Nanomaterials*, 9(3), 387.
- Huynh, K., Napolitano, K., Wang, R., Jessop, P.G., Davis, B.R. 2013. “*Indirect hydrolysis of sodium borohydride: Isolation and crystallographic characterization of methanolysis and hydrolysis by-products*”, *international journal of hydrogen energy* 38:5775-5782
- İzgi, M.S., Şahin, Ö., Onat, E., Horoz, S., 2017. “*Metanolde sentezlenen Co-B katalizörün sodyum hidrolizi üzerine etkisi*”, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(4): 151-160.

- İzgi, M.S., Şahin, Ö., Onat, E., Horoz, S., 2017. “*Effect of Co-B Catalyst Synthesized in Methanol on the Hydrolysis of Sodium Borohydride*”, *Journal of the Institute of Science and Technology*,04(07), 151-160.
- Li, R., Zhang, F., Zhang, J., Dong, H. 2022. Catalytic hydrolysis of NaBH₄ over titanate nanotube supported Co for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(8), 5260-5268.
- Linden, D., Reddy, T.B. 2001. “*Handbook of Batteries and Fuel Cells*”, Third Edition, McGraw-Hill Publishing Company.
- Onat, E. 2016. “*Farklı Şartlarda Katalitik Aktivitesi Artırılan Co-B, Co-Ti-B, Ni-B Katalizörleri Varlığında Sodyum Borhidrür Hidrolizinin İncelenmesi*”, Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi, Kimya Anabilim Dalı, Bitlis.
- Onat, E., Izgi, M. S., Şahin, Ö., & Saka, C. (2023). Highly active hydrogen production from hydrolysis of potassium borohydride by caffeine carbon quantum dot-supported cobalt catalyst in ethanol solvent by hydrothermal treatment. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Özsaçmacı, G. 2016. *Tekli, çoklu ve bimetalik katalizörler ile borhidrür bileşiklerinin parçalanması*” Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Çorum.
- Shi, L., Xie, W., Jian, Z., Liao, X., ve Wang, Y. 2019. Graphene modified Co–B catalysts for rapid hydrogen production from NaBH₄ hydrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(33), 17954-17962.
- Taşçı, K. 2015. “*Sodyum borhidrür (NaBH₄) temelli hidrür kompozitlerin hazırlanması ve hidrojen depolama özelliklerinin incelenmesi*”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Tutar, F, Eren, M.V. 2011. “*Geleceğin Enerjisi: Hidrojen Ekonomisi ve Türkiye*”, Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi. Cilt:3, Sayı:6, İSSN:1307-9832,
- Sahiner, N., Demirci, S. 2017. “*Natural microgranular cellulose as alternative catalyst to metal nanoparticles for H₂ production from NaBH₄ methanolysis*”, *Applied Catalysis B: Environmental*, 202: 199-206.

- Vercelli, B., 2021. The role of carbon quantum dots in organic photovoltaics: a short overview. *Coatings*, 11(2), 232.
- Xiao, J., Momen, R., Liu, C., 2021. Application of carbon quantum dots in supercapacitors: A mini review. *Electrochemistry Communications*, 132, 107143.
- Wang, X., Feng, Y., Dong, P., Huang, J., 2019. A mini review on carbon quantum dots: preparation, properties, and electrocatalytic application. *Frontiers in Chemistry*, 7, 671.
- White, R.J., Luque, R., Budarin, V.L., Clark, J.H., Macquarrie, D.J., 2009. *Supported metal nanoparticles on porous materials, Methods and applications*. *Chemical Society Reviews*, DOI: 10.1039/b802654h, 38, 481–494.
- Zandalinas, S. I., Fritschi, F. B., & Mittler, R. 2021. Global warming, climate change, and environmental pollution: recipe for a multifactorial stress combination disaster. *Trends in Plant Science*, 26(6), 588-599.
- Zhang, J. 2008. *PEM Fuel Cell Electrocatalysts and Catalyst Layers: Fundamentals and Applications*, Springer, London.
- Zhang, Z., Zheng, T., Li, X., Xu, J., Zeng, H., 2016. Progress of carbon quantum dots in photocatalysis applications. *Particle & Particle Systems Characterization*, 33(8), 457-472.

BÖLÜM 2

MISIR KÜSPESİNDEN HİDROTERMAL ÖN İŞLEMLE AKTİF KARBON ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Dr. Öğr. Üyesi Erhan ONAT¹

Doç. Dr. Mehmet Sait İZGİ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10401414>

¹ Bitlis Eren Üniversitesi, Organize Sanayi Bölgesi MYO, Elektrik Bölümü, Bitlis, Türkiye, eonat@beu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-1638-0151

² Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye, saitzgi@siirt.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-3685-3219

1. GİRİŞ

Doğada meydana gelen kirlilik canlılara zarar vermektedir. Birçok faktör çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Daha temiz bir gelecek için atık maddelerin kontrol altına alınması gerekir. Atık ürünün çevre ve insan için faydalı bir ürüne dönüştürülmesi, su ve gaz artımında kullanılmasıyla sürdürülebilir bir yaşam için arzulanan en önemli hedeflere ulaşılmış olur. Günümüzde, hızlı sanayileşme, artan ticaret, nüfus artışı ve daha güzel bir yaşam sürdürme talebi tüketimin hızla artmasına sebep olmuştur. Tüketimi artan maddelerin doğaya bırakılması çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Atık maddelerin bir kısmı geri toplanarak farklı şekillerde geri dönüştürülmeye çalışılmaktadır. Fakat bir kısım ağır metal ve boyar maddeler çözünerek başta su kaynakları olmak üzere doğayı olumsuz etkilemektedir. Söz konusu kirleticiler adsorbent adı verilen maddeler aracılığıyla sudan ya da havadan arındırılmaya çalışılmaktadır. Birçok adsorbent türü mevcuttur (Demir ve Yalçın, 2014; Foo ve Hameed, 2009). Bunlar içerisinde aktif karbon, yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve atık ürünün geri dönüşümü ile elde edilmesi gibi avantajları dolayısıyla kullanımı artan en önemli adsorbent olma özelliğindedir.

Son yıllarda, zararlı atıkların oluşturduğu problemin çözümü için birçok alternatif önerilmiş olsa da endüstriyel ölçekte çözüm olacak ve kullanılabilir sınırlı birkaç yöntem kabul edilmiştir. Sulu ortamdan boyarmadde uzaklaştırılması için biyolojik, kimyasal ve fiziksel olmak üzere önerilen çözümler ve yöntemler bulunmaktadır. Önerilen yöntemlerin çoğu yüksek maliyetinden ötürü ve sürdürülebilir olmamalarından dolayı, arıtma alanı için geniş ölçüde uygulanmamaktadır. Özellikle biyolojik yöntemler mikroorganizmaların parçalanması, fungal remediasyon, bakteriyel biyokütle aracılığıyla endüstriyel atıklardan zararlı kimyasalların uzaklaştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak uygulanabilirlik, geniş uygulama alanı gerekliliği, çevre faktörleri ile hızlı etkileşimi ve uygulamadaki esnekliklerinin azlığı nedeniyle kullanımı sınırlı olmaktadır. Kimyasal metotta ise koagülasyon, çöktürme, flokülasyon, elektrokinetik koagülasyon, ileri oksidasyon ve elektroflotasyon gibi yöntemler kullanılmaktadır. Fakat zararlı atıkların uzaklaştırılmasında pahalı ve istenmeyen yan ürünlere sebep olmaktadır. Dolayısıyla ticari olarak geniş bir alanda kullanımı sıkıntılıdır. Fiziksel metotlar için önerilen filtrasyon ve desorpsiyon gibi yöntemler toksik maddelerin atık sularından uzaklaştırılmasında sıkça tercih edilir. Bu yöntemlerin

kullanım ömrünün sınırlı olması ve yüksek maliyet gibi dezavantajları vardır. Araştırılan yöntemler arasında adsorpsiyon ise ekonomik olması ve öncül aşama gerektirmemesi sebebi ile atık suların arıtılmasında öne çıkan alternatif bir yöntemdir (Raman ve ark., 2016; Yagub ve ark, 2014; Mezohegyi ve ark, 2012). En çok tercih edilen ve araştırılan yöntemlerden biri olan adsorpsiyon yöntemi, farklı kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip kirleticileri etkili adsorbentler kullanarak sulu ortamdan uzaklaştırmada yüksek performans göstermektedir. Adsorpsiyon yöntemi, atık sulardan boyarmaddelerin uzaklaştırılmasında yaygın olarak tercih edilen etkili bir yöntem olarak bilinmektedir. Bu yöntem, zararlı kirliliklerinin arıtılması için sıklıkla kullanılmakta olup; aktif karbon, yüksek adsorpsiyon performansı ile en çok kullanılan adsorbentlerden biridir. Aktif karbonun gözenekli olması ve modifikasyona uygun kimyasal yapısı sayesinde yoğun olarak araştırılmaktadır. Fakat, üretim maliyeti, seçiciliğinin az olması, farklı kirleticilere etkin adsorpsiyon performansı göstermemesi gibi çözülmesi gereken problemleri bulunmaktadır. Özellikle çok sayıda araştırmaya konu olan aktif karbon, yüksek adsorpsiyon kapasitesi sebebiyle endüstriyel uygulamalarda su kirleticilerinin sulu ortamdan uzaklaştırılmasında tercih edilen bir adsorbent olmasına rağmen, henüz ekonomik açıdan maliyetli ve adsorpsiyon seçicilik özelliğinin zayıf olması nedeniyle endüstriyel kullanımı sınırlıdır (Yagub ve ark, 2014; Lima, 2018; Liu ve ark., 2010)

Son yıllarda, adsorpsiyon konulu araştırmalarda biyobozunur ve yeşil aktif karbon esaslı adsorbentlerin geliştirilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Sulu ortamda sağlık açısından tehlike yaratan atık maddelerin ekonomik ve güvenli bir şekilde arıtılması için büyük adımlar atılmaktadır. Ancak, bu zararlı kirleticilerin modifiye edilmiş aktif karbon kullanarak maliyetlerini azaltmak, etkisini ve ticari değerini artırmak amacıyla potansiyel ucuz çözümler aranmaktadır. Bu nedenle, ekonomik, seçici, doğa dostu ve yenilenebilir çözümler tercih edilmektedir. Bu aktif karbon esaslı adsorbentlerin düşük maliyetli oluşu, kolay eldesi ve biyobozunur olmaları nedeniyle çevre dostu bir çözüm olarak önerilmiştir. Ayrıca, aktif karbon esaslı adsorbentlerin yapısı, kimyasal ve fiziksel yapısı, farklı modifikasyon yöntemleriyle ayarlanabilir. Bu durum, belirli kirleticilere karşı adsorpsiyon performansını artırarak, seçicilik özelliği ve verimliliğini etkileyebilir. Aktif karbon esaslı adsorbentler, çeşitli tekstil boyarmaddelerin atık sulardan arıtımında başarı elde etmiştir. Sonuç

olarak geleneksel aktif karbon kullanımına alternatif olarak çevre dostu bir anlayışla aktif karbon esaslı adsorbentler geliştirmiş özellikler sunmaktadır. Böylece geniş alanda kullanımı, ekonomik potansiyeli, seçici özelliğinin geliştirilmesiyle, yeşil ve yenilenebilir bir alternatif sunarak su kaynaklarının korunmasında büyük potansiyel sağlayabilir (Yagub ve ark, 214; Mezohegyi ve ark, 2012; Lima, 2018).

Sürdürülebilir bir yaşam için kullanılan maddelerin çevreye olan etkilerinin iyi değerlendirilmesi gerekir. Aksi takdirde çevre kirliliğini netice verecek olumsuz sonuçların karşımıza çıkması kaçınılmazdır. Özellikle su kirleticileri zararları yanında giderilmesinin doğuracağı sıkıntılar göz ardı edilemez. İnsan ve doğa üzerinde birçok olumsuz etkisi olduğu bilinen su kirliliğinin başlıca etmenlerinden bir tanesi de endüstriyel ya da evsel olarak çevreye bırakılan ağır metallerdir. Bu ağır metal kirleticilerin başında; arsenik, kurşun, cıva, krom, nikel, kadmiyum, bakır, demir, çinko gelmektedir (Tran ve ark., 2021; Dermanlı, 2006; Vo ve ark., 2019).

Bildiğimiz gibi ağır metallerin giderilmesi için birçok yöntem ve adsorbent kullanılmaktadır. Bunlar içerisinde aktif karbon özellikle avantajlarıyla dikkat çekmektedir. Bu da aktif karbon kirleticiyi adsorbe etmenin yanında son ürün olarak da çevreye yararlı ürünler elde etmemizi sağlamasından kaynaklanmaktadır. Çünkü aktif karbonun son ürünü karbonizasyon işleminden geçirilerek yalıtımda kullanılabilir hale gelmektedir. Bu da adsorpsiyon işlemi sonucunda sıfır atık hedefine ulaşmamızı sağlar (Akikol, 2005; Baytar, 2015).

Aktif karbon, yüksek yüzey alanı ve yüksek gözenekli yapıda olan; metan ve hidrojen gibi bazı gazları depolamada kullanılan, ayrıca su ve havanın arıtılmasında, gaz karışımlarının saflaştırılmasında yaygın kullanım alanına sahip olan önemli malzemelerdir (Orbak, 2009).

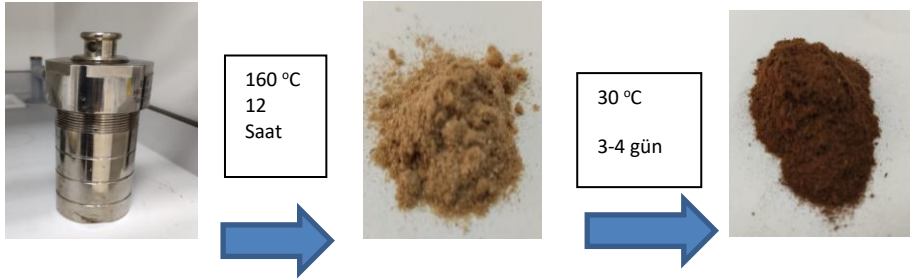
Bu avantajları sayesinde aktif karbonun birçok farklı yöntemle sentezlendiğini görmekteyiz. Bu yöntemlerden hidrotermal yöntem son yıllarda kullanılmaya başlanan ve aktif karbonun gözenek yapısını artırma özelliğine sahip bir yöntemdir. Ayrıca hidrotermal yöntem, uçucu maddeleri ortamdaki uzaklaştırmada etkili bir yöntemdir. Yine aktif karbon üretiminde kullanılan aktifleştiricilerin farklı özellikte olan maddelerden oluşturulduğunu görmekteyiz. En çok kullanılan aktifleştiriciler; $ZnCl_2$, KOH , $NaOH$, H_2SO_4 , H_3PO_4 vb. maddelerdir (Liu ve ark., 2010; Güçlü Aksakal, 2021; Yaslı, 2019).

Bu çalışma tarım atığı olan mısır küspesinin son yıllarda kullanılmaya başlanan hidrotermal ön işleme öncelikle hidroçara daha sonra aktif karbona dönüşümünü konu almaktadır. Çalışma konusu olarak seçilen mısır küspesi kısmen yem yapımında kullanılmaktadır. Fakat en az % 60' ı tarlada atık olarak kalmaktadır. Tarlada kalan atık sonraki ekim döneminde tarlanın sürmesinde, toprağın yeni mahsulle birleşmesinde sorun oluşturmaktadır. Mısır dünyada çokça yetişen bir bitki olmasına rağmen, mısır atığı üzerine yapılan çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. (Jaynes ve ark., 2007; Cheng ve ark., 2017) Mısır atığı olan küspenin sebep olduğu bu sorunların önüne geçmek için tarlada kalan atık anız olarak yakılmaktadır. Anız olarak yakılan maddeler, başta solunum yolu rahatsızlığı bulunan insanlar olmak üzere yaşamı olumsuz etkilemektedir. Anız yakmanın bir diğer olumsuz sonucu topraktaki faydalı bakterilerin zarar görek sonraki dönemde verim düşüklüğünün yaşanmasıdır. Verim düşüklüğü çeşitli kimyasal gübre ya da ilaçlarla aşılmaya çalışılmaktadır. Bu durum organik üründen uzaklaşmamıza neden olmaktadır. Söz konusu anız yakma işlemine cezai işlem olarak para cezası uygulanmasına rağmen toprağın biyolojik dokusuna zarar veren uygulamaların önüne yeterince geçilememektedir.

Bu çalışmada bir taraftan mısır küspesinin sebep olduğu; tarlanın sürülememesi, toprak ve yeni tohumun birleşimindeki engel, yakmaya bağlı sağlık sorunları, yakmaya bağlı topraktaki faydalı bakteri telefı, verim düşüklüğü, kimyasal ilaç ve gübre kullanımı gibi zincirleme sorunlarının önüne geçmek, öte yandan su ve havayı kirleten maddelerin ortamdan uzaklaşmasında kullanılabilecek aktif karbonun organik bir atıktan özgün bir şekilde üretimi amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM

Çalışma kapsamında öncelikle mısır küspesinin küçük boyutlarda parçalanması sağlandı. Bu işlem için tarladan toplanan numune elektronik değirmende ufalandı. Ufalanmış numune saf suyla yıkanarak oda koşullarında kurutuldu. Kurutulmuş atık ürün otoklava alınarak yüksek sıcaklıklarda belirli bir süre hidrotermal işleme tabi tutuldu. Hidrotermal işlemden sonra hidroçara dönüşüm sağlanan numunenin oda koşullarında kurutulması sağlandı (Şekil 1).



Şekil 1. Hidroçar oluşum süreci

Hidroçar üretiminden sonra aktif karbon üretim parametreleri incelendi. Yeterli miktarda hidroçar stoğu sağlandıktan sonra, çalışma kapsamında atık dönüştürme ile beraber adsorpsiyon alanında kullanılma ihtimaline karşılık elde edilen aktif karbonun en iyi aktifleştirme şartları belirlenmiştir. Bunun için öncelikle en iyi aktifleştirici seçimi yapılmış, ardından aktif karbonun adsorpsiyon giderimi incelenmiştir. En iyi adsorpsiyon giderimi için incelenen parametre iyot sayısıdır. En iyi aktifleştirme koşulları için iyot sayısı tayini ASTM D 4607 standardına göre yapılmıştır (Baytar, 2015).

İyot sayısının yüksek olması demek aktif karbonun yüzey alanı etkinliğinin, dolayısıyla adsorpsiyon kapasitesinin yüksek olması anlamına gelmektedir. Bu çalışmada da literatüre uygun şekilde sırasıyla en iyi aktifleştirici (impragasyon) oranı, en iyi fırında bekleme süresi ve en iyi fırın sıcaklığı şartları incelendi.

Aktif karbon üretim süreçleri inert (kimyasal olarak aktif olmayan/tepkime vermeyen) bir gaz olan azot (N_2) ortamında gerçekleştirildi. Aktifleştirme işleminden sonra tutunmayan yapıların ortamdaki uzaklaştırılması için aktifleşmiş numune 3-4 kez saf suyla yıkandı. Yine aktif karbona dönüştürme işleminden sonra elde edilen aktif karbon her numune için önce 100 mL 0,5 M HCl çözeltisi ile yıkandı ardından 5-6 kez kaynar saf suyla yıkandı ve azot gazı altında 60 °C'de kurutuldu (Nunes ve Guerreiro, 2011; Du ve ark., 2021).

İyot sayısına bakma işlemi için hazırlanan 0,1 N iyot çözeltisinin 10 mL' si nişasta indikatörü eşliğinde 0,05 N sodyum tiyosülfat ($Na_2S_2O_3 \times 5H_2O$) titre edilir. Bu şekilde blank olarak ifade edilen iyot giderme değeri belirlenir. Daha sonra 40 mL iyot çözeltisine 0,1 g aktif karbon alınarak 10-15 dakika karıştırılır ve süzülür. Süzüntüden 10 mL iyot çözeltisi alınarak nişasta indikatörü

varlığında sodyum tiyosülfatla tekrar titre edilir. Bulunan sonuçlar Eşitlik 1' de yerine yazılarak iyot sayısı belirlenir. Çalışma kapsamında verilen sıra ile her bir parametre için aynı işlemler uygulanarak iyot sayısı belirleme işlemleri tamamlandı (Yaslı, 2019).

$$\text{İyot sayısı} = \frac{(B-A) \times 127 \times N \times 40}{m \times B} \quad (1)$$

Burada;

A: Aktif karbon iyot adsorpsiyonu sonrası titrasyonda harcanan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ miktarı(mL)

B: 0.1 N iyot çözeltisi için titrasyonda harcanan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ miktarı(mL)

N: İyot çözeltisi derişimi(N)

M: Aktif karbon miktarı(g)

Hidroçardan aktif karbon üretimi Şekil 2' de verilen ve gaz fırını olarak adlandırılan ısıtma sistemi aracılığıyla gerçekleştirildi.



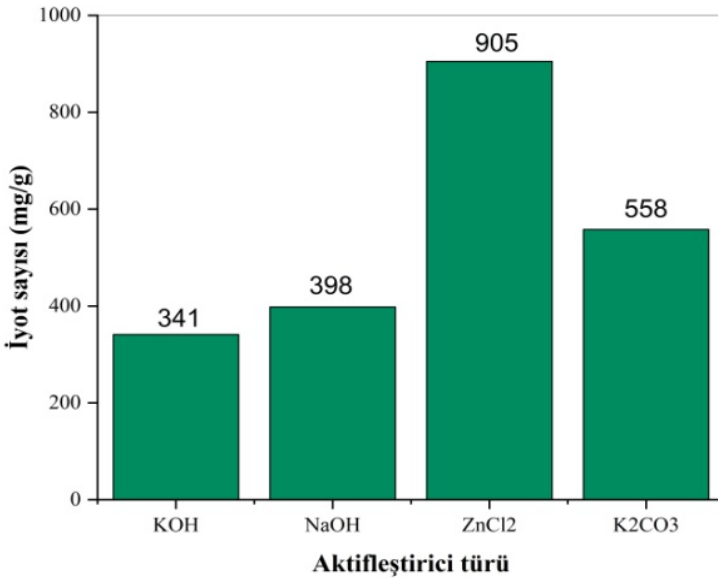
Şekil 2. Aktif karbon üretim sistemi

3. BULGULAR

Çalışma kapsamında öncelikle atık ürünün hidroçara dönüşümü gerçekleştirildi. Bu işlem toz haline getirilen organik atığın otoklavda $160\text{ }^\circ\text{C}$ ' de etüvde 12 saat bekletilmesiyle gerçekleştirildi (Şekil 1). Hidroçara dönüşümü sağlanan numune saf suyla yıkandı ve oda koşullarında 3-4 gün kurutuldu.

Çalışma kapsamında aktifleştirici olarak NaOH, KOH, K_2CO_3 ve ZnCl_2 maddeleri kullanıldı. Bu maddelerin hidroçarla oda koşullarında 24 saat

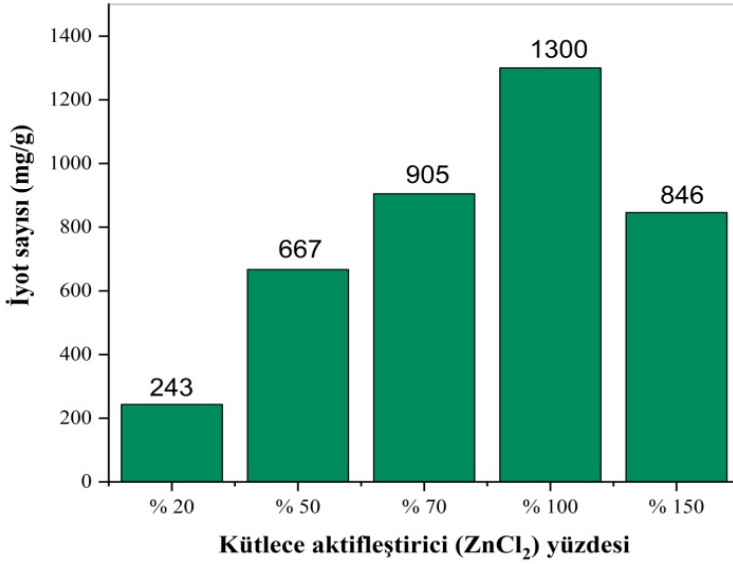
etkileşmesi (aktifleştirme) sonucunda elde edilen aktifleşmiş numune saf suyla 3-4 kez yıkandı ve Şekil 2' deki sistemde azot gazı altında 500 °C' de 45 dakika süreyle bekletilerek aktif karbona dönüştürüldü. Aktif karbona dönüşen numune önce 100 mL 0,1 M HCl çözeltisi ile yıkandı. Ardından kaynar saf suyla 5-6 kez yıkandı. Azot altında etüde kurutulanan numunenin iyot sayısını belirlemek üzere titrasyonlar gerçekleştirildi. Elde edilen veriler Eşitlik 1' de verilen denklemde yerine yazılınca her bir numune için iyot sayısı belirlenmesi gerçekleştirildi. Farklı aktifleştiriciler için belirlenen iyot sayısı değerleri Şekil 3' te verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde iyot sayısına göre en iyi aktif karbon üretiminin bir çok çalışmada olduğu gibi $ZnCl_2$ kullanımında yakalandığı görülecektir (Yağmur ve Kaya, 2021; Zhao ve ark., 2022). Bu da hidroçardan üretilen aktif karbon için en aktifleştiricinin $ZnCl_2$ olduğu anlamında gelmektedir. Çalışmanın devamında $ZnCl_2$ aktifleştiricisi kullanılarak aktif karbon üretimi parametreleri incelemesi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Farklı aktifleştirici türleri için ölçülen iyot sayısı

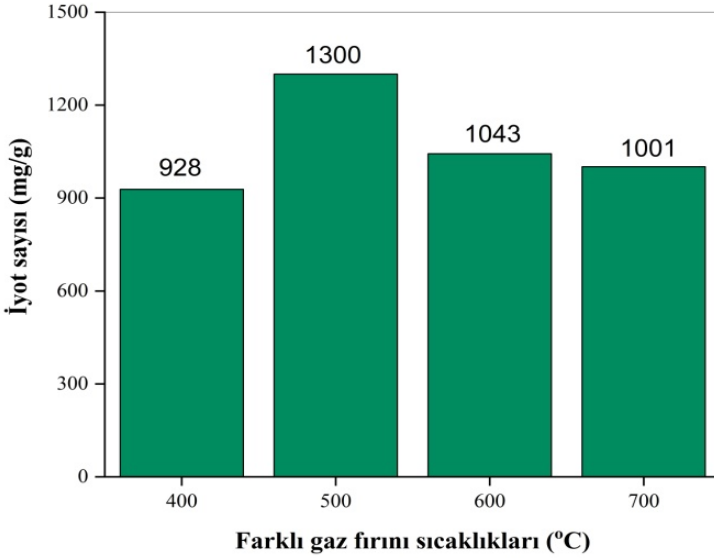
En iyi aktifleştirici belirleme işleminden sonra, belirlenen aktifleştiricinin en iyi aktif karbon üretim şartları incelemesi gerçekleştirildi. Bunun için sırasıyla; aktifleştirici yüzdesi, gaz fırını sıcaklığı ve gaz fırınında

bekleme süreleri incelenmesi gerçekleştirildi. Her bir parametre incelemesinde Eşitlik 1’ deki denklemden yararlanılarak iyot sayısı belirlenmesi gerçekleştirildi. Söz konusu aktif karbon üretim şartlarından $ZnCl_2$ aktifleştirici yüzdesine ilişkin iyot sayısı verileri Şekil 4’ te verilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere en iyi aktif karbon üretimi % 100 aktifleştirici miktarı kullanımında yakalanmıştır.



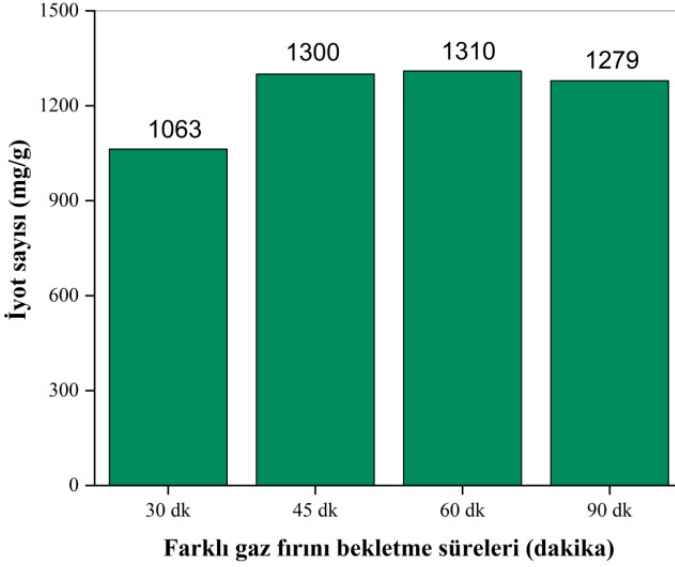
Şekil 4. Kütlece aktifleştirici ($ZnCl_2$) yüzdelere karşılık ölçülen iyot sayısı

Aktifleştirici yüzdesi belirleme işlemlerinden sonra, 400-700 °C arasındaki farklı gaz fırını sıcaklıklarında aktif karbon üretimi gerçekleştirildi. Farklı gaz fırını sıcaklıklarında üretimi sağlanan aktif karbonun iyot sayısı değerleri Şekil 5’ te verilmiştir. Şekil incelendiğinde ilk sıcaklık yükselmesinden sonra iyot sayısında belirgin bir yükselmenin olduğu, ısıtmanın devamında iyot sayısında düzenli bir düşme meydana geldiği görülecektir. Bu durum aktif karbon yapındaki gözenek yapısının adsorpsiyona olumsuz etki edecek bir şekilde bozulduğu anlamına gelmektedir (Heidarinejad ve ark., 2020). En iyi iyot sayısının yakalandığı 500 °C’ deki üretimlerle aktif karbon geliştirme çalışmalarına devam edilmiştir.



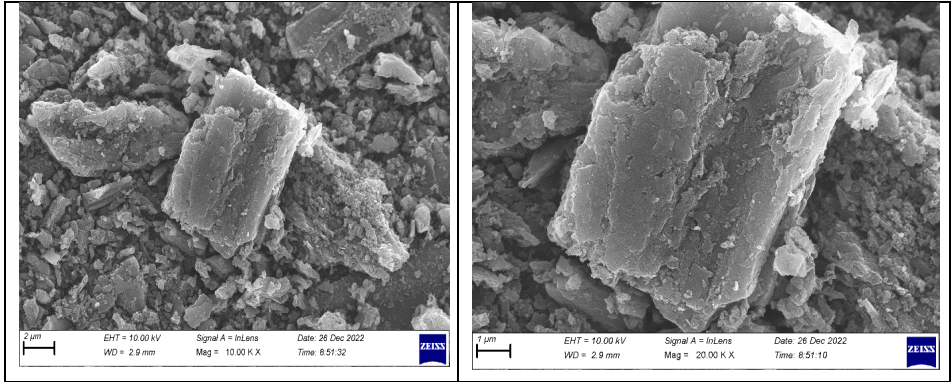
Şekil 5. Farklı gaz fırını sıcaklıklarına karşılık iyot sayısı

Çalışmanın aktif karbon üretimi son aşaması olarak gaz fırınında farklı sürelerde (30-90 dakika) bekletme ile aktif karbon üretimi gerçekleştirildi. Bu üretimler sonucunda ölçülen iyot sayıları Şekil 6’ da verilmiştir. Şekil incelendiğinde en iyi aktif karbon üretiminin 60 dakikalık bekleme süresinde yakalandığı görülecektir. 45 dakika ve 60 dakika arasında belirgin bir farklılık olmadığı iyot sayılarından anlaşılmaktadır. Dolayısıyla adsorpsiyon çalışmalarında 45 dakikalık gaz fırını bekleme sürelerindeki üretimlerin enerji kaybına çözüm olma potansiyeli taşıdığı değerlendirilmektedir.



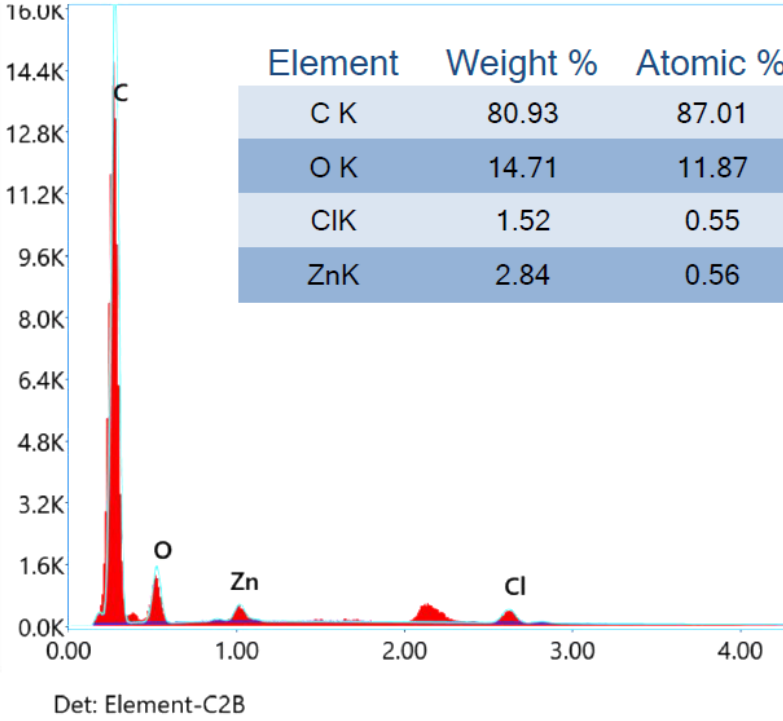
Şekil 6. Gaz fırınında farklı bekleme sürelerine ilişkin iyot sayısı

Çalışma kapsamında belirlenen en iyi aktif karbon üretim şartları oda koşullarında 24 saat aktifleştirme, %100 aktifleştirici ($ZnCl_2$) kullanımı, 500 °C gaz fırını sıcaklığı ve 60 dakikalık gaz fırınında bekleme süresidir. Söz konusu üretim koşullarında ölçülen en iyi iyot sayısı 1310 mg/g' dır. En iyi şartlarda üretimi sağlanan aktif karbonun yapı tayini için SEM ve EDX analizi yapıldı. SEM analizine ilişkin farklı büyüklüklere sahip görüntüler Şekil 7' de verilmiştir. Şekil incelendiğinde aktif karbonun gözenekli yapısı net bir şekilde görülecektir.



Şekil 7. Çalışma kapsamında üretilen aktif karbonun farklı büyüklüklerdeki SEM görüntüleri

Aktif karbon yapısı için ölçülen bir diğer önemli parametre EDX analizidir. Çalışma kapsamında en iyi şartlarda üretimi sağlanan aktif karbonun EDX analiz sonucu Şekil 8’ de verilmiştir. Şekil 8 incelendiğinde aktif karbon yapısında yüksek C içeriği olduğu görülecektir. Yine aktifleştirici olarak kullanılan $ZnCl_2$ ’ nin aktif karbon yüzeyine başarılı bir şekilde tutunduğu görülecektir. % 80’ nin üzerindeki karbon içeriği ile beraber yapıdaki oksijen varlığı aktifleştirme sırasında aktifliği yüksek olan çinkonun oksitlenmesine bağlı oluşan bir sonuç olduğu değerlendirilmektedir. $ZnCl_2$ ile yapılan diğer aktifleştirmeler incelendiğinde benzer sonuçların elde edildiği görülecektir. Çalışmada ölçülen bir diğer önemli parametre elde edilen aktif karbon verimidir. 4 gram organik atığın kullanıldığı aktif karbon üretimlerinde üretim sonucunda yapılan tartım işlemleriyle 0.36 gram aktif karbon elde edildiği belirlendi. Bu da hidroçarın % 91’ inin gazlaşarak ortamdaki uzaklaştığı anlamına gelmektedir. Bu durum organik atığın atık özelliğinin % 90’ dan fazlasının bertaraf edildiği anlamına gelmektedir (Suhdi ve Wang, 2021; Bosch ve ark., 2022).



Şekil 8. Çalışma kapsamında üretilen aktif karbonun EDX analizi

4. SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu çalışmanın birinci aşaması kapsamında mısır küpsesinin hidrotermal ön işleme hidroçara dönüşümü sağlanmıştır. Hidrotermal işlem mısır küpsesinin otoklav içerisinde 160 °C altında yaklaşık 3 MPa basınç altında 12 saat ısıtma işlemine tabi tutulmasıyla gerçekleştirilmiştir. Hidroçar üretimleri sonucunda organik atık miktarında % 35 madde kaybı yaşandığı belirlenmiştir. İkinci aşamada ise farklı aktifleştiriciler kullanılarak aktifleştirme işlemi yapılmıştır. Aktifleştirme işleminde en iyi parametreler, bu alanda en geniş kullanım alanına sahip iyot sayısına göre yapılmıştır. İyot sayısı tayini ASTM D 4607 Standardına göre yapılmıştır. Farklı aktifleştiriciler olarak; NaOH, KOH, K₂CO₃ ve ZnCl₂ ile çalışılmıştır. İyot sayısı belirleme işlemleri sonucunda en iyi iyot sayısı ZnCl₂' nin aktifleştirici olarak kullanıldığı aktif karbon yapısında yakalandı.

Aktifleştirici belirleme işlemlerinden sonra aktifleştirici yüzdesi, gaz fırınında bekleme süresi ve gaz fırını sıcaklığı parametreleri incelendi. Yapılan incelemeler sonucunda en iyi aktif karbon üretim şartları 24 saat aktifleştirme

süresinde; % 100 aktifleştirici, 60 dakika gaz fırınında bekleme ve 500 °C fırın sıcaklığıdır. Bu şartlarda ölçülen iyot sayısı 1310 mg/g' dır. Çalışma kapsamında yapılan uygulamalar sırasında yapılan kütle ölçümleri sonucunda 32 gram organik atıktan 1,87 gram aktif karbon üretildiği belirlendi. Buda % 94 lük madde kaybı yani organik atığın bertaraf edilmesi demektir. Üretilen aktif karbonun yapı analizi için SEM ve EDX analizi yapıldı. Analiz sonuçlarından aktif karbonun yüksek gözenekli bir yapıya sahip olduğu ve % C içeriğinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında hidroçar üretimi amaçlandığı gibi sağlandı. Ardından iyot sayısı ele alınarak uygun koşullar belirlenerek aktif karbon üretildi. Bu üretimde aktifleştirici olarak $ZnCl_2$ kullanılarak; sırasıyla en iyi aktifleştirici oranı %100, fırında bekleme süresi 60 dakika ve son olarak en iyi fırın sıcaklığı 500 °C olarak belirlendi.

Sentezlenen aktif karbonun yapısı karakterize edilmek üzere EDX ve SEM analizleri yapıldı. Aktif karbon üretiminin çalışmanın amaçlarına uygun olduğu belirlendi. Aktif karbonun kirleticiyi adsorpladığı ve ayrıca üretim sırasında sürdürülebilir bir çevre için önemli bir sorun olan organik atığın (mısır küspesi) faydalı bir ürüne dönüşmesini de sağlamaktadır. Bu işlemin sonucunda son ürün olan elde edilen aktif karbon kullanıldıktan sonra, ayrıca yalıtımda da kullanılmak üzere karbonizasyona tabi tutulabilir. Bu da sıfır atık sonucuna yani asıl hedefe ulaşmamızı sağlamaktadır.

Bu çalışma mısır küspesinin hidroçara dönüşümünü konu almaktadır. Bu çalışma kapsamındaki hidrotermal üretimle alınacak olumlu sonuçların farklı aktif karbon üretim kaynaklarında kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

REFERANSLAR

- Akikol, İ. (2005) Farklı aktivasyon yöntemleriyle geliştirilen aktif karbonlar ile sudan ağır metal giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baytar, O. (2015). İğde çekirdeği ve kayın ağacından üretilen aktif karbonun ağır metal ve boyarmadde gideriminde kullanılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi/Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Bosch, D., Back, J. O., Gurtner, D., Giberti, S., Hofmann, A., & Bockreis, A. (2022). Alternative feedstock for the production of activated carbon with ZnCl₂: Forestry residue biomass and waste wood. *Carbon Resources Conversion*, 5(4), 299-309.
- Cheng, B. H., Tian, K., Zeng, R. J., & Jiang, H. (2017). Preparation of high performance supercapacitor materials by fast pyrolysis of corn gluten meal waste. *Sustainable Energy & Fuels*, 1(4), 891-898.
- Demir, E., & Yalçın, H. (2014). Adsorbentler: sınıflandırma, özellikler, kullanım ve öngörüler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (2), 70-79.
- Dermanlı, Y. (2006) Gıda fabrikasyon atıklarından aktif karbon üretimi ve soya yağını ağartma performansının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Du, C., Liu, B., Hu, J., & Li, H. (2021). Determination of iodine number of activated carbon by the method of ultraviolet–visible spectroscopy. *Materials Letters*, 285, 129137.
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2009). Utilization of biodiesel waste as a renewable resource for activated carbon: application to environmental problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2495-2504.
- Güçlü Aksakal, C. (2021) Atık lastik ve biyokütleden aktif karbon hazırlanması ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Kimya Anabilim Dalı, Karabük.
- Heidarnejad, Z., Dehghani, M. H., Heidari, M., Javedan, G., Ali, I., & Sillanpää, M. (2020). Methods for preparation and activation of activated carbon: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 393-415.

- Jaynes, W. F., Zartman, R. E., & Hudnall, W. H. (2007). Aflatoxin B1 adsorption by clays from water and corn meal. *Applied Clay Science*, 36(1-3), 197-205.
- Lima, E. C. (2018). Removal of emerging contaminants from the environment by adsorption. *Ecotoxicology and environmental safety*, 150, 1-17.
- Liu, S., Sun, J., & Huang, Z. (2010). Carbon spheres/activated carbon composite materials with high Cr (VI) adsorption capacity prepared by a hydrothermal method. *Journal of hazardous materials*, 173(1-3), 377-383.
- Mezohegyi, G., van der Zee, F. P., Font, J., Fortuny, A., & Fabregat, A. (2012). Towards advanced aqueous dye removal processes: a short review on the versatile role of activated carbon. *Journal of environmental management*, 102, 148-164.
- Nunes, C. A., & Guerreiro, M. C. (2011). Estimation of surface area and pore volume of activated carbons by methylene blue and iodine numbers. *Química Nova*, 34, 472-476.
- Orbak, İ. (2009). Aktif karbon ile çevre kirletici bazı unsurların giderilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Raman, C. D., & Kanmani, S. J. J. E. M. (2016). Textile dye degradation using nano zero valent iron: a review. *Journal of Environmental Management*, 177, 341-355.
- Suhdi, & Wang, S. C. (2021). Fine activated carbon from rubber fruit shell prepared by using ZnCl_2 and KOH activation. *Applied Sciences*, 11(9), 3994.
- Tran, T. H., Le, H. H., Pham, T. H., Nguyen, D. T., La, D. D., Chang, S. W., ... & Nguyen, D. D. (2021). Comparative study on methylene blue adsorption behavior of coffee husk-derived activated carbon materials prepared using hydrothermal and soaking methods. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105362.
- Vo, A. T., Nguyen, V. P., Ouakouak, A., Nieva, A., Doma, B. T., Tran, H. N., & Chao, H. P. (2019). Efficient removal of Cr (VI) from water by biochar and activated carbon prepared through hydrothermal carbonization and pyrolysis: adsorption-coupled reduction mechanism. *Water*, 11(6), 1164.

- Yagub, M. T., Sen, T. K., Afroze, S., & Ang, H. M. (2014). Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review. *Advances in colloid and interface science*, 209, 172-184.
- Yağmur, H. K., & Kaya, İ. (2021). Synthesis and characterization of magnetic ZnCl₂-activated carbon produced from coconut shell for the adsorption of methylene blue. *Journal of molecular structure*, 1232, 130071.
- Yaslı, MA. (2019). Antep fıstığı kavlatma tesisi atıklarından hidrotermal yöntemle aktif karbon üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi/Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- Zhao, H., Zhong, H., Jiang, Y., Li, H., Tang, P., Li, D., & Feng, Y. (2022). Porous ZnCl₂-activated carbon from shaddock peel: methylene blue adsorption behavior. *Materials*, 15(3), 895.

BÖLÜM 3

TURCOVAC COVID-19 AŞISININ ELEKTROKİMYASAL OLARAK MİKTAR TAYİNİN BELİRLENMESİ

Dr. Mehmet ASLAN¹

Dr. Öğr. Üyesi Erhan ONAT²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10401418>

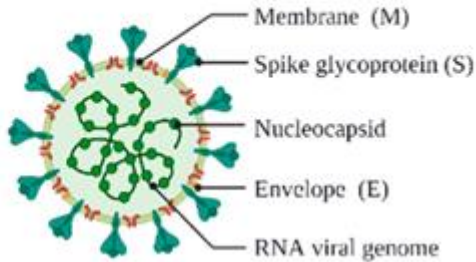
¹ Batman Bilim ve Sanat Merkezi, Batman, Türkiye, mhhaslan2010@gmail.com,
Orcid ID: 0000-0002-0703-2270

² Bitlis Eren Üniversitesi, Organize Sanayi Bölgesi MYO, Elektrik Bölümü, Bitlis,
Türkiye, eonat@beu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-1638-0151

1.GİRİŞ

“COVID-19 olarak da bilinen Yeni Koronavirüs Hastalığı, SARS-CoV-2 adlı virüsün neden olduğu bir enfeksiyon hastalığıdır. Bu hastalık, ilk olarak 2019 yılı aralık ayının sonlarında Çin'in Vuhan şehrinde solunum yolu belirtileri gösteren bir grup hastada tanımlanmıştır. Bu belirtiler arasında ateş, öksürük ve nefes darlığı bulunmaktadır [1]. SARS-CoV-2 virüsü, geçmiş yıllarda Şiddetli Akut Solunum Sendromu (SARS) ve Orta Doğu Solunum Sendromu (MERS) gibi birçok insanın ölümüne neden olan beta koronavirüslerle benzer genetik yapıya sahiptir [2,3]. Virüsün yapısı, SARS-CoV-2 genom dizilerinin hızla belirlenmesi ve paylaşılması sayesinde anlaşılmıştır. Bu durum, virüsün yapısını ve hastalık oluşumunu anlamak, tanı yöntemlerini belirlemek, salgını takip etmek ve potansiyel tedavi seçeneklerini geliştirmek açısından büyük bir fayda sağlamıştır. SARS-CoV-2 virüsü, Coronaviridae ailesine ait zarflı bir virüstür ve pozitif iplikli tek sarmal RNA genomuna sahiptir [4]. Koronavirüs, enfekte bir kişinin solunum yoluyla ürettiği öksürme veya hapşırma damlacıkları aracılığıyla yayılır. Tanımlandıktan sonra hastalık, küresel düzeyde yayılma göstererek bir pandemi haline gelmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), pandemi terimini dünya genelinde birden fazla kıtada ve çok sayıda ülkede etkisini gösteren salgın hastalıklar için kullanmaktadır. Bu nedenle, COVID-19'un küresel bir pandemi olarak kabul edilmesi, hastalığın kıtalar arası yayılması ve pek çok ülkede ciddi sonuçlara yol açması göz önüne alınarak DSÖ tarafından yapılmıştır.

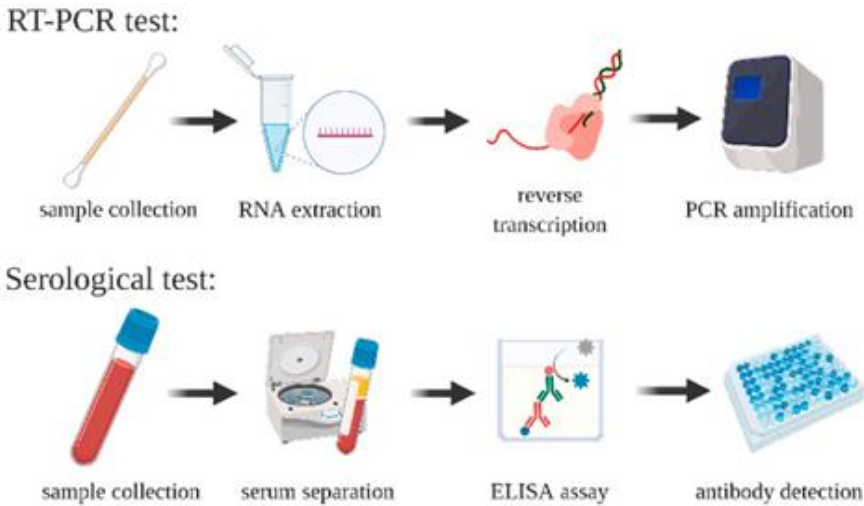
SARS-CoV-2



Şekil 1. SARS-CoV-2 virüsü

Koronavirüsten ribonükleik asit (RNA) dizilimi ile dünya çapında birçok aşı geliştiriliyor. Geliştirilen aşılarda, canlı zayıflatılmış virüs, inaktive edilmiş

virüs, protein veya alt birim, viral vektör tabanlı, haberci RNA (mRNA) ve deoksiribonükleik asit (DNA) olmak üzere altı aşı platformuyla hem geleneksel hem de yeni nesil teknolojiyi kullanıyor. Pandemi döneminde üretilen Biontech, Moderna, Astrazeneca, Sputnik V, Sinovac (CoronaVac) ve TURKOVAC aşıları olmuştur. Güvenli ve etkili aşı seçeneklerinin geliştirilmesi, COVID-19 pandemisine karşı mücadelenin başarısı için çok önemlidir. TURKOVAC aşısıyla ilgili [5-8] etkinlik çalışmaları yürütülmüştür. Aşılar, uygun antikorlar üreterek hızlı yayılımı azaltıp bağışıklık gelişimini kolaylaştırabilse de aşıların etkinliği hala %95'tir. Aşı uygulamasında tedarik zinciri lojistik zorlukları, aşı tereddütü ve aşı gönül rahatlığı gibi birçok sorunla karşılaşılır. Aşı, bir tedaviden ziyade bir önleme tedbidir [9]. Aşının bulunmasına rağmen, doğrudan ve dolaylı olarak temasta olan kişilerin izlenmesini kolaylaştırabileceği için koronavirüsün erken tespiti önemlidir. COVID-19'un dünya genelinde laboratuvar tanısında, gerçek zamanlı polimeraz zincir reaksiyonu (RT-PCR), serolojik testler ve bilgisayarlı tomografi (BT) bulguları gibi yöntemler sıkça kullanılmaktadır [10-12] (Şekil 2). Nükleik asit amplifikasyon yöntemleri olan RT-PCR, virüsün genetik materyalini saptamak için kullanılır. Serolojik testler ise hastanın kanında antikor varlığını belirlemek amacıyla kullanılır. BT görüntülemesi ise akciğer hasarının değerlendirilmesinde yardımcı olur. Bu yöntemler, COVID-19 tanısının doğru ve güvenilir bir şekilde konulmasına yardımcı olmaktadır.



Şekil 2. COVID-19 tanısında RT-PCR ve Serolojik test basamakları

Elektrokimyasal yöntemler bu yöntemlere göre düşük maliyet, yüksek hassasiyet, geniş bir analitik çalışma aralığı ve analiz süresinin kısa sürede gerçekleşmesi gibi avantajlara sahiptirler [13]. Ayrıca farklı özelliklere sahip çalışma elektrotu kullanılabilir. Bunlar arasında, altın elektrot [14] karbon pasta elektrot [15], camsı karbon elektrot [16] ve perde baskılı elektrotlar [17] kalem grafit elektrot [18], sayılabilir. Bu çalışma literatüre aşı yardımıyla hastalık tanısını ve miktar tayinini gösterecek özgün bir elektrokimyasal sensör örneği olacaktır.

2.YÖNTEM

Alınan voltametrik ölçümler, AUTOLAB PGSTAT128N, cihazı ve Nova 2.1.6 yazılımı kullanılarak 10 ml test hücresi ile gerçekleştirilmiştir. Üçlü elektrot sistemi kullanılmıştır. Çalışma elektrotu, referans elektrot ve yardımcı elektrot kullanılmıştır. Çalışma elektrotu olarak kurşun grafit elektrot (PGE), referans elektrot gümüş/gümüş klorür (Ag/AgCl), karşıt elektrot olarak platin (Pt) kullanılmıştır. Bu elektrotlar, elektrokimyasal ölçümlerin yapılmasında kullanılan elektrotlar olarak tercih edilmiştir. COVID-19 tanısına yönelik TURKOVAC aşısıyla elektrokimyasal teknikler kullanılarak PGE üzerinde +1.4V/60s aktivasyonu ile ölçümler alınmıştır. Çalışmada, pH taraması [BR (pH 3.0, 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0), ABS (pH 4.8), PBS (pH 2.0, 3.0, 7.4)] ortamlarında yapılmıştır. Optimum cihaz parametreleri için [(Adım potansiyeli (0.01-0.07 V), modülasyon genliği (0.01 V-0.1V), modülasyon zamanı (0.01- 0.05 s) ve aralık zamanı (0.0-1.0 s)] belirlenen aralıklarda çalışılıp en iyi pik akımı ve sinyale sahip parametreler belirlenmiştir. TURKOVAC'ın elektrot yüzeyinde, biriktirme parametreleri [(biriktirme potansiyeli (0.0- 0.6V), biriktirme süresi (0.0- 60 s)] aralıklarında çalışıldı. TURKOVAC'ın en düşük tayin sınırı ve tespit sınırının belirlenmesi için (0.006- 0.042 µg mL⁻¹) derişim aralığında standart ekleme yöntemiyle sinyaller alınıp voltomogramlar kaydedilmiştir. 100µL idrara TURKOVAC (0.006- 0.048 µg mL⁻¹) aralığında TURKOVAC eklenip geri kazanım çalışması yapılmıştır. Bu belirlenen şartlar ile analitik performans özellikleri araştırılmıştır.

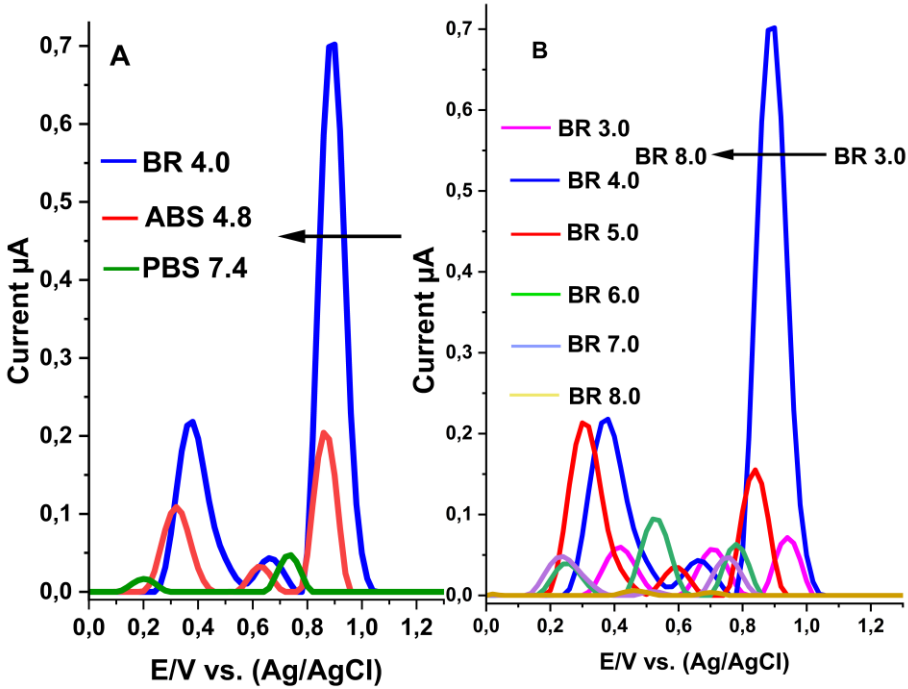
3. BULGULAR

TURCOVAC aşısının kalem grafit elektrot (PGE) yüzeyinde optimize

edilerek alınan ölçümler aşağıda sunulmuştur.

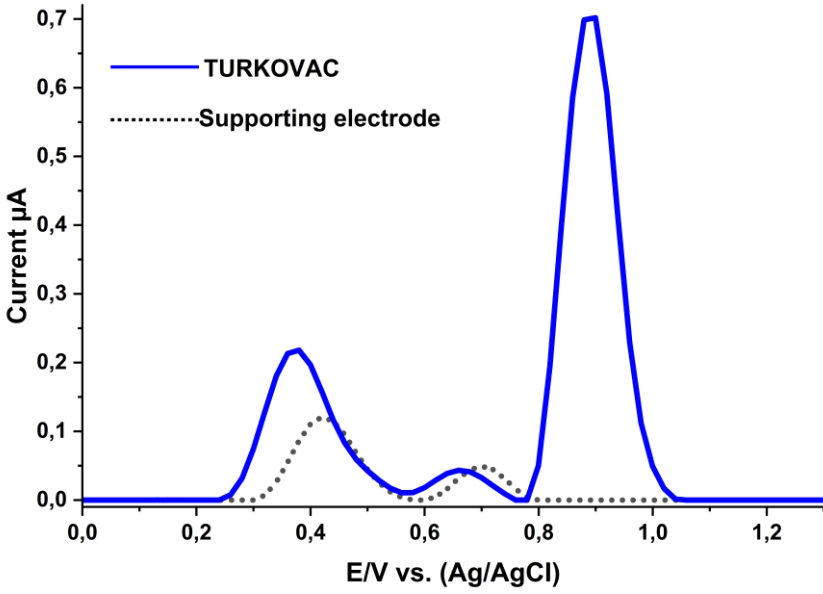
3.1. pH etkisi

Elektrokimyasal bir çalışmada, kullanılacak çalışma ortamı ve pH değerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada geniş çalışma aralığı sunan BR (2.0- 12.0), ABS (4.8) ve PBS (2.0, 3.0, 7.4) destek elektrolit çözeltilerinde TURKOVAC aşısının pH'nın pik yüksekliği ve pik potansiyeli üzerindeki etkisi, DPV tekniğiyle değerlendirildi (Şekil 3).



Şekil 3. TURKOVAC aşısının (A) ABS (pH 4.8), PBS (pH 7.4), BR (PH 4.0) (B) BR (pH 3.0- 8.0) aralıklarında pH taramasına ait DPV voltamogramları.

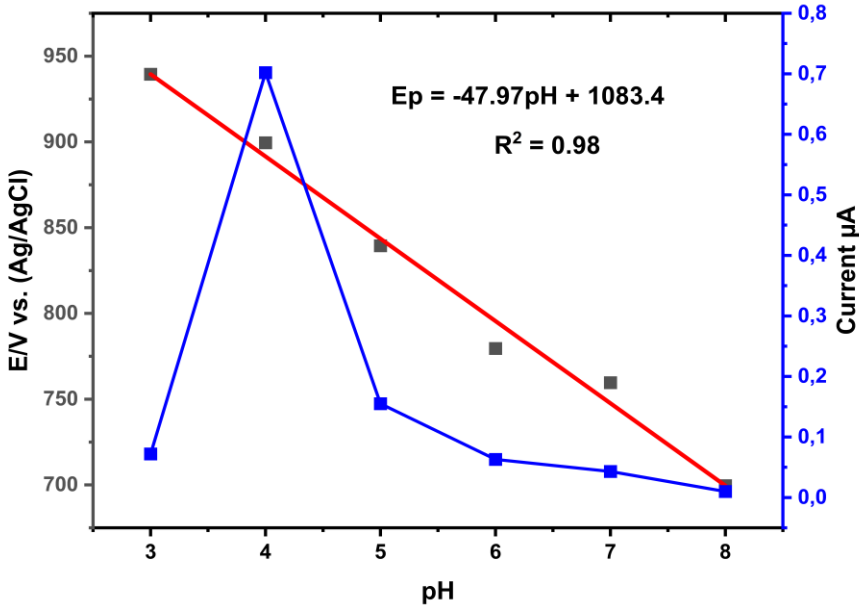
Farklı destek ve pH ortamlarından elde edilen voltamogramlar incelendiğinde 0.90 V gerilimde ve pik akımı ise 0.702 µA şiddetinde BR (pH 4.0) ait bulgunun diğer tampon sistemleriyle elde edilen sonuçlardan çok daha yüksek pik akımı ve gerilimine sahip olduğu görüldü, çalışmanın devamında bu tampon sistemiyle çalışmaya devam edildi. (Şekil 4).



Şekil 4. TURKOVAC aşısının BR (pH 4.0) ortamında DPV voltamogramı (Kesikli çizgi BR (pH 4.0) destek çözeltisi)

Çizelge 1. TURKOVAC voltamogramlarındaki pik gerilimi değerleri

pH (BR)	Ep (mV)	Ip (µA)
3	939.5	0.072
4	899.5	0.702
5	839.5	0.155
6	779.6	0.063
7	759.6	0.043
8	699.6	0.010



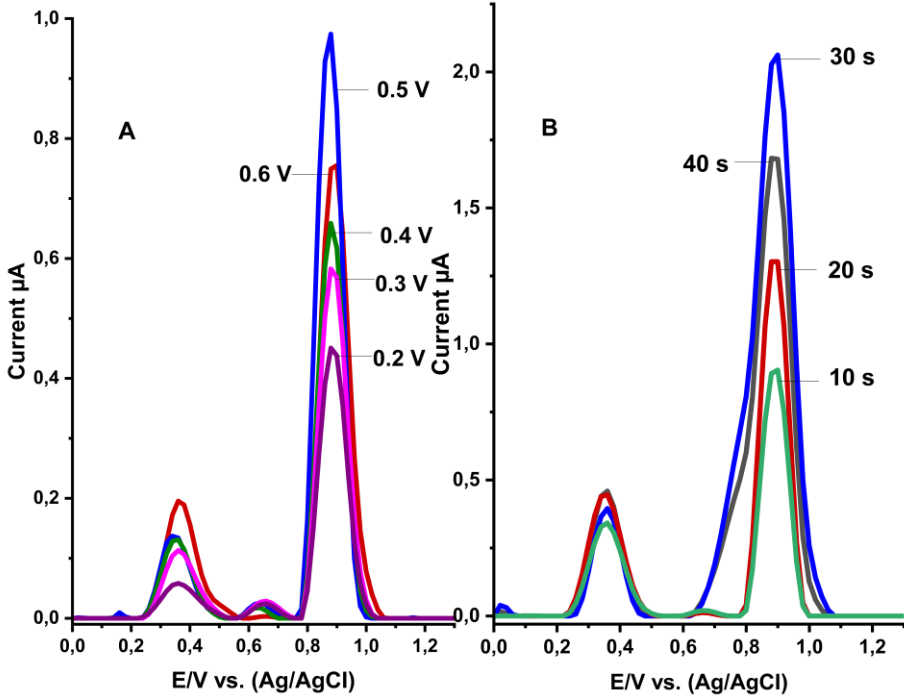
Şekil 5. TURKOVAC'ın pik gerilimi (E_p) ve pik akımı (i_p) üzerine pH etkisinin grafikleri

Şekil 3'ün ayrıntılı bir analizi, pH değerinin artmasıyla anodik pik gerilimlerinde negatif kaymalara tanık olduğumuzu ortaya koymaktadır. Bu gözlem, TURKOVAC'ın PG elektrot yüzeyinde yükseltgenme sürecinde proton transferinin önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca, Şekil 3'ün detaylı bir değerlendirmesi, en düzgün ve simetrik voltamogramların pH 4.0 ortamında elde edildiğini göstermektedir. Bu bulgu, BR (pH 4.0) ortamının elektrokimyasal ölçümler için en uygun ve stabil ortam olduğunu göstermektedir. Yapılan çalışmada yüksek pH'larda TURKOVAC'a ait pik sinyali gözlenmemiştir. E_p/pH ilişkisi ve Şekil 8 incelendiğinde eğimli bölgeler görülmektedir. Bu eğimli bölgelerin kesim noktası TURKOVAC'ın pKa değerine karşılık geldiği söylenebilir.

3.2. Biriktirme parametreleri

TURKOVAC'ın analitik sinyali üzerinde biriktirme süresi (t_{acc}) ve biriktirme potansiyeli (E_{acc}) araştırıldı. Şekil 6 detaylı incelendiğinde, E_{acc} (0.2- 0.6 V) aralığında ölçümler alınmış olup en iyi pik akımına sahip olan 0.5 V değerine kadar bir artışın olduğu sonra azaldığı belirlendi. t_{acc} (10 - 40 s)

aralıklarında biriktirme süresi değerlendirilmiş ve optimum biriktirme süresi olarak 30 s belirlenmiştir.

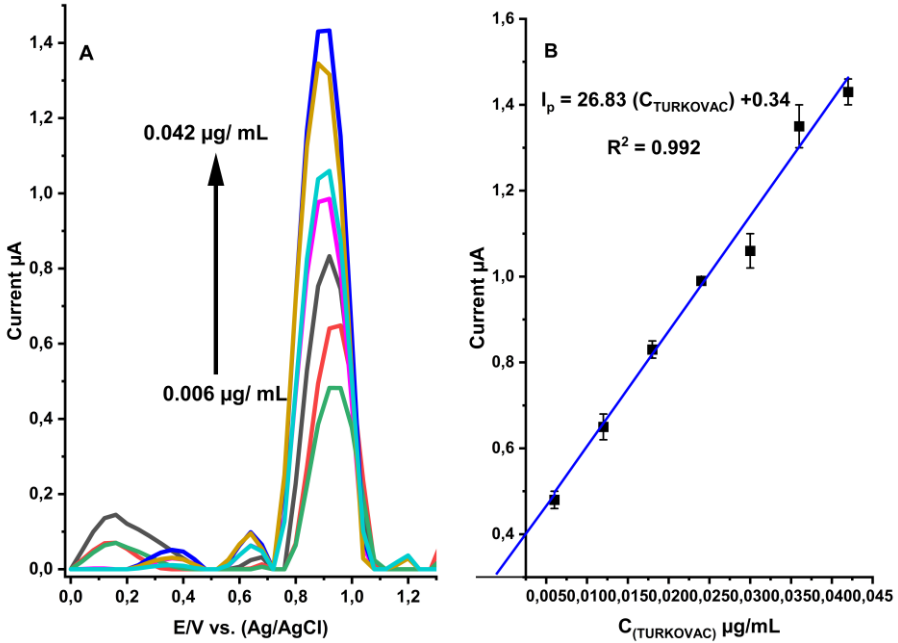


Şekil 6. BR (pH 4.0) destek çözelti ortamında +1.4 V/60 s PGE aktivasyonu (0.0-1.25 V) aralığında gerilim aralığında (A) PGE yüzeyinde PGE (0.2- 0.6 V) Biriktirme potansiyeli (B) (10- 40 s) biriktirme zamanlarında diferansiyel pulse voltamogramları.

3.3. Analitik Performans Özellikleri

Bu çalışmada, geliştirilen voltametrik yöntem ile PGE kullanılarak BR (pH 4.0) ortamında analitik performans özellikleri çalışma aralığı, tekrarlanabilirlik ve duyarlılık için ölçümler alınmıştır.

PGE kullanılarak TURKOVAC aşısından optimum koşullarda standart eklemeler yapılarak voltamogramlar kaydedildi (Şekil 7). PGE üzerinde +0.90 V' daki analitik sinyalin standart eklemeler ile pik sinyalinin arttığı gözlenmiştir (Şekil 7). Bu sinyal 0.006 µg/mL ile 0.042 µg/mL arasında doğrusal olarak değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 7. TURKOVAC'ın farklı derişimlerinin BR (pH 4.0) tamponu içerisinde kaydedilen DP voltamogramları. (DPV Parametreleri: Adım potansiyeli 0.04 V; Modülasyon genişliği 0.08 V; Modülasyon zamanı 0.03 s Aralık zamanı 0.5 s.)

Çizelge 2. Analitik performans özellikleri

DPV	
Potansiyel (V)	0.90
Çalışma aralığı ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	0.006-0.042
Kesişim (μA)	0.34
Eğim ($\mu\text{A } \mu\text{g mL}^{-1}$)	26.83
Korelasyon katsayısı	0.992
LOD ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	0.0022
LOQ ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	0.0075
Gün içi pik gerilimi (BSS %)	1.23
Gün içi pik akımı (BSS %)	8.85

Çizelge 2'de, LOD (Tespit Sınırı) değeri 3 s/m ve LOQ (Belirlenme Sınırı) değeri 10 s/m olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre, LOD değeri $0.0022 \mu\text{g mL}^{-1}$ ve LOQ değeri $0.0075 \mu\text{g mL}^{-1}$ olarak elde edilmiştir. Bu

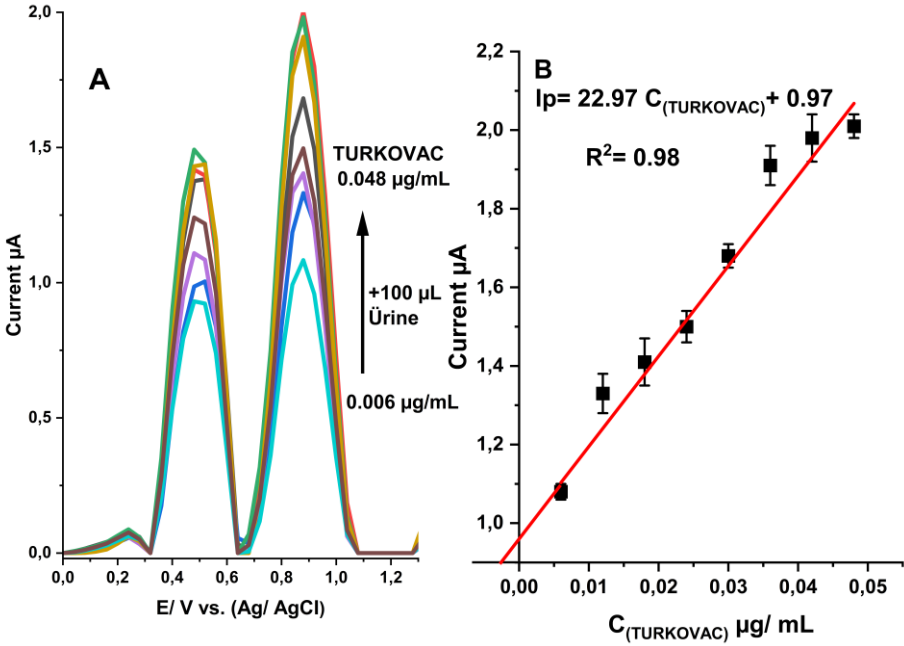
bulgular, PGE üzerinde geliştirilen voltametrik yöntemin iyi bir analitik doğrusal ve duyarlılık sergilediğini göstermektedir.

Bu çalışmada, geliştirilen voltametrik yöntemin tekrarlanabilirliğini değerlendirmek için PGE üzerinde BR (pH 4.0) ortamında $0.6 \mu\text{g mL}^{-1}$ TURKOVAC çözeltisi kullanılarak 9 kez DP voltamogramları alınmış ve kaydedilmiştir. Gün içi kesinlik için, bu voltamogramlar'dan yükseltgenme pik akımı ve gerilim değerleri okunmuş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Yükseltgenme pik akımı ve gerilim için % BSS (% Bağıl Standart Sapma) değerleri hesaplanmış ve sırasıyla % 8.85 ve % 1.23 olarak bulunmuştur. Bu bulgular, geliştirilen voltametrik yöntemin gün içinde tekrarlanabilir olduğunu göstermektedir.

3.4. İdrarda Geri Kazanım Çalışması

Voltametrik yöntemin analitik çalışma aralığı, duyarlılığı ve tekrar edilebilirliği gibi performans özellikleri göz önünde bulundurularak, bu çalışmada önerilen yöntemin idrar numunelerindeki uygulanabilirliği araştırılmıştır. Belirlenen cihaz parametreleri kullanılarak, $100 \mu\text{L}$ idrar numunesine ($0.006-0.048 \mu\text{g mL}^{-1}$) aralığında standart eklemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 8'de gösterilen doğrusal bir çalışma aralığı sergilemektedir.

Bu çalışma, voltametrik yöntemin idrar numunelerinde başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir. Yöntemin analitik doğrusalılığı, çalışma aralığı ve hassasiyeti, idrar numunelerindeki hedef bileşiği doğru bir şekilde tespit etme ve miktarını belirleme yeteneğini göstermektedir. Bu bulgular, voltametrik yöntemin idrar analizinde güvenilir bir araç olarak kullanılabileceğini desteklemektedir.



Şekil 8. TURKOVAC ($0.006-0.048 \mu\text{g mL}^{-1}$) çalışma aralığında BR (pH 4.0) tampon içerisinde idrar numunelerinin DP voltamogramları.

Çizelge 3'teki sonuçlar, idrar numunelerinde TURKOVAC'ın başarılı bir şekilde analiz edilebileceğini göstermektedir. Şekil 8'de ise TURKOVAC'ın farklı derişimlerinin BR tamponu (pH 4.0) içinde kaydedilen i_p/C_{TURKOVAC} eğrisi sunulmuştur.

Bu eğri, voltametik yöntem ile TURKOVAC'ın idrar numunelerinde tespit edilmesinin mümkün olduğunu ve farklı derişimlerinin belirlenebileceğini göstermektedir. Eğri üzerinde elde edilen veriler, TURKOVAC'ın analitik doğrusallığı ve duyarlılığı hakkında bilgi sağlamaktadır. Yüksek çözünürlük ve iyi ayrılma göz önüne alındığında, önerilen voltametik yöntemin TURKOVAC'ın idrar numunelerinde güvenilir bir şekilde analiz edilebileceği sonucuna varılabilir.

Bu bulgular, yöntemin klinik ve tanısal uygulamalarda TURKOVAC'ın idrar örneklerinde izlenmesi gereken durumlar için potansiyel bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, yöntemin seçiciliği ve tekrarlanabilirliği gibi performans özelliklerinin de dikkate alınması önemlidir ve bu alanlarda yapılan değerlendirmeler, yöntemin güvenilirliğini daha da destekleyecektir.

Çizelge 3. İdrar numunelerinde geri kazanım çalışması

İlave edilen	Bulunan (μM) ^{a,b}	Geri Kazanım ^b (%) \pm %BSS
0	0.042	\pm 3.32
0.030	0.072	100 \pm 4.05
0.042	0.084	100 \pm 3.20

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma TURKOVAC' ın elektrokimyasal incelemesini açıklayan COVID-19 tanı ve tedavisine yardımcı olacak, ilk defa tarafımızca geliştirilen bir biyosensör örneği olmuştur. PGE çalışma elektrodu ve DPV tekniğiyle TURKOVAC elektrokimyasal tepkileri üzerindeki etkisini SARS-CoV-2 için miktar tayini belirlenmiştir. Ayrıca SARS-CoV-2'nin belirlenen prosedürle DNA etkileşimi aydınlatılmıştır. Önerilen yaklaşım ticari ürünlerin flakon ve idrar örneklerinin analizine karmaşık numune hazırlama yöntemleri veya nispeten pahalı aparatlar kullanılmadan rutin kalite kontrolüne doğrudan uygulanabilme fırsatı sunmuştur.

Öneriler

- ✓ Bu incelemeyle, elde edilen veriler ışığında elektrokimyasal biyosensörün COVID-19 ve varyantlarının tespitinde modifiye elektrotlar kullanarak daha hassas, duyarlı ve seçici yöntemler geliştirilebilir.
- ✓ Elde edilen sonuçların daha fazla matris üzerindeki (tükürük, balgam vb. biyolojik sıvılar) etkisini karakterize etmek için çaba harcanmalıdır.
- ✓ Bu çalışmayla yeni oluşacak ve pandemiye sebep olacak virüsler ve bakteriler için yeni teşhis sensörlerinin geliştirilmesi özendirilmelidir.

Kaynakça

- [1] Halka yönelik [İnternet]. 2023 [Erişim tarihi: 30 Ekim 2023]. Erişim adresi: <https://korona.hasuder.org.tr/sikSORULAN-sorular>
- [2] De Wit, E., Van Doremalen, N., Falzarano, D., & Munster, V. J. (2016). SARS and MERS: recent insights into emerging coronaviruses. *Nature Reviews Microbiology*, 14(8), 523-534.
- [3] Lu R, Zhao X, Li J. (2020) Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding. *Lancet*. 395:565-74.
- [4] Chan JF, Kok KH, Zhu Z, et al. Genomic characterization of the 2019 novel human-pathogenic coronavirus isolated from a patient with atypical pneumonia after visiting Wuhan. *Emerg Microbes Infect.* 2020;9(1):221- 36.
- [5] Tanriover, M. D., Aydın, O. A., Guner, R., Yildiz, O., Celik, I., Doganay, H. L., ... & TURKOVAC Study Group. (2022). Efficacy, Immunogenicity, and Safety of the Two-Dose Schedules of TURKOVAC versus CoronaVac in Healthy Subjects: A Randomized, Observer-Blinded, Non-Inferiority Phase III Trial. *Vaccines*, 10(11), 1865.
- [6] Ozdarendeli, A., Sezer, Z., Pavel, S. T. I., Inal, A., Yetiskin, H., Kaplan, B., ... & Kara, A. (2022). Safety and immunogenicity of an inactivated whole virion SARS-CoV-2 vaccine, TURKOVAC, in healthy adults: Interim results from randomised, double-blind, placebo-controlled phase 1 and 2 trials. *Vaccine*.
- [7] Omma, A., Batirel, A., Aydın, M., Yilmaz Karadag, F., Erden, A., Kucuksahin, O., ... & Ates, I. (2022). Safety and immunogenicity of inactive vaccines as booster doses for COVID-19 in Türkiye: A randomized trial. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 18(6), 2122503.
- [8] Oztop, N., Demir, S., Toprak, I. D., Unal, D., & Gelincik, A. (2022, November). Positive perception of COVID-19 vaccination in HAE: No significant impact of vaccination on disease course. In *Allergy & Asthma Proceedings* (Vol. 43, No. 6).
- [9] Samaranayake, LP, Seneviratne, CJ ve Fakhruddin, KS

- (2021). Koronavirüs hastalığı 2019 (COVID-19) aşılı: Kısa bir inceleme. *Ağız hastalıkları*
- [10] Li D, Wang D, Dong J, et al. False-negative results of real-time reverse-transcriptase polymerase chain reaction for severe acute respiratory syndrome coronavirus 2: Role of deep-learning-based ct diagnosis and insights from two cases. *Korean J Radiol.* 2020;21(4):505-8
- [11] Tahamtan A, Ardebili A. Real-time RT-PCR in COVID-19 detection: issues affecting the results. *Expert Rev Mol Diagn.* 2020;20(5):453-4.
- [12] WHO. Laboratory testing for coronavirus disease 2019 (COVID-19) in suspected human cases. Interim guidance 1-7, World Health Organization. [<https://apps.who.int/iris/handle/10665/331501>] (Erişim tarihi: 19/11/2022).
- [13] M. Aslan, A. Levent, New Voltammetric Strategy for Determination and Electrochemical Behaviors of Oxaliplatin by CPT-BDD Electrode, 2020
- [14] Mehdinia, A., Kazemi, S. H., Bathaie, S. Z., Alizadeh, A., Shamsipur, M., & Mousavi, M. F. (2009). Electrochemical DNA nano-biosensor for the study of spermidine–DNA interaction. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 49(3), 587-593.
- [15] M.R., A.S.K., & K.K.G. Mathew, Simultaneous voltammetric sensing of three DNA bases guanine, adenine and thymine at poly(L-arginine)-electrochemically reduced graphene oxide composite film modified glassy carbon electrode, *Ionics (Kiel)*. 28 (2022) 3023-3036
- [16] Aydoğdu, G., Günendi, G., Zeybek, DK, Zeybek, B., & Pekyardımcı, Ş. (2014). Nitrofurantoinin belirlenmesi için poli-(5-amino-2-merkapt-1, 3, 4-tiadiazol) modifiye camı karbon elektroduna dayalı yeni bir elektrokimyasal DNA biyosensörü. *Sensörler ve Çalıştırıcılar B: Kimyasal*, 197, 211-219.
- [17] Radi, A. E., El-Naggar, A. E., & Nassef, H. M. (2014). Electrochemical and spectral studies on the interaction of the antiparasitic drug nitazoxanide with DNA. *Electrochimica Acta*, 129, 259-265.
- [18] Eksin, E., Muti, M., & Erdem, A. (2013). Chitosan/Ionic Liquid Composite Electrode for Electrochemical Monitoring of the Surface-Confined Interaction Between Mitomycin C and DNA. *Electroanalysis*, 25(10), 2321-2329.

BÖLÜM 4

BETONARME YAPILARDA MEYDANA GELEN KOLON HASARLARI, NEDENLERİ VE KISA KOLON ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut DURMAZ¹

Kübra KAYA²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10401422>

¹ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye, E-posta: mahmutdurmaz@siirt.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-6060-4258

² Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Lisans Öğrencisi, Siirt, Türkiye, E-posta: kbrakaya01344@gmail.com, Orcid ID: 0009-0009-4065-0175

1. GİRİŞ

Deprem, yer kabuğundaki beklenmedik anda ortaya çıkan enerji sonucu kırılmalar sebebiyle meydana gelen sismik dalgalanmaların yeryüzünü sarsmasına neden olan bir olaydır. Deprem, meydana geldiğinde önleyici tedbirler alınmadığı takdirde önemli can ve mal kayıplarına yol açabilen bir doğal afettir (İşçi, 2008). Ülkemiz, önemli deprem kuşaklarından biri olan ve Azor Adaları'ndan başlayıp Güneydoğu Asya'ya kadar uzanan Alp-Himalaya deprem kuşağında yer almaktadır. Ülkemizin geçmişine dönüp baktığımızda da bu kuşakların etkisinde gerçekleşen depremlerde ciddi can ve mal kayıpları yaşadığımız görülmektedir. Deprem sonrası yıkılan veya hasar gören her yapı aslında bizlere standartlara uyulmadığını, yapının imalatında titizlikle davranılmadığını gözler önüne seriyor (Akbaş & Çalışkan, 2023). Ülkemizde özellikle son depremlerde yapılan hasar araştırmalarında, mevcut birçok binanın yeterli deprem dayanımına sahip olmadığını ortaya koymuştur. Bu eksiklik yanlış sistem seçiminden, yetersiz donatı detaylarından ya da yapı denetimlerinin tam olarak yapılmamasından kaynaklanmaktadır (Çırak, 2011). Betonarme yapılar dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok insanın yaşamını sürdürdüğü bu yapılarda hasara karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Yeterince dayanımı olmayan ve hasarlardan etkilenen binalar mümkünse onarılmalı, onarılamayan yapılar ise kesinlikle kullanılmamalıdır. Mevcut, hasarsız yapılarda hasar riski varsa, bu yapıların hasar oluşmadan güçlendirilmesi ve daha güvenli hale getirilmesi gerekmektedir. Betonarme yapılarda meydana gelen hasarlar, sürekli veya birdenbire oluşan etkenler sonucunda oluşur. Bu etkenleri şöyle sıralayabiliriz (Ergin, 1998):

- a) Jeolojik etkenler: Deprem, su baskını, çökme, göçük, yıldırım, çığ düşmesi, heyelan gibi.
- b) Fiziksel etkenler: Çarpma, aşırı yükleme, vurma, patlama, duvarların ve kirişlerin sehim yapması gibi.
- c) Hava şartlarına bağlı etkenler: Sıcaklık artış ve düşüşlerinin yüksek değerlerde olması, nem oranı, genleşme ve büzülmelerin sürekli tekrarlanması gibi.
- d) Biyolojik etkenler: Mantarlar, likenler, küfler, kara yosunları, bitkilerin kökleri ile zarar vermeleri

- e) İnsana bağlı etkenler: Yetersiz veya yanlış bakım ve koruma önlemleri, kötü kullanma, çevrede yürütülen çalışmalar, hatalı yapılan hafriyat çalışmaları gibi.
- f) Yapının konumuna bağlı etkenler: Zemin hareketleri, yapıda farklı temel oturmaları gibi.
- g) Kimyasal etkenler: Çürüme, paslanma, oksidasyon, tuz, asit ve bazların yapının elemanlarını bozması gibi.

Günümüzde de şehirleşme ve buna paralel olarak yüksek yapıların inşası da kaçınılmaz bir ihtiyaç haline gelip, hızla artmaktadır. Yapıların temel taşı olan kolonlar, binanın dikey yüklerini taşıyan ve yapısal bütünlüğü sağlayan önemli taşıyıcı elemanlardır. Yapıların omurgasını oluşturan kolonlar, bu bağlamda kritik bir rol oynarlar ve çeşitli şekillerde maruz kaldıkları hasarlar, güvenlik açısından endişe verici olabilir. Bu makale, kolon hasarlarına odaklanarak, bu hasarları, nedenlerini ve kısa kolon etkisini incelemeyi amaçlamaktadır.

2. MATERYAL VE METOD

Beton: Çimento, iri agrega, ince agrega ve suyun, kimyasal ve mineral katkıların uygun oranlarda eklenerek veya eklenmeden homojen olarak karıştırılmasıyla oluşturulan, çimentonun hidrasyonu ile gerekli özelliklerin elde edildiği malzemedir. (TS EN 206). İstatistiklere bakıldığında ülkemiz ve dünya genelinde C25/30 ve C30/37 betonu kullanılmaktadır (THBB, 2022). 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yapılacak tüm betonarme binalarda C25/30 betonundan daha düşük dayanımlı beton kullanılmaz (TBDY-2018). Deprem bölgelerinde ise C30/37 düzeyine çıkılması ve bu sınıftan daha düşük betonların kullanılmasına izin verilmemesi gerekir.

Çelik: Betonarme yapılarda kullanılacak çeliğin TBDY-2018 sadece B420C ve B500C çeliklerinin kullanılmasına doğrudan izin verirken S420 çeliğinin kullanımına koşullu izin vermektedir (TBDY-2018).

Tablo 1 ve Tablo 2’de incelediğimiz üzere beton ve çelik kullanımında uygun sınıfı seçmemiz yapımızın sağlamlığı açısından çok önemlidir.

Tablo 1: Beton Sınıfları ve Dayanımları (TS 500)

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı, f_{ck}	Eşdeğer Küp (200 mm) Basınç Dayanımı	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, f_{ctk}	28 Günlük Elastisite Modülü,
	MPa	MPa	MPa	MPa
C16	16	20	1,4	27 000
C18	18	22	1,5	27 500
C20	20	25	1,6	28 000
C25	25	30	1,8	30 000
C30	30	37	1,9	32 000
C35	35	45	2,1	33 000
C40	40	50	2,2	34 000
C45	45	55	2,3	36 000
C50	50	60	2,5	37 000

Tablo 2: Donatı Çeliklerinin Mekanik Özellikleri (TS 708)

Mekanik Özellikler	Donatı Çubukları				Hasır Donatı	
	Doğal Sertlikte			Soğukta İşlem Görmüş		
	S220a	S220a	S500a	S420b	S500bs	S500bs
Minimum akma dayanımı f_{yk} (MPa)	220	420	500	420	500	500
Minimum kopma dayanımı f_{su} (MPa)	340	500	550	550	550	550
$\phi \leq 32$ Minimum kopma uzaması ϵ_{su} (%)	18	12	12	10	8	5
$32 < \phi \leq 50$ Minimum kopma uzaması ϵ_{su} (%)	18	10	10	10	8	5

Betonarme ise, betonun çelik ile güçlendirilmesiyle elde edilen kompozit bir yapı malzemesidir. Çelik çekme gerilmelerine, beton ise basınç gerilmelerine karşı dayanıklıdır. Öte yandan beton gevrek, çelik ise sünek davranış göstermektedir. Bu durumda betonarme bir yapı elemanında, beton ve çelik bu gerilmelere dayanacak şekilde birlikte çalışırlar. Bu esnada beton, basınç gerilmelerini; çelik ise çekme gerilmelerini karşılar (Meral, 2019).³ Bu makalede, betonarme yapılarda meydana gelen kolon hasarları ve kısa kolon etkisi hakkında literatür taraması yapılmış ve literatürde yer almış özellikle son yıllara ait kaynaklar incelenmiştir. Güncel bilgiler incelendikten sonra sentezi yapılarak gerekli sonuçlar verilmiştir.

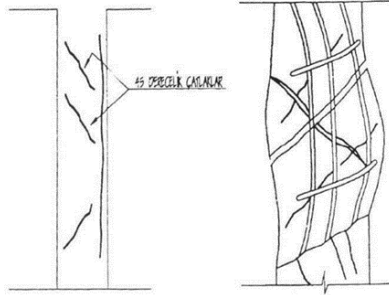
³ <https://tr.wikipedia.org/wiki/Betonarme>

3. BETONARME YAPILARDA MEYDANA GELEN KOLON HASARLARI, NEDENLERİ VE KISA KOLON ETKİSİ

3.1 Kolonlarda Kesme Hasarı

Betonarme kolon elemanlarındaki hasar genellikle eğilme veya kesme hasarı şeklinde meydana gelir. Kolonlarda kesme kuvveti taşıma gücü yetersiz ise kesme çatlakları oluşacaktır. Beton ile donatı arasında beton basınç dayanımının yetersiz olması veya kolon boyuna donatılarının aynı yerde eklenmesinden dolayı aralarına beton girmemesi nedeniyle aderans sağlanmadığı için donatı üzerindeki beton kabuk koparak düşer. Donatı ile beton birlikte çalışmadığı için donatı çeliği akma sınırına ulaşmadan beton ayrılır ve betonarme gerekli moment taşıma kapasitesine ulaşamaz (Şirin, 2006; Oyguc, 2022; Yüksel, 2008).

Kolonların boyuna donatılarının korozyona uğraması nedeniyle beton ile donatı çubukları arasındaki aderans da yetersiz kalmaktadır. Bu tür aderans eksikliği beton ile donatının birlikte çalışmasını engeller, donatının akma noktasına ulaşmadan betondan ayrılmasına ve betondan beklenen momentlerin taşınamamasına neden olur (Dörttepe, 2001). Şekil 1’de de görüldüğü üzere kolonlarda 45° eğime sahip çatlaklar meydana gelir.

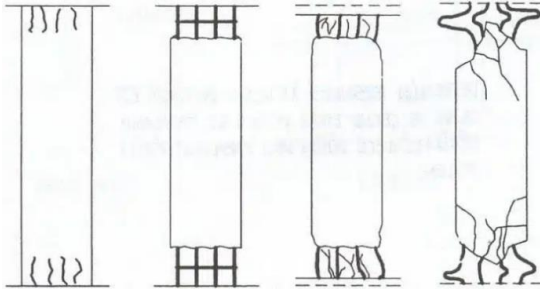


Şekil 1. Kolonda kesme kuvveti etkisinde oluşan eğik çatlaklar
(Yılmaz, 1998)

3.2 Kolonlarda Basınç Hasarı

Kolona etkiyen aksenal yüklerin artması sonucu aksenal yük taşıma kapasitesini aştığında kolonda ani-gevrek kırılma meydana gelir. Şekil 2’de görüldüğü üzere kolonun boyuna donatısı akma noktasına ulaşmadan betonda

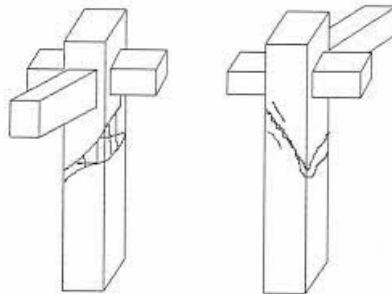
ezilme ve basınç kırılması meydana gelir. Boyuna donatılar dışarı doğru burkularak dış betonda çatlaklara neden olur. Kolonlardaki basınç hasarı yapının aniden çökmesine neden olabilir. Hasar sonrasında, hasarlı kolonlara yük aktaran kiriş ve döşeme elemanları askı elemanları ile desteklenerek derhal onarılıp güçlendirilmelidir (Ergin, 1998). Bir diğer önemli noktada etriyelerdir. Kolonlar, deprem yükleri altında büyük kesme kuvvetlerine maruz kalır bu yüzden kolonun sarmal bölgesinde kullanılan sargı donatılarının uçları betona 135° açıyla girecek şekilde bükülmelidir (Yılmaz & Umu, 2017).⁴



Şekil 2. Betonarme Kolonda Basınç Kırılması Aşamaları
(Şirin, 2006)

3.3 Kolonlarda Burulma Hasarı

Kolonlarda görülen bir diğer hasar türü de burulma hasarıdır. Şekil 3'te görülen kolonun bir tarafında diyagonal olarak uzanan çatlaklar ve beton dökülmeleri meydana gelirken diğer tarafında tekrardan diyagonal uzanan betonda basınç kırılmaları veya ezilmeleri meydana gelebilmektedir (Yılmaz & Umu, 2017).



Şekil 3. Burulma hasarı sırasında meydana gelen diyagonal çekme çatlakları
(Keskin, 2005)

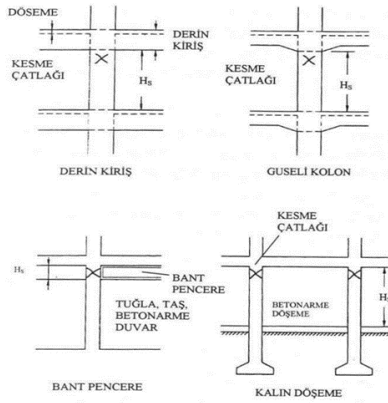
⁴ <http://w3.bilecik.edu.tr/insaat-en/wp-content/uploads/sites/118/2017/10/5-YAPILARDA-HASAR-BETONARME-YAPI-HASARLARI.pdf>

3.4 Kolonlarda Burkulma Hasarı

Kolonlarda meydana gelen burkulma hasarı, kolon uçlarındaki sargı donatılarının seyrek olması halinde karşılaşılr ve bu da istenmeyen bir durumdur. Zira donatının burkulması kolon başının dağılıp, eksenel yük altında kısılmasına sebep olur. Kısılma nedeniyle kolonun boyutlarında meydana gelen değişimler, kuvvetin yeniden dağılımına neden olacaktır (Arslan & Korkmaz, 2007)

3.5 Kısa Kolon Etkisi

Betonarme kolonlarda görülen çok tehlikeli kırılma nedenlerinden biri de kısa kolon oluşumudur. Kolonun net yüksekliği, kolon derinliğinin iki katından daha uzun olmalıdır. Bu nedenle net kolon yüksekliği kolon derinliğinin iki katından ($h_0/D \leq 2$) az olan kolonlara “kısa kolon” adı verilir (TBDY-2018). Şekil 4’te gösterildiği üzere çeşitli nedenlerden dolayı desteğin uzunluğu projede belirtilenden daha kısaysa, derin kiriş, guseli kolon, bant pencere, kalın döşeme veya taşıyıcı olmayan elemanlar, bölmeler, lentolar vb. kolonun yatay olarak deforme olmasını engelleyen elemanlar sonucu kolon beklenenden daha rijitse beklenenden daha büyük kesme kuvvetine maruz kalacaktır. Hesaplamalarda beklenenden daha büyük kesme kuvvetleri de kolonda kesme kırılmasına neden olur. Dolayısıyla, kısa kolonda görülen çatlaklar kesme çatlağı türünde olacağı için hasarın şekli açıklamış olduğumuz kesme hasarlarına benzemektedir. Kolonlar oturdukça kirişlerde oturma çatlakları oluşur ve kolonları birbirine bağlayan kirişlerin uçlarında mafsallaşma oluşur (Dörttepe, 2001; Sevük, 2000; Yılmaz & Umu, 2017). Teorik olarak kolon uzunluğu ne kadar kısa olursa elde edilen kesme kuvveti de o kadar büyük olur ve kolonlardaki kesme kuvvetleri binanın çökmesine neden olabilir (Çağatay, Beklen, & Mosalam, 2010; Yüksel, 2008).



Şekil 4. Kısa Kolon Hasarları (Yılmaz&Umu, 2017)

Kısa kolon yapı temelinin yapılacağı arazinin yapısına da bağlıdır: Temeller eğimli bir yüzey üzerine farklı kotlarda inşa edilmişse kısa ve uzun kolonlar meydana gelebilir. Kısa kolonlar büyük deprem kuvvetlerini absorbe eder. Bu nedenle yapı depreme karşı dayanıklı değildir ve depreme karşı davranışında olumsuz etkiler vardır. Bu nedenle kısa kolonlar büyük kesitlere ve çok fazla donatıya ihtiyaç duyar (Şirin, 2006). Özellikle binaların alt katlarında depo vb. ticari amaca hizmet eden kısımlarda kolonun tüm uzunluğu boyunca inşa edilmeyen duvar elemanları bant pencere olarak tanımlanır. Kısa kolon oluşumuna neden olan guse ve bant pencere uygulaması (Şekil 6) ülkemizde sık karşılaşılan bir durumdur (Etlı & Akgül, 2023).

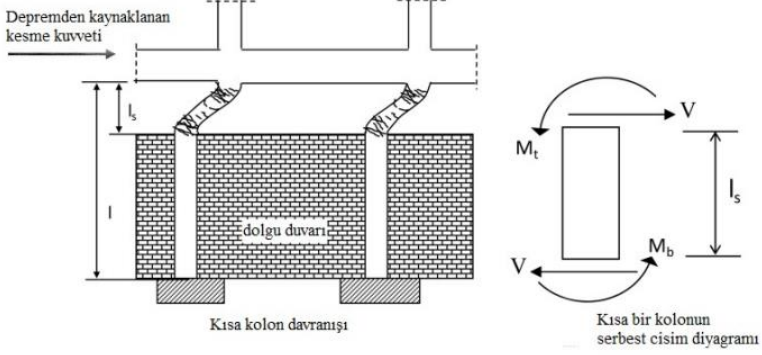
Şekil 5'te gösterilen kısa kolon davranışına göre kesme kuvveti hesap denklemi aşağıdaki gibidir (Çağatay, Beklen, & Mosalam, 2010):

$$V = \frac{Mt + Mb}{l_s}$$

Mt-Mb: Sırasıyla kısa kolonun üst ve alt kısmındaki eğilme momentleri

V: Kısa kolonun kesme kuvveti

Is: Kısa kolonun uzunluğu



Şekil 5. Kısa kolon davranışı
(Çağatay, Beklen, & Mosalam, 2010)



Şekil 6. Siirt ilinde gözlenen kısa kolon örnekleri

4. BULGULAR

Betonarme yapılar, dayanıklılıkları ve uzun ömürleri nedeniyle yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, çeşitli etmenlerin etkisi altında kolonlarda meydana gelen hasarlar, yapısal bütünlüğü ciddi şekilde tehdit edebilir. Bu makalede, betonarme kolonlarda sıkça karşılaşılan hasar türlerini ve bu hasarların nedenlerini incelemektedir. Yapılan literatür taramasından elde ettiğimiz bilgilerde de ülkemizde özellikle kısa kolon hasarının gözlenme sıklığının çok fazla olduğu aşikardır. Kısa kolon etkisi, literatür araştırmalarında yapısal performans üzerinde belirgin bir risk faktörü olduğunu belirtmektedir. Kısa kolonlar, yük taşıma kapasitelerinde azalmaya ve deformasyonlarda artışa neden olabilir. Makalelerden edinilen bilgiler neticesinde çatlaklar, karbonatlaşma, korozyon, depremin meydana getirdiği hasarlar ve kusurlu malzemeden dolayı yapımızın taşıyıcı elemanı olan kolonların hasar gördüğü belirtilmiştir. Bu bulgulardan betonarme kolonlarda en yaygın görülen hasar türlerinden biri çatlaklardır. Bu çatlaklar genellikle çevresel etmenler, yük değişiklikleri ve malzeme kusurları gibi nedenlerden kaynaklanabilir. Yapılan gözlemlerde, çatlakların genellikle kolonun alt kısmında yoğunlaştığı ve zamanla yük taşıma kapasitesini azalttığı gözlemlenmiştir (Çırak, 2011), bir diğer önemli hasar nedeni karbonatlaşmadır. Bu durum, betonun içindeki çimento matrisinin karbondioksit ile reaksiyona girmesi sonucu ortaya çıkar. Karbonatlaşma, kolonların dayanıklılığını azaltabilir ve çatlak oluşumuna neden olabilir. Kolonlarda meydana gelen bir diğer yaygın hasar türü korozyondur. Özellikle demir donatı elemanlarının zamanla oksitlenmesi sonucu ortaya çıkan korozyon, yapısal bütünlüğü ciddi şekilde etkileyebilir. Korozyonlu demir donatı, kolonun taşıma kapasitesini azaltabilir ve çatlaklara neden olabilir (Baradan & Aydın, 2013). Özellikle deprem bölgesinde bulunan betonarme yapıların kolonları, depremler sırasında maruz kaldıkları yatay yükler nedeniyle ciddi hasarlara uğrayabilir. Yapılan literatür incelemelerinde, depremlerin kolonlarda çatlaklara, kaymaya ve eğilmeye neden olduğu belirtilmiştir. Bu durum, yapısal tasarımın deprem etkilerine karşı yetersiz olduğunu göstermektedir. Bir diğer durumda beton ve donatı malzemelerindeki kusurlar veya yanlış kullanımları da kolonlarda hasara neden olabilir. Yetersiz kalite kontrolü, düşük kaliteli malzeme kullanımı veya uygunsuz malzeme birleşimleri, kolonlarda zayıf noktalar oluşturabilir ve dayanıklılığı azaltabilir (Etli & Akgül, 2023). Betonarme kolonları saran etriye

aralıkları ve etriye için kullanılan donatı çapı da bu hususta dikkat edilmesi gereken bir durumdur. Özellikle kısa kolon oluşumlarında etriye sıklaştırılmasına daha da dikkat edilip, özen gösterilmelidir (Albakour & İpek, 2023). Bu bulgular, betonarme kolonlardaki hasarların çeşitli nedenlere bağlı olarak ortaya çıkabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, yapısal mühendislikte güçlü tasarım, kaliteli malzeme kullanımı ve düzenli bakım gibi önlemler, kolon hasarlarının önlenmesi veya azaltılması için kritik öneme sahiptir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Betonarme yapılarda meydana gelen kolon hasarları, yapıların dayanıklılığını ve güvenliğini ciddi şekilde etkileyebilen önemli bir konudur. Bu makalemizde, çeşitli etkenlerin etkisi altında ortaya çıkan kolon hasarlarını, bunun nedenlerini ve kısa kolon etkisi incelenmiştir. Bu hasarların, yapıların ömrünü kısaltabileceği ve kullanım güvenliğini tehlikeye atabileceği açıktır. Bulgular, kolon hasarlarının genellikle çatlaklar, karbonatlaşma, korozyon, deprem etkileri ve malzeme kusurları gibi faktörlerden kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, yapısal mühendisler, mimarlar ve inşaat profesyonelleri, betonarme yapıların tasarım, yapım ve bakım süreçlerinde özenli bir şekilde çalışmalıdır. Kısa kolon hakkında da yapılan literatür araştırmaları, kısa kolon etkisinin yapısal performans üzerinde belirgin bir risk faktörü olduğunu ve yük taşıma kapasitelerinde azalmaya ve deformasyonlarda artışa neden olabileceğinden bahsetmektedir. Betonarme yapıların tasarım aşamasında, özellikle kısa kolonların bulunduğu bölgelerde, dikkatli bir mühendislik ve inşaat planlaması gereklidir. Yetersiz boyutlandırma ve malzeme seçimi, kısa kolon etkisinin negatif etkilerini arttırabilir.

- İlk olarak betonarme yapıların düzenli bakımı ve izlenmesi, olası hasarların erken tespiti ve önlenmesi için kritik öneme sahiptir
- Yapılarda kesinlikle kısa kolon oluşumundan kaçınılmalı, kısa kolon etkisinin erken tespiti ve gerekli önlemlerin alınması da önemli bir etkidir.
- Yapıda kısa kolon oluşumu var ise kısa kolonların tümü kat yüksekliği boyunca sık etriye ile sarılmalıdır.
- Yapı malzemelerinin kalitesi ve dayanıklılığı da önemli bir faktördür. Yüksek kaliteli beton ve donatı malzemeleri kullanımı, kolon hasarlarını minimize etmede etkili bir yöntemdir.

- Yapım sürecinde kalite kontrolü ve yapı denetimi önemlidir. Malzeme kalitesinin sürekli olarak kontrol edilmesi ve inşaat sürecinin standartlara uygunluğunun denetlenmesi, yapısal bütünlüğü sağlamak için gereklidir.
- İnşaat sektöründeki profesyonellerin ve yapı sahiplerinin, kolon hasarları ve kısa kolon hasarına karşı farkındalığı arttırmak ve gerekli önlemleri alabilmeleri için eğitilmeleri önemlidir. Bilinçli bir yaklaşım, yapısal güvenlik açısından kritik öneme sahiptir.
- Kesme kuvvetinin büyük değerlerde olduğu kolon birleşim bölgelerine gerekli donatı çapı, uç bölgelerinin bükülmesi (135°) gibi etmenlere dikkat ederek etriye sıklaştırması uygulanmalıdır. Sargılama etkisi betonun dayanımını önemli ölçüde artırır.

Sonuç olarak, bu makalede betonarme yapılarda meydana gelen kolon hasarları ve kısa kolon oluşum nedenlerinin üzerinde durulmuştur. Bu hasarları önlemek veya azaltmak için bütünlük, kalite kontrolü, düzenli bakım ve uygun tasarım önlemleri hepsi bir arada düşünülmelidir. Verilen bu bilgiler yapısal mühendisler, mimarlar ve inşaat profesyonellerini bu konuda bilinçli bir yaklaşım benimsemeleri için rehberlik edebilir ve bu önerilerin uygulanması da yapısal güvenliği arttırabilir, uzun ömürlü yapılar oluşturulmasına da katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- Akbaş, A., & Çalışkan, Ö. (2023). Deprem etkisinde hasar alan betonarme yapıların düzensizlik türleri yönü ile incelenmesi. *In International Conference on Scientific and Academic Research*(1), s. 428-435.
- Albakour, A., & İpek, C. (2023). Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı., (s. 227-237).
- Arslan, M. H., & Korkmaz, H. H. (2007). What is to be learned from damage and failure of reinforced concrete structures during recent earthquakes in Turkey? *Engineering Failure Analysis*, 14(1), s. 1-22.
- Baradan, B., & Aydın, S. (2013). Betonun Durabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık). *Hazır Beton Kongresi*, s. 265-288.
- Bayülke, N. (1995). Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi. *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*.
- Çağatay, İ. H., Beklen, C., & Mosalam, K. M. (2010). Investigation of short column effect of RC buildings: failure and prevention. *Computers and Concrete*, 7(6), s. 523-532.
- Çırak, İ. F. (2011). Damages Observed In Reinforced Concrete Buildings, Causes And Recommendations. *International Journal of Technological Sciences*, 3(3), s. 62-71.
- Dörttepe, U. (2001). *Betonarme yapıların onarımı ve güçlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ergin, C. (1998). *Betonarme yapıların onarım ve güçlendirme teknikleri ve çok katlı bir yapıya uygulanması*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Etili, S., & Akgül, M. (2023). 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık, Elbistan) Depremleri Sonrası Betonarme Binalarda Gözlenen Hasar Durumları. *In International Conference on Scientific and Innovative Studies*, 1(1), s. 309-318.
- İşçi, C. (2008). Deprem nedir ve nasıl korunuruz. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 3(9), s. 959-983.
- Keskin, E. (2005). *Betonarme yapıların onarımı, güçlendirilmesi ve lifle güçlendirilmiş polimerler*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Meral, E. (2019). Betonarme Binalarda Kısa Kolon Etkilerinin Araştırılması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(2), s. 515-527.
- Oyguç, R. A. (2022). 24 Ocak 2020 Elazığ Depreminde Hasar Gören Yapıların Sismik Davranışlarının İncelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(1), s. 140-155.
- Sevük, F. (2000). *Yapı hasarları ve hasarların iyileştirilmesi üzerine bir inceleme*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şirin, C. (2006). *Yapılarda oluşan hasar biçimleri ve nedenleri ve yapıların onarım ve güçlendirilmesi teknikleri İle bir yapının güçlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- THBB. (2022). *Hazır Beton Sektör Raporu*. İstanbul: Türkiye Hazır Beton Birliği.
- Yılmaz, M. K. (1998). *Betonarme yapılarda depremler sonucunda oluşan hasarlar ve onarım yöntemleri*. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yüksel, İ. (2008). Post-Earthquake Emergency Damage Assesments Of Reinforced Concrete Buildings. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(1-2), s. 260-276.
- <http://w3.bilecik.edu.tr/insaat/wp-content/uploads/sites/28/2017/10/5-YAPILARDA-HASAR-BETONARME-YAPI-HASARLARI.pdf>
- <https://tr.wikipedia.org/wiki/Betonarme>
- TBDY-2018. “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği,” Ankara. 2018.
- TS 500. “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları,” Ankara. 2000.
- TS EN 206. “Beton-Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk,” Ankara. 2002.
- TS 708. “Çelik – Betonarme İçin – Donatı Çeliği,” Ankara. 2016.

BÖLÜM 5

TARİHİ KAGİR YAPILARDA KULLANILAN DUVAR MALZEMESİ VE HARÇLARIN İNCELENMESİ: SİİRT ÖRNEĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut DURMAZ¹
Mustafa EGE²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10401428>

¹ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı Dr. Öğr. Üyesi E-posta: mahmutdurmaz@siirt.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-6060-4258

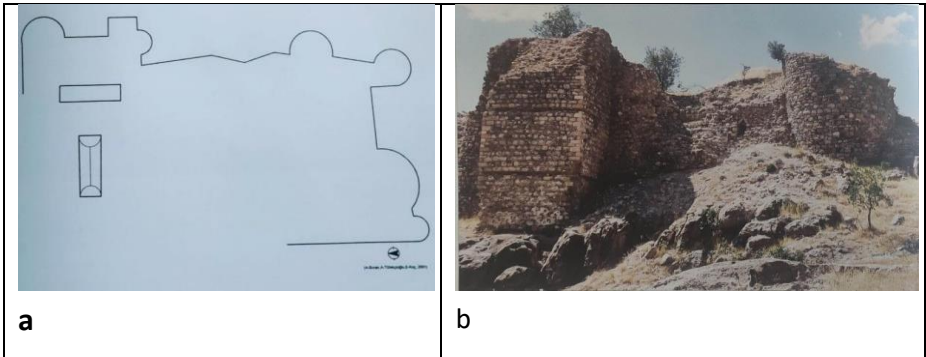
² Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği E-posta: mustafa.ege02@hotmail.com, Orcid ID: 0009-0004-4891-8942

1. GİRİŞ

Ülkemizde bulunan tarihi yapıların büyük bir bölümünü yığma yapım tekniği kullanılarak inşa edilen kagir yapılardan oluştuğu bilinmektedir. Taşıyıcı yapılarının taş, tuğla gibi malzemelerden yapılmış olan yapılara kagir yapılar denir. Yapı malzemelerinin harçlı yada harçsız olarak üst üste dizilmesiyle elde edilen yapılarda temelden başlanarak çatıya kadar aynı düzlemde örülen duvarlar yapıya etki eden yükleri taşırlar(Bozacı, M. K., 2023).

Siirt tarihi yerleri bakımından çok zengin bir ildir. Kaleler, Tillo evleri, tarihi cami vb. bir çok yapıya ev sahipliği yapmaktadır. Bu bölgede bulunan kalelerin Selçuklu ve Osmanlıların bölgeyi fethettikten sonra yol güvenliğini sağlamak ve yerleşim yerlerini korumak için savunma amaçlı inşa edildiği düşünülmektedir(Boran A. vd. 2009).

İncekaya Kalesi; Siirt ili Şirvan ilçesinde bulunan İncekaya köyünün kuzeyinde tek parça bir kaya üzerinde taşlar ile yapılmış bir kaledir. Kalenin Selçuklu dönemindeki durumu ile ilgili herhangi bir belge bulunmamaktadır. Kalenin herhangi bir yerinde kitabesi bulunmamaktadır. Salih Bey Şirvâni tarafından yazılan el yazması “Kitâbu Tevârihi’l- Ensâb” isimli eserinde kalenin 1666 yılında inşa edildiğini yazmıştır. Ayrıca Van Eyaleti’ndeki aşiret beyleri ve kethüdalarına yazılan 1702 tarihli hükümde; kalenin yapımı için emir verildiği yazmaktadır. Kalenin üç tarafı burçlarla desteklenirken bir tarafı doğal kayalık alana yaslandırılarak inşa edilmiş. Kale, yarım daire planlı ve farklı büyüklükte altı adet; biride dikdörtgen kesitli olmak üzere toplam yedi adet burç ve surlarla çevrilmiştir(Şekil 1a,1b)(Boran A. vd. 2009).



Şekil 1a .İncekaya Kalesinin Kroki Çizimi **b.** İncekaya Kalesi Sur Ve Burçları(Boran A. ve Ark.2009).

İncekaya kalesinin Osmanlı döneminden kaldığının söylendiği gibi kalenin Bizans döneminden kaldığını ifade eden kaynaklarda vardır. Bizans döneminde Rumlar tarafından yapılan İncekaya kalesi uzaktan şatoya benzemektedir. Kalenin içerisinde seksen civarında oda ve bir adet su sanıcı bulunmaktadır. Kale Osmanlı zamanında derebeyleri tarafından kullanılmıştır. Kale içinde seksen civarında oda ve bir su sarnıcı vardır(Siirt Valiliği İl Özel İdare Müdürlüğü, 1998; Çelik vd. 2018).

Taşlar günümüzde olduğu gibi geçmiş zamanda da yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Kormas Kalesi'nin yapımında da taşların kullanıldığı görülmektedir. Kullanılan taşların yöreye ait taşlar olduğu tahmin edilmektedir. Kale yapımında moloz taşlar, düzgün kesme taşlar ve kırma taşların kullanıldığı söylenmektedir(Boran A. vd. 2009).

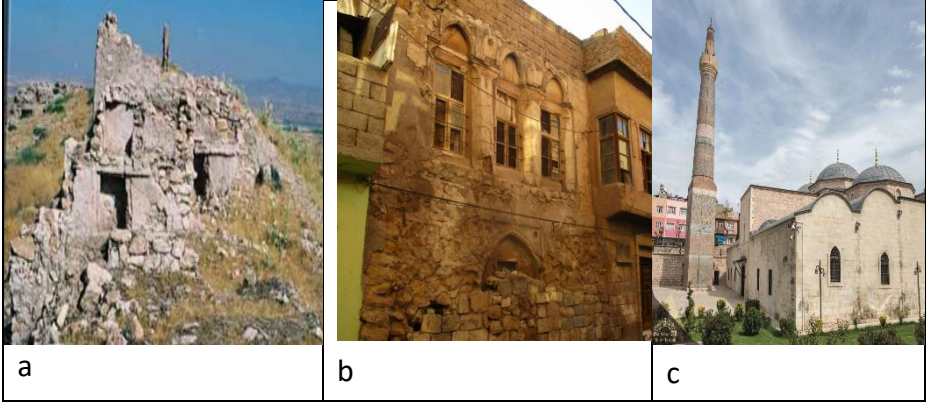
Garzan Kalesi; Kalenin yapım tarihi ve kim tarafından yapıldığı ile ilgili bir bilgi bulunmamaktadır. Yüksek bir tepe üzerine inşa edilen kale konumu itibariyle çevreye hakim bir yerdedir. Kalenin yapım tekniği ve kullanılan malzemelerden yola çıkılarak XVII. yy Osmanlı döneminde yapıldığı düşünülmektedir. Kalenin günümüze kadar ulaşan bölümleri incelendiğinde yapım esnasında kırma ve moloz taşların kullanıldığı görülmektedir (Şekil 2a) (Kiran S. 2017).

Derzin Kalesi; Baykan ilçesinin 8 km doğusunda Adakale köyünde yer almaktadır. Kale kayalıklar üzerinde kırma ve kesme taşlar kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan malzeme ve yapım tekniği kalenin XVI. yüzyıl Osmanlı döneminden kalan bir eser olduğunu göstermektedir. Kalenin bir kısmı günümüzde yıkık şekilde bulunurken bir kısımda toprak altında bulunmaktadır(Pekol F., 2017).

Cas (Tillo) Evleri; Günümüzde hâlâ konut olarak kullanılan bölgenin tarihi yapılarından olan Tillo evleri bölgede bulunan moloz taşların örülmesi ile yapılmıştır. Moloz taşlarla örülen duvarların bölgede bulunan kireç taşı ve jipslerin öğütülerek elde edildiği harç türü ile sıvanmıştır. Bölgeden temin edilen moloz taşların boyutu örülen duvarların kalınlığına etki eden önemli bir sebeptir.(İnalcan vd. 2022)Duvar örmek için kullanılan moloz taşlarının kireç taşı olması ve kireç taşlarının dayanıklı bir yapıya sahip olmaması sebebi ile evler inşa edilirken evlerin alt kısmı geniş şekilde yapılip yapının boyu

yükseldikçe üst kısımların daraltılarak devam ettiği görülmektedir (Şekil 2b) (Ege, S. C. vd. 2023).

Ulu Camii; Anadolu'daki en eski yapılardan biri olarak kabul edilen Siirt Ulu Camii'nin tam olarak ne zaman yapıldığı bilinmemektedir(Ayhan R. 2022).1957 senesinde Vakıflar Genel Müdürlüğünün başlatmış restorasyon çalışmalarında Camii'nin ilk yapısının tuğla temelli olduğu anlaşılırken daha sonra yeniden inşa edildiğinde moloz ve kesme taşlar kullanılarak yapıldığı görülmüştür(Şekil 2c) (Öztürk ve ark. 2007).



Şekil-2 a: Garzan Kalesi(URL8) b: Cas Evi(URL6) c:Siirt Ulu Camii(URL7)

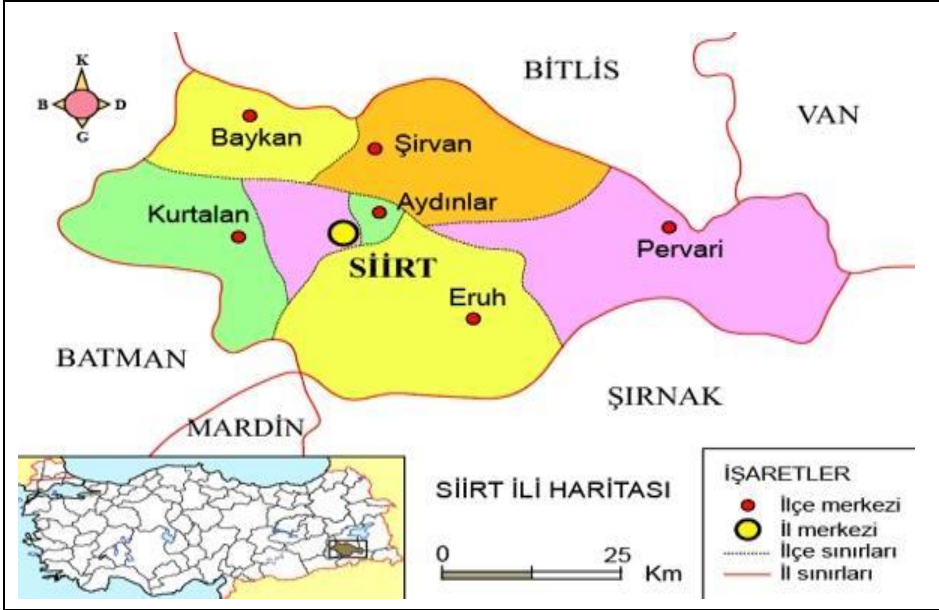
2. Materyal ve Metot

Siirt, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Güneydoğu Toroslarının eteğinde Dicle nehrinin kolları olan Botan ve Reşan çayları arasında yer almaktadır. 5406 km² yüzölçümüne sahip olan Siirt deniz seviyesinden 930 metre yüksekte yer almaktadır. Tillo, Baykan, Eruh Pervari, Kurtalan ve Şirvan olmak üzere altı adet ilçesi vardır (Şekil 3) (Hüseyin ve vd., 2018).

Siirt ilinin jeolojik yapısını anlamak için daha önce petrol aramak amacıyla yapılan araştırmaların sonuçlarına bakıldığında değişik yaşta jeolojik kütlelerin var olduğu görülmektedir. Bu jeolojik kütlelerin en yaşlı olanı Siirt Bitlis arasındaki başkalaşım kayalarındır.

Yörede sıklıkla bulunan tebeşirli kalker taşları, yontulma ve işlenmeye elverişli olduğundan genellikle yapı taşı olarak kullanılmaktadır(Siirt Valiliği İl Özel İdare Müdürlüğü, 1998).Yörede bulunan sert kalkerlerin üzeri neojen yaşlı kil, marn, silt ve kum taşları ile kaplanmış. Bu sebeple yörede geniş

düzlükler ve ovalar oluşmuştur. Bu oluşumlar arasında rastlanan jipsli tabaka yüzeyleri de mevcuttur. Jips taşı % 80-85 oranında yapı alçı üretiminde kullanılırken % 10-15 oranında endüstriyel alanlarda yapılan üretimlerde kullanılmaktadır. (Öykü vd. 2019) Jipsler halk arasında ‘Cas Taşı’ olarak bilinmektedir. Cas taşları eskiden yakılıp ufalandıktan sonra yapılarda kullanılan birleştirici madde olarak kullanılmıştır(Siirt Valiliği İl Özel İdare Müdürlüğü, 1998, s. 101).



Şekil 3. Siirt ilinin Türkiye üzerindeki yeri ve İlçelerinin coğrafi konumu(URL9)

Siirt ili ve çevresinde bulunan tarihi yapıların yapımında kullanılan yapı malzemelerini ve bu malzemelerin özellikleri hakkında geniş bir araştırma yaparak elde ettiğimiz bilgiler derlenmiştir. Siirt yöresinde bulunan ve yapı malzemesi olarak kullanılabilen taşlar ve geçmiş dönemden günümüze kadar ulaşan tarihi yapılarda sıklıkla kullanılan harç ve betonların nasıl elde edildiği ve genel özellikleri hakkında daha önce bu konu hakkında yapılan araştırmalardan elde ettiğimiz bilgiler bir araya getirilmiştir.

3. Bölgede Bizans ve ilk Osmanlı Dönemi Yapılarında Duvarda Kullanılan Harçlar ve Malzeme Özellikleri.

3.1. Harçlar

Günümüz yapılarında olduğu gibi tarihi yapılarda da harçlar önemli bir yapı malzemesi olarak yer almıştır(Mavi ve ark 2000).Osmanlı dönemindeki yapılar incelendiğinde kireç içeren harç ve sıvaların sıklıkla kullanıldığı görülmüştür(Solak vd. 2023).Bizans ve Osmanlı döneminde bağlayıcı malzeme olarak Horasan harcı başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Günümüzde hâlâ varlığını sürdüren tarihi Türk -İslam yapılarında horasan harcına rastlanmaktadır(Şatongar Ş. L., 1994).

Cas Harcı; Siirt ilinde sıklıkla bulunan jipsin fırınlarda yakıldıktan sonra öğütülerek elde edilen bir tür alçı olan cas maddesi geçmişte temel yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Bağlayıcı malzeme olarak kullanılan cas harcı aynı zamanda iyi bir yalıtım özelliği sergilemektedir.(Koday vd. 2017)Bölgedeki yataklardan elde edilen cas tandırlarda pişirildikten sonra ezilip çimentoya benzer bir hal alır. Cas maddesi elde etmenin tek yolu sadece kireç taşı ve ya jips değildir. Bölgede bulunan diğer moloz taşlarda öğütülüp karışım elde edilebilir. Elde edilen cas harcını sudan arındırmak için üç gün boyunca fırınlama yöntemi kullanılarak kuruttuktan sonra toprak haline gelen cas maddesi toz haline getirilmek için tokmaklarla ezilir. Elde edilen cas tozu duvar örmek için kullanılır(Bahar vd. 2020).

Horasan Harcı;Tuğla, kiremit gibi pişmiş toprak malzemelerin kırılıp öğütülmüş haline horasan adı verilir(Kahraman vd., 2008;Şatongar Ş. L., 1994)Horasan harcı ise horasan adı verilen tuğla ve kiremit gibi malzemelerin kireç ile karıştırılmasından elde edilen bağlayıcı malzemedir. Horasan harcının avantajı kullanılan malzemenin yavaş bir şekilde reaksiyona girmesiyle yavaş bir şekilde sertleşmesidir. Bu sayede homojen bir yapı oluşmakta ve basınç dayanımı artmaktadır. (Kanıt vd., 2004)Horasan harcının özelliği kullanılan kirecin özelliğine, kullanılan agreganın boyutuna ve kullanılan suyun oranına göre değişiklik gösterir.(Kahraman vd., 2008)

Horasan Harcının Yapımındaki Önemli Özellikler

- Ağırılıkça kireç/tuğla kırıkları oranı 1/3 olacak şekilde yapılması (Şatongar Ş. L., 1994)
- Kullanılan tuğla kırıkları iyi miktarda kil içermelidir.

- Hammadde olarak kullanılan tuğlalar iyi pişirilmelidir.
- Tuğlaların iyi pişmesi puzolanik özellik kazanmasını sağlayacaktır.
- Puzolanik malzeme olarak kullanılacak tuğla parçalarının ufak olacak şekilde öğütülmesi bu süreci hızlandıracaktır.(Kanıt vd. 2004).

Kireç ve puzolonik malzemenin reaksiyona girmesiyle yavaş sertleşen Horasan harcı duvarla homojen bir yapı oluşturarak avantaj sağlamaktadır. Bu yapı sayesinde dayanıklı ve iyi basınç dağılımı sağlanmaktadır(Kahraman vd. 2009).

Eski yapılarda yapılacak olan yenileme çalışmaları, orijinal malzemeye sadık kalınarak yapılmalıdır. Bu gerekliliği sağlayabilmek için Türkiye Cumhuriyeti Vakıflar Genel Müdürlüğü (T.C.V.G.M) eski kayıtları göz önüne alarak Horasan harcının orijinal haline benzeyecek şekilde bir harç formülü belirlemiştir. Yapılacak olan harcın yaklaşık 0.01 m³ için kullanılacak malzeme çeşitleri ve miktarları verilmiştir.

Çizelge 1 Horasan harcının 0.01 m³ teki malzeme çeşitleri ve miktarı (Kanıt vd., 2004)

Malzeme	Miktar
Tuğla Parçası	10 tane dolu tuğla
Taş Parçası	5,4 kilogram
Kireç	6480 santimetre küp
Mermer Tozu	1,08 kilogram
Su	2160 santimetre küp
Keçi Kılı	86 gram

Geçmişte kullanılan Horasan harcının değişik üretim şekilleri yapılmış olan araştırmalarda görülmüştür. Horasan harcı elde etmek için kullanılan farklı karışımlardan bazıları (Mahrebel H. A., 2006);

Geleneksel Horasan Harcı

- Yumurta akı, Su, Horasan pirinci ve Dinlendirilmiş kireç
- Kireç, Yıkayıp kavrulmuş kum, ½ oranında Alçı ve su
- 2 Kireç, 1 Horasan, Bir miktar dişli kum ve meşe külü, su

1. Kum Horasan Harcı

Yumurta akı, Kum, Su, Horasan pirinci ve Dövülmüş Kireç (Harcın uzun süre karıştırılması gereklidir.)

2. Horasan Sıvası

- Tuz, Yumurta akı, Alçı, Kireç
- 2 Horasan, ½ oranında perdah kumu ve beyaz çimento şeklindedir.

3.2.Roma Betonu

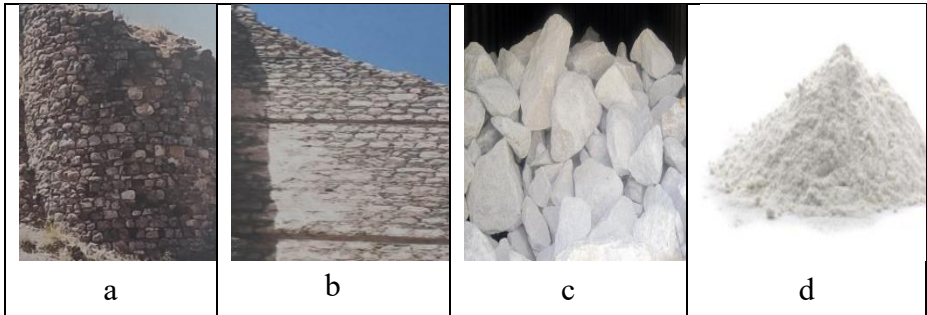
Günümüzde kullanılan betona benzer olan Roma betonu, eski dönemlerde bağlayıcı madde olarak kullanılan kirecin içerisine puzolan toprağı karıştırılarak elde edilen bir bağlayıcı malzemedir. Daha sonra elde edilen karışıma kum, çakıl gibi malzemeleri ekleyerek Roma betonunu elde etmişler. Roma imparatorluğunun hakim olduğu bölgelerin hepsinde bulunmayan puzolan toprağı yerine bölgeye ait yerel malzemeler kullanılmıştır(Çördük A., 2006).

Roma betonu üretmek için farklı malzemeleri de göz önüne alarak anlatmıştır.

- Üretilecek betonda nehir, kumul ve ocak kumu kullanılması durumunda kullanılacak malzeme oranları 2/1;2/1 ve 3/1 şeklinde olur.
- Beton üretimi için hazırlanan harç karışımına çakıl parçaları ve kırık tuğlalar eklendiği takdirde kum/parça/kireç oranı2/1/1 olur.

Ve bilinen beton elde edilir.

Harçta kullanılacak suyun %15-20 oranlarında olması gerekirken harca puzolan malzemesi eklendiği takdirde harçta kullanılan puzolan malzemesinin kirece oranı 2/1 olmalıdır(Çakmak vd., 2021).



Şekil 3 Doğal Taşların kullanımı, çeşitleri **a.** Moloz Taş. **b.** Kesme Taş.(Boran A., 2009) **c.** Kalkertaşı.(URL11) **d.** Kireç Tozu.(URL10)

3.3. Taşlar

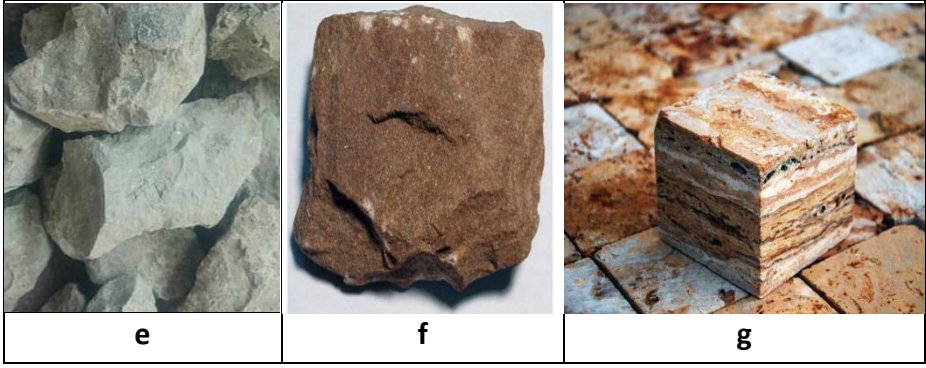
Bizans döneminde bazalt, mermer, kireçtaşı, traverten ve volkanik tüfler kullanılırken Osmanlı döneminde traverten, mermer, bademli küfeki taşı, serpantin ve renkli granit kullanılmıştır (ARAMA, M. T. V., & MÜDÜRLÜĞÜ, 2018). Söylenen taşlar arasında bölgede ocaktan çıkarılan traverten taşı vardır (Altınçekiç vd., 2001).

Moloz Taşlar; Değişik ebatlarda ocaklardan çıkarılıp işlem görmeden kullanılan taş çeşitleridir. Düzgün yüzeylere sahip değildir. Taş duvar örmek için kullanıldığında dışarıda kalan çıkıntılı kısımları çekiç ya da benzer bir aletle kırılarak düzeltilir. (Çelik vd., 2003) Değişik ebatlı ve geometrik bir şekle sahip olmayan taşlardır (Şekil 3a) (DSİ 2018).

Kesme Taşlar; Doğadan elde edilen taşların atölyelerde işlenmesiyle istenilen şekil ve boyutlara getirilerek kullanılan taşlardır. Geçmiş dönemlerde olduğu gibi günümüzde de duvar örmek için sıkça tercih edilmektedir. Taşın bütün yüzeyleri düzgün bir şekildedir. Kullanım amacına göre farklı boyutlarda işlenebilir. Kesilip işlenebilen her türlü taş çeşidi kesme taş olarak kullanılabilir (Şekil 3b) (Çelik vd., 2003).

Kalker (Kireç) Taşları; Kireç antik çağlardan bu yana birden fazla alanda kullanılan bir malzemedir. Kireç taşları kalsiyum içeren kireç taşları (Şekil 3c) ve dolomitik kireç taşları olmak üzere ikiye ayrılır. Kalsiyumlu kireç taşlarında % 97-99 arasında $CaCO_3$ içerirken dolomitik kireç taşları %43'e kadar $MgCO_3$ içerebilmektedir (Çiçek vd., 2002; Tülay v, 2016). Üretilen çimento kalitesinin olumsuz etkilenmemesi için kireç taşının bünyesinde magnezyum ve diğer yabancı maddelerin oran olarak % 5 ten az olması gerekir. (Korkmaz vd., 2019)

Beton üretimi için kullanılan kireç taşı tozu (Şekil 3d) homojen bir şekilde dağılmaması durumunda betonun dayanımını olumsuz etkiler. Beton agregası olarak kullanılan kum vb. malzemeler pozitif yüklü iken kireç taşı tozu negatif yüklü bir malzeme olduğundan agrega yüzeyine yapışır. Buda betonun iyi karıştırılmaması durumunda beton dayanımını olumsuz etkiler (Ulugerger vd., 2018).



e. Kil Taşı (URL4). f.Kum Taşı (URL3). g. Traverten taşı (URL2).

Kil (Şist);Çimento üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Kil yapısında bulundurduğu alüminyum oksit(Al_2O_3) ve sulu alüminyum silikatlardan meydana gelen yüksek oranda silisyum oksit(SiO_2) ve demir oksit(Fe_2O_3) içermesi diğer minerallerden ayıran en önemli özelliktir.(Şekil 3e) (Korkmaz vd., 2019)

Bir malzemenin yapı malzemesi olarak kullanılmasında dayanıklı olup olmadığına bakılır. Dayanıklı bir yapıya sahip olan kil yapı bakımından yangına ve hava şartlarına karşı dayanıklıdır. Kil bulunduğu bölgeye göre farklılık gösterebilir.(Hossin vd., 2021)

Kum Taşı; Kum tanelerinin doğal bir çimento maddesi ile yapışmasıyla meydana gelen taş türleridir. İçinde bulunan mineral ve yabancı maddelere bağlı olarak farklı renklerde olabilir. Hava koşullarına karşı oldukça dayanıklı olan kum taşları günümüzde yol ve kaldırım döşemelerinde kullanılmaktadır.(Şekil 3f)(Wikipedia, URL1)

Traverten; Gözenekli bir yapıya sahip hafif taşlardır. Ocaklardan çıkarıldığında yumuşak bir yapıya sahip olan traverten taşı kolayca işlenir. Traverten taşı hava ile temas ettikten sonra sertleşir. Sahip olduğu gözenekli yapıya rağmen çok sert ve sağlam bir taştır. Yurdumuzda bulunan önemli traverten ocaklarına sahip illerden biride Siirt'tir (Şekil 3g)(Altınçekiç vd., 2001).

4. Bulgular

- Cas harcı kullanılarak sıvanan Tillo evleri bu sıva sayesinde yaz aylarında serinken kış aylarında sıcaktır.(Kıran S., 2017)
- Erken Osmanlı dönemi mimarisinde Bizans ve Selçuklulardan etkilendiği görülmüştür. Erken dönem Osmanlı mimarisinde duvar örgüsünde Selçuklular döneminde olduğu gibi kesme taşların kullanıldığı görülmüştür. Önemli Osmanlı yapılarında kullanılan kesme taşlar eşit büyüklüktedir(Ekinci vd., 2012).
- Yapılan yapıların bazılarında kesme taş ile örülen dış duvarlarda kullanılan Horasan harcına su yalıtımı özelliği olan alçı ve bezir yağı eklenmiştir(Kolay vd., 2016).
- Horasan harcının günümüzde de bir çok tarihi yapının restorasyonunda kullanıldığı bilinmektedir(Çakmak vd., 2021).
- Horasan harcının dayanımı kullanılan kirecin kalitesine bağlıdır. Çok geç sertleşen ve dayanımını uzun bir sürenin ardından kazanmasından dolayı geçmişte Horasan harcı kullanılarak yapılan yapılar temeli atıldıktan uzun bir süre sonra yapımına devam edilirdi(Mahrebel H. A., 2006).
- Bizans dönemi kagir yapılarında taş ve tuğlanın beraber kullanıldığı görülmektedir. Bizans dönemi yapılarının batıdaki Roma yapılarında kullanılan duvar tekniklerine göre farklılık göstermesinde kesme taş rol almaktadır(Ekinci vd., 2012).
- Traverten taşlarıyla çalışmaktan zevk alan ustaların bu taşla çalışmaktan zevk almasının sebebi Traverten taşlarının sahip olduğu gözenekli yapısının göze oldukça estetik gelmesidir(Çördük A., 2006).
- Yük taşıyıcı mekanlarda yapı malzemesi olarak kullanılacak olan traverten taşlarının basınç dayanım değeri en az 489,29 kg/cm²
- Kireç taşının basınç dayanım değeri en az 509,68 kg/m² olmalıdır(Güneri S., 2009)
- Hem Roma döneminde hem de Osmanlı döneminde Horasan harcı yapımında kullanılacak kirecin sönmüş şekilde uzun yıllar bekletildikten sonra kullanıldığı bilinmektedir. Bunun yapılmasındaki sebep bekletilen kirecin su tutma kapasitesinin ve plastik özelliğinde artış olmasıdır(Cinemre, M. 2019).

- Yapı malzemesi olarak kullanılan taşların oluşum şekli ve içinde bulunan mineraller basınç dayanımına etki etmektedir. Elde edildiği bölgelere farklı basınç dayanımları a sahip olan taşlar bu yönden sınıflandırılırsa volkanik taşların tortul taşlara göre daha sert ve dayanıklı olduğu görülmektedir(Aytekin İ., 2006)
- Puzolonik malzeme eklenerek yapılan harçların su içerisinde bile sertleştiği görülmüştür. Bunun sebebinin kireçle reaksiyona giren puzolonik malzemenin yapılan harca hidrolik bağlayıcılık özelliği kazandırmasıdır.(Mavioğlu Ü. A., 2011)

5. Sonuç

Tarihi yapılarda kullanılan yapı malzemeleri ve harçlar hakkında detaylı bir araştırma yapılarak kullanılan malzeme ve harçlar hakkında yapılan araştırmalar incelenerek bilgiler toplanmıştır. Yapılarda kullanılan taş malzemelerin türleri ve bölgede yapı malzemesi olarak kullanılabilir taşlar hakkında bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda tarihi yapılarda genellikle kesme ve moloz taşların kullanıldığı görülmüştür. Bölgedeki bazı tarihi yapılarda kullanılan bağlayıcı malzemenin yörede sıklıkla bulunan jips taşının işlenmesiyle elde edilen Cas harcı olduğu görülmüştür. Geçmiş zamanda bölgeye hakim olan devletlerin yapılarını inşa ederken Horasan harcını kullandıkları yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Kullanılacak olan Horasan harçlarının üretimi için kullanılacak kireçlerin uzun süre sönmüş şekilde bekletildikten sonra kullanıldığı, bu şekilde kullanıldığında kirecin plastik özelliğinde artış olduğu saptanmıştır. Tarihi yapılarda bağlayıcı malzeme olarak kullanılan Horasan harcının birden fazla çeşitte yapıldığı yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Farklı şekillerde yapılsa bile hepsinin aynı amaçla kullanıldığı görülmektedir. Horasan harcı yapımında puzolonik malzeme olarak kullanılan pişirilmiş toprak malzemelerin(tuğla parçaları gibi) harca hidrolik bağlayıcılık özelliği kazandırdığı ve bu özellik sayesinde yapılan harcın suda bile sertleşebildiği anlaşılmıştır.

Kullanılan kesme ve moloz taşlar bölgedeki kayalardan yararlanılarak elde edilmiştir. Bu durum göz önüne alındığında kullanılan taşların bölgede sıkça bulunan traverten taşları olma olasılığını arttırmaktadır. Traverten taşlarının yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi için gerekli olan basınç dayanım değerinin en az 489.29 kg/cm² olması gerekmektedir. Taşlar elde

edildikleri bölgelere göre farklı basınç dayanımına sahip oldukları görülmüştür. Tortul kayaçların volkanik kayaçlara göre daha düşük dayanıma sahip olduğu anlaşılmıştır.

KAYNAKÇA

- ALTINÇEKİÇ, H. (2001). Bazı doğal taşların irdelenmesi ve peyzaj düzenlemelerinde kullanım olanakları. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 51(1), 49-58.
- Arama, M. T. V., & Müdürlüğü, G. (2018). Dünyada ve türkiye’de doğal taşlar. *AYHAN, R. (2022). 1888 Tarihli ve 36067 Numaralı Evkaf Defterine Göre Siirt Vakıflarının Mülk Varlığı. Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (31), 91-106.
- Aytekin, İ. (2006). *Donatısız ve sarılmış yığma yapıların deprem devranışlarının incelenmesi* (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- Bahar, n. a. s. (2020). Siirt cas evleri mimari incelemesi ve bir örnek üzerinden restorasyon önerileri. *Ejons international journal*, 4(15), 761-769.
- Bilgin, Ö. (2019). Balıkesir Bölgesine ait jips (alçıtaşı) örneğinin karakteristik özellikleri ve kullanım alanları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 55-60.
- Boran, A., Tüfekçioğlu, A., Yıldız, İ.,& Erdal, Z. (Eds). (2009). *Pervari ve şirvan'da osmanlı dönemi eserleri*. YCH Yonaches.
- Bozacı, M. K. (2023). Tarihi kagir yapılarda çağdaş restorasyon uygulamalarına yönelik bir yöntem önerisi.
- Cinemre, M. (2019). Kesme taş duvarlarda kullanılan tarihi horasan harçlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi (Master's thesis, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi).
- Çakmak, a. (2021). Yapi malzemesinin tarihsel gelişimi ve mimarlığa etkileri. *Ata planlama ve tasarım dergisi*, 5(1), 41-54.
- Çelik, H. Y. E. A. A. Siirt Halk Anlatıları-I.
- Çelik, M. Y. (2003). Dekoratif doğal yapı taşlarının kullanım alanları ve çeşitleri.
- Çiçek, T. (1999). Kireç ve kullanımı, 3. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 184-194.
- Çiçek, Y. E. (2002). Pişmiş toprak tuğla, bimsbeton, gazbeton ve perlitli yapı malzemelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

- EGE, S. C., & ÖZGEN, N. (2023). Kültür, Toplumsal Bellek ve Mekân Temsilleri Üzerine Bir Araştırma: Tillo (Siirt) Örneği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (Cumhuriyet Özel Sayısı), 247-266.
- Ekinci, S., Deniz, Ö. Ş., & Gür, N. V. (2012). Yapı Kültürü ve Tasarım Verileri Işığında “Kâgir Yığma Dış Duvarların” Tarihsel Gelişimi. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu. Duvarların” Tarihsel Gelişimi*.
- Güneri, S. (2009). Doğal taşların teknik özelliklerine göre kullanım alanlarının ve uygulama parametrelerinin belirlenmesi (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Hossin, A. (2021). Suriye çözümlü savaş yıkımı bölgelerinde kil ve toprak malzemelerinin inşaalarda yeniden kullanım olanakları (Master’s thesis, Sakarya Üniversitesi).
- İNALCAN, S. Ş., & ÖZYILMAZ, H. (2021). Tillo Geleneksel Konutlarının Fiziksel ve Fonksiyonel Kullanımının Değerlendirilmesi. *Kent Akademisi*, 15(DÜ 2. Uluslararası Mimarlık Sempozyumu Özel Sayısı), 110-129.
- Kahraman, G. (2008). Erken Bizans dönemi horasan harçlarının incelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- KANIT, R., & IŞIK, N. S. (2004). Horosan harcı kullanılarak yapılan model kemerin performansının deneysel ve sayısal olarak belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 7(2), 179-183.
- Kiran, S. (2017). Turizm destinasyonları için sürdürülebilir turizmin önemi: Siirt ili örneği (Master’s thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- KODAY, S., KODAY, Z., & KIZILKAN, Y. (2017). Siirt ilinde bir mesken kültürü: Cas evleri. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(4), 1369-1385.
- Kolay, İ. A. (2016). Osmanlı Dönemi İnşaat Belgelerine Göre Anıtsal Yapılarda Örtü ve Duvar Sistemleri. *İstanbul, Türkiye*, 8.
- Korkmaz, A. V., & Hacifazlıoğlu, H. (2019). Çimento üretiminde kil taşına alternatif bir hammadde: meta şist. *Scientific mining journal*, 58(2), 95-110.
- Mahrebel, H. A. (2006). Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

- Mavioğlu, Ü. A. (2011). *Farklı Puzolanik Katkılar İle Hazırlanan Horasan Harçlarının Değişen Parametrelerinin İncelenmesi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Mavi, Ö. (2000). Kireç harç ve sıvaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Öztürk, Ş., Kılavuz, B. N., & Can Karakuş, Ü. (2007). Siirt Ulu Cami Minaresi.
- Pekol, F. (2017). *Zirki Beylikleri ve beyleri tarihi* (Master's thesis).
- Satongar, Ş. L. (1994). İstanbul şehir surları horasan harçları üzerine bir araştırma.
- Siirt Valiliği İl Özel İdare Müdürlüğü. (1998). Siirt İl Günlükleri . Nurol Matbaacılık Ve Ambalaj San. Ve Tic. A.Ş.
- SOLAK, A., & ÇÜÇEN, A. (2023). Tarihi Yapılarda Kullanılan Harç ve Sıvaların Karakteristik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. *Yalvaç Akademi Dergisi*, 8(1), 105-116.
- TÜFEKÇİOĞLU, A., & BORAN, A. (2007). Ortaçağdan Günümüze Siirt'teki Kültür Varlıklarının Durumu. *Uluslararası Siirt Sempozyumu Bildirileri, Şarkiyat Araştırmaları Derneği*, 542-581.
- Tülay, U. Ğ. U. R., & GÜLEÇ, A. (2014). Harç, sıva ve diğer kompozit malzemelerde kullanılan bağlayıcılar ve özellikleri. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, (17), 77-91.
- ULUGERGER, K. (2018). *Yüksek oranda kireç taşı tozu içeren kendiliğinden yerleşen harcın taze ve sertleşmiş özelliklerinin incelenmesi/Examination of fresh and hardened properties of self-compacting concrete mortar containing high ratio of limestone dust* (Doctoral dissertation).
- [URL 1] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kumta%C5%9F%C4%B1> (Erişim Tarihi: 28.11.2023)
- [URL 2] Dmr doğal taş <https://dmrdogaltas.com/traverten-kup-tas> (Erişim Tarihi:30.11.2023)
- [URL 3] Coğrafya Terimleri sözlüğü <http://www.cografyasozlugu.com/index/index/K/675> (Erişim Tarihi:30.11.2023)
- [URL4] ER-GA Granit <https://www.ergagranit.com.tr/kil-tasi/> (Erişim Tarihi:30.11.2023)
- [URL5] <https://www.deepl.com/tr/translator> (Erişim Tarihi: 04.12.2023)

- [URL6] <https://www.grafimx.com/photo/183863> (Erişim Tarihi: 06.12.2023)
- [URL7] <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/siirt/gezilecekyer/ulucami399471> (Erişim Tarihi: 06.12.2023)
- [URL8] <https://www.haberkaos.com/siirt-garzan-kalesi/> (Erişim Tarihi: 06.12.2023)
- [URL9] <https://s.milimaj.com/others/image/harita/siirt-ili-haritasi.png> (Erişim Tarihi: 07.12.2023)
- [URL10] <https://www.globalpiyasa.com/tr/urun/su-kireci-mk-cetin-yapi-ve-gida-sanayi/189510> (Erişim Tarihi: 11.12.2023)
- [URL11] <https://www.betontech.com.tr/madencilik/urunler/kalker-kirectasi-> (Erişim Tarihi: 11.12.2023)



IKSAD
Publishing House



ISBN: 978-625-367-498-4