

**Proje Ana Alanı : Kimya**  
**Proje Tematik Alanı :Su Okuryazarlığı**  
**Proje Adı (Başlığı) : Bitki Atığından Elde Edilen Biyokömür Su Kirliliğine Çözüm Olabilir**

### **Özet**

Günümüzde ilaçların kontrolsüz ve sürekli kullanımıyla atık sularda ilaç kalıntısı görülme sıklığı artmıştır. Bu nedenle ilaç kalıntılarının atık sulardan uzaklaştırılması için kullanışlı ve ekonomik yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada ceviz kabuğundan iki aşamalı aralıklı piroliz işlemi kullanılarak biyokömür elde edildi. Elde edilen biyokömür, organik bir kirletici olan naproksenin su sistemlerinden uzaklaştırılmasında adsorban olarak kullanıldı.

Ceviz kabuğu biyokömürünün fizikokimyasal özellikleri SEM, BET ve TGA kullanılarak araştırıldı.

BET ve SEM analiz sonuçlarına göre ceviz kabuğu biyokömürü , 649 m<sup>2</sup>/g gibi yüksek bir yüzey alanına ve belirgin gözenekli yapıya sahiptir.

Naproksenin sulu bir çözelti içinde tarafından adsorpsiyonunu incelemek için çeşitli deneysel parametreler (pH, temas süresi, adsorban miktarı, sıcaklık, başlangıç konsantrasyonu araştırıldı.

25°C ve 4 saatlik süre gibi optimum parametre seviyelerinde elde edilen biyokömürün adsorpsiyon kapasitesi 58,8 mg/g'dir.

Bu proje kapsamında ceviz kabuklarından biyokömür elde ederek hem atık yönetimine katkıda bulunmayı hem de canlıların yaşamını tehdit eden su kirliliğinin büyük oranda önüne geçilmesini hedeflemekteyiz.

**Anahtar kelimeler:** biyokömür, adsorbsiyon, su arıtımı, atık yönetimi

### **Amaç**

Bu çalışmada ceviz kabuğundan iki aşamalı aralıklı piroliz işlemi kullanılarak biyokömür elde edilecektir. Elde edilen biyokömür, organik bir kirletici olan naproksenin su sistemlerinden uzaklaştırılmasında adsorban olarak kullanımı araştırılacaktır. Ayrıca Ceviz kabuğu biyokömürünün fizikokimyasal özellikleri SEM, BET ve TG kullanılarak belirlenecektir. Naproksenin sulu bir çözelti içinde tarafından adsorpsiyonunu incelemek için çeşitli deneysel parametreler (pH, temas süresi, adsorban miktarı, sıcaklık, başlangıç konsantrasyonu araştırılacaktır. Bu proje kapsamında ceviz kabuklarından biyokömür elde ederek hem atık yönetimine katkıda bulunmayı hem de canlıların yaşamını tehdit eden su kirliliğinin büyük oranda önüne geçilmesini hedeflemekteyiz.

## Giriş

Su kütlelerinin farmasötiklerle kirlenmesi dünya çapında giderek artan bir endişe haline geldi. Steroid olmayan antiinflatuar ilaçlar (NSAID'ler), ağrı ve inflamasyonu tedavi etmek için dünya çapında yaygın olarak kullanılan bir ilaç sınıfıdır [1]. Bu grup ilaçlar reçetesiz olarak kolaylıkla temin edilebildiği için çevreyi hızlı ve kontrolsüz bir şekilde kirleten farmasötik bileşiklerin başında gelmektedir [2]. NSAID sınıfına ait olan naproksen, dejeneratif eklem hastalığı, romatoid artrit, akut gut, ağrı ve inflamasyon gibi birçok hastalığın tedavisinde yaygın olarak kullanılan bir ağrı kesicidir [3, 4]. Sonuç olarak hem insanlar hem de hayvanlar tarafından önemli miktarlarda tüketilmektedir. Atılan naproksenin yaklaşık %72'si hidrolize uğrama ve daha sonra su ekosistemlerine girme eğilimindedir [5, 6]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), içme suyunda 15-25 µg /L arasında değişen yüksek dozda ilaçların varlığını doğrulamıştır [7,8]. Naproksen gibi farmasötik bileşiklerin su ve toprakta uzun süreli birikimi, canlı organizmalar için tehlikeli olan toksik etkilere neden olur. Bu nedenle naproksen ve diğer ilaç kalıntılarının sudan uzaklaştırılması kaynaklar önemlidir [10].

Farmasötik bileşiklerin su ortamlarından uzaklaştırılmasında birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin örnekleri arasında elektrokimyasal oksidasyon [11], membranlar [12], pıhtılaşma-ozonasyon yer alır. [13], ultrasonik kavitasyon tedavisi [14], fotokataliz [15], biyo-elektrokimyasal oksidasyon [16], uçuculaştırma [17], sedimantasyon [18], fenton bazlı işlemler [19 ] ve adsorpsiyon [20, 21, 22]. Bu yöntemler arasında adsorpsiyon yöntemi daha basit tasarımı, yüksek verimliliği, düşük maliyetli çalışması ve mükemmel performansı nedeniyle tercih edilmektedir [23].

Adsorpsiyon sürecinin en önemli yönlerinden biri adsorban seçimidir. Adsorpsiyon çalışmalarında zeolitler [24], kil [25] , karbon nanotüpler [26], silika bazlı nanopartiküller [27], demir bazlı malzemeler gibi çok çeşitli adsorbanlar kullanılmıştır. [28], metal-organik çerçeveler [29] ve biyokömür [30, 31, 32].

Biyokömür, tarım ve orman artıkları, hayvan atıkları ve çamur da dahil olmak üzere çeşitli biyokütle formlarının, oksijen oranı düşük veya tamamen yoksun bir ortamda termolizi (~700 °C) yoluyla üretilen karbonlu bir maddedir [33]. Biokömür geniş bir spesifik yüzey alanına, bol gözenek yapısına, çok sayıda fonksiyonel gruba, iyi iyon değişim kabiliyetine ve iyi bir termal stabiliteye sahiptir. Biyokömürün fizikokimyasal özellikleri yüzey etkileşimlerinin ve adsorpsiyon mekanizmalarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Piroliz sıcaklığının artırılması, biyokömürün özelliklerini, özellikle spesifik yüzey alanını ve mikro gözenekli yapısını geliştirerek önemli adsorpsiyon yetenekleri sağlar [34, 35].

## **Yöntem**

Bu çalışmada ceviz kabuğundan biyokömür üretmek için iki aşamalı aralıklı piroliz işlemi kullanılmıştır. Ceviz kabuğu biyokömürünün fizikokimyasal özellikleri SEM (Taramalı Elektron Mikroskopları), BET (Brunauer -Emmett-Teller), TG (Termogravimetrik Analiz) ile incelenmiştir. Naproksen sulu sistemlerden çıkarmak için adsorban olarak ceviz kabuğundan elde edilen biyokömür kullanıldı. Naproksenin sulu çözeltilerdeki adsorpsiyon sürecini ile incelemek için pH, başlangıç naproksen konsantrasyonu, adsorban miktarı, temas süresi ve sıcaklık gibi çeşitli deneysel faktörler incelendi. Adsorpsiyon işleminin fiziksel ve kimyasal adsorpsiyona uygun olup olmadığını belirledi.

## **Biyokömür Üretimi**

Bu çalışmada kullanılan ceviz kabukları, temin edilmiştir. Meyvelerden ayrılan kabuklar daha sonra birkaç kez musluk ve distile su ile yıkandı ve 70 °C'de 48 saat kurutuldu. Kurutulmuş ceviz kabuğu kalıntıları daha sonra bir bilyeli değirmen kullanılarak toz haline getirildi ve sonuçta boyutları 0,16 ila 0,25 mm arasında değişen parçacıklar elde edildi. Çoğunlukla kesintili iki aşamalı piroliz olarak adlandırılan katkı piroliz yöntemi ceviz kabuğu biyokömürü numunelerini hazırlamak için kullanıldı. Yaklaşık 25 g kurutulmuş biyokömür, kapaklı bir porselen krozeeye yerleştirildi ve kül fırınına aktarıldı. Piroliz, 700 °C'de, 10 dakika °C/dakikada ve 4 saatte gerçekleştirildi. Bu prosedür iki kez tekrarlandı. Biyokömür numuneleri, süzüntü nötr bir değere ulaşana kadar damıtılmış su ile iyice yıkandı.

## **Adsorpsiyon deneyleri**

Naproksen iyonlarının oda sıcaklığında seçici olarak uzaklaştırılması için ceviz kabuğu biyokömürünün adsorpsiyon kapasitesi değerlendirildi. Su numunelerinden naproksen giderimi için adsorpsiyon prosesini optimize etmek amacıyla birkaç önemli parametre araştırıldı. Bu parametreler arasında 5,0 ila 8,0 arasında değişen pH değerleri, 0 ila 300 dakika arasında değişen temas süreleri, farklı miktarlarda adsorban (0-2 g/L), değişen başlangıç naproksen konsantrasyonları (10-400 mg/L) ve 25°C, 40 °C ve 55 °C sıcaklıklar yer alıyordu. Sulu çözeltinin pH'ı naproksenin adsorpsiyonunda dikkate değer bir rol oynar. Ceviz kabuğu biyokömürü miktarı (50 mg), naproksen konsantrasyonu (10 mg/L), sıcaklık (25 °C) gibi diğer deney koşulları sabit tutulurken numunelerin pH'ı 5,0-8,0 aralığına ayarlandı. Adsorpsiyon dengesini incelemek için, 4 saatlik bir süre boyunca çeşitli sıcaklıklarda (25, 40 ve 55 °C) bir dizi başlangıç naproksen konsantrasyonu (10-400 mg/L) araştırıldı.

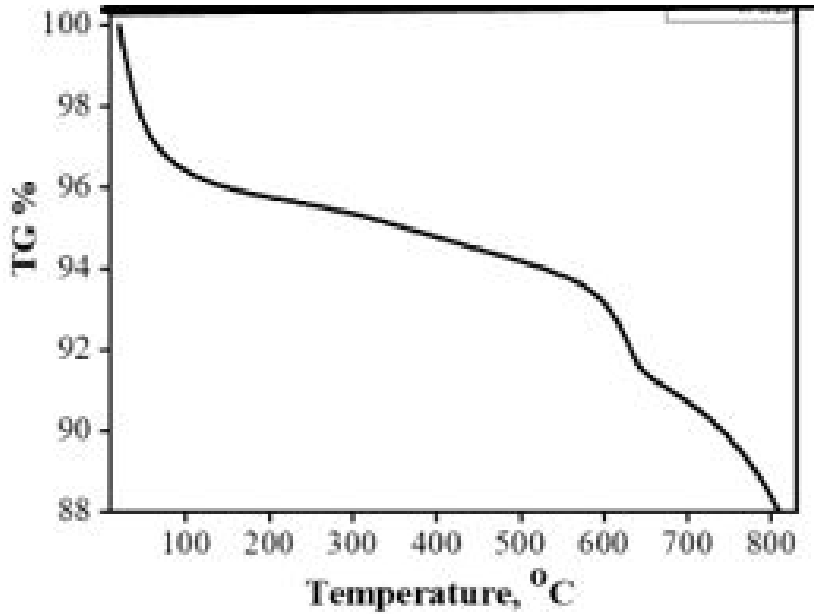
## Proje İş-Zaman Çizelgesi

İşin Tanımı	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Literatür Taraması	×	×			
Deneysel çalışmalar	×	×	×		
Verilerin Toplanması ve Analizi		×	×	×	
Proje Raporu Yazımı			×	×	×

### Bulgular

#### Ceviz kabuğu biyokömürünün karakterizasyonu

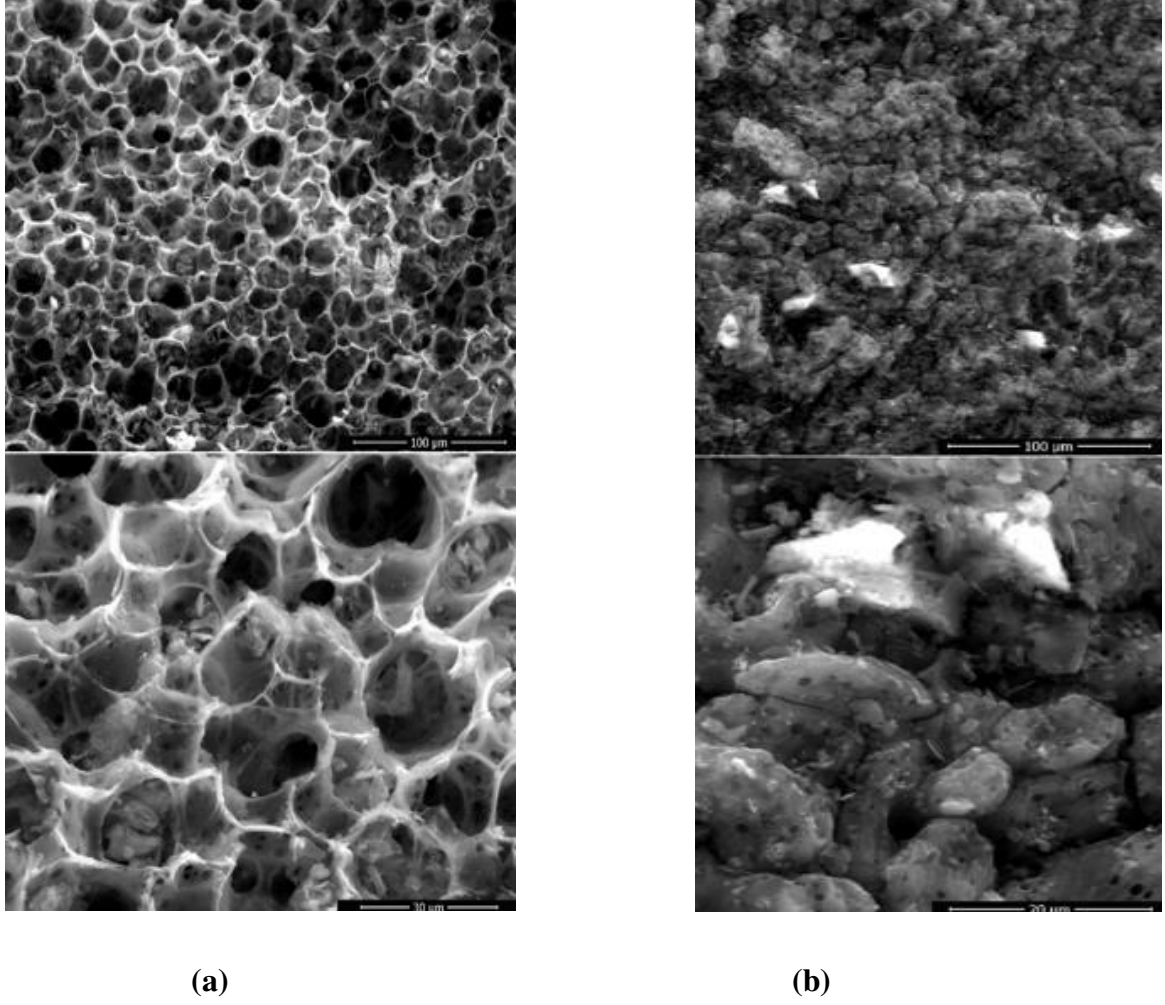
#### Biyokömürün TG Analizi



Şekil 1. Biyokömürün TG eğrisi

Biyokömürün TG eğrileri Şekil 1'de verilmiştir. Ağırlık azalmasının başlangıç aşaması, ortam sıcaklığının 130 °C'ye kadar olan sıcaklık aralığında gözlemlendi ve öncelikle nemin buharlaşması sürecine atfedildi. 140-650 °C sıcaklık aralığındaki ağırlık kaybı, hemiselüloz (225-350 °C), selüloz (325-375 °C) ve lignin (250-500 °C) bağlarının termal bozunmasından kaynaklanmaktadır [36, 37, 38]. Biyokömürün toplam kütle kaybı % 22 olarak hesaplandı.

## Biyokömürün SEM Analizi



**Şekil 2.** (a) Naproksen adsorpsiyonundan önce biyokömür yüzeyinin SEM görüntüleri  
(b) Naproksen adsorpsiyonundan sonra biyokömür yüzeyinin SEM görüntüleri

Şekil 2'de gösterilen makro gözenekler ve mezo gözenekler, çok sayıda naproksen molekülünün gözenek yapısına difüzyonunu kolaylaştırır. Şekil 2'de sunulan sonuçlar, naproksen adsorpsiyonunun yüzey morfolojisinde değişikliklere yol açarak boşlukların ve gözeneklerin bozulmasına neden olduğunu göstermektedir. Biyokömürün yüzey gözenekliliği daha az görünür hale geldi; bu, naproksen moleküllerinin, bu gruplar doyana kadar fonksiyonel gruplar aracılığıyla yüzeye adsorbe edildiğini gösteriyor. Doygunluğun ardından naproksen molekülleri biyokömürün gözenekli yapısına derinlemesine nüfuz eder ve gözeneklerin iç yüzeylerine adsorbe edilir.

## Biyokömürün BET Analizi

**Tablo 1.** Biyokömürün (A) ve Naproksen adsorbe etmiş Biyokömürün (B) BET sonuçları

			(A)	(B)
Toplam gözenek	$V_{Toplam}$	cm <sup>3</sup> / g	0,352	0,248
Mikro gözenek	$V_{Mikro}$	cm <sup>3</sup> / g	0,248	0,184
Mezogözenek	$V_{Mezo}$	cm <sup>3</sup> / g	0,104	0,064
Ortalama gözenek	$L_o$	nm	1.083	1.064

Tablo 1’ de Biyokömürün (A) ve Naproksen adsorbe etmiş Biyokömürün (B) BET sonuçları verilmiştir. Mezogözenekler ve mikro gözenekler içindeki adsorpsiyon davranışı, adsorban ve adsorbat arasındaki etkileşimlerin yanı sıra yoğunlaştırılmış fazdaki moleküller arasındaki etkileşimlerden de etkilenir [39, 40]. Tablo 1'e göre, mikro gözenek hacmi ( $V_{mikro}$ ), mezo gözenek hacminden ( $V_{meso}$ ) toplam gözenek hacminin daha büyük bir kısmını oluşturur. Biyokömürün adsorpsiyon öncesi ve sonrası yüzey alanları sırasıyla 649,9 ve 469,5 m<sup>2</sup> /g olarak hesaplandı. Biyokömürün adsorpsiyon öncesi ve sonrasında yüzey alanı ve gözenek hacimlerindeki azalma, naproksen adsorpsiyonunun hem yüzeyde hem de gözenek dolgusu şeklinde gerçekleştiğini düşündürmektedir.

### Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada ceviz kabuğundan iki aşamalı aralıklı piroliz işlemi kullanılarak biyokömür elde edildi. Elde edilen biyokömür, organik bir kirletici olan naproksenin su sistemlerinden uzaklaştırılmasında adsorban olarak kullanıldı. BET ve SEM analiz sonuçlarına göre ceviz kabuğu biyokömürü , 649 m<sup>2</sup>/g gibi yüksek bir yüzey alanına ve gözenekli bir yapıya sahiptir. Adsorpsiyon çalışmaları ile belirlenen en yüksek naproksen miktarı 58,8 mg/g olmuştur. En büyük adsorpsiyon verimliliği nötr pH'ta (6,84) gözlemlendi, bu da adsorpsiyonda elektrostatik çekimin rol oynadığını göstermektedir.

### Öneriler

Desorpsiyon, sürdürülebilirlik ve ekonomik etkinlik açısından ileriye yönelik çevresel uygulamalarda çok önemli bir faktördür. Ceviz kabuğundan elde ettiğimiz biyokömürün desorpsiyon deneylerini de gerçekleştirerek sürdürülebilirliği araştırılacaktır. Ayrıca gerçek örneklerde adsorpsiyon deneylerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] N. Tu, Y. Liu, R. Li, W. Lv, G. Liu, D. Ma, Experimental and theoretical investigation on photodegradation mechanisms of naproxen and its photoproducts, *Chemosphere*, 227 (2019) 142–150, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.055>
- [2] K. Wieszczycka, J. Zembrzuska, J. Bornikowska, A. Wojciechowska, I. Wojciechowska, Removal of naproxen from water by ionic-liquid-modified polymer sorbents, *Chem. Eng. Res. Des.* 117 (2017) 698–705, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2016.11.024>
- [3] A. Afkhami, F. Kafrashi, M. Ahmadi, T. Madrakian, A new chiral electrochemical sensor for the enantioselective recognition of naproxen enantiomers using L-cysteine self-assembled over gold nanoparticles at gold electrode, *RSC Adv.* 5 (2015), 58609–58615, <https://doi.org/10.1039/C5RA07396K>
- [4] L. M. Madikizela, L. Chimuka, Synthesis, adsorption and selectivity studies of a polymer imprinted with naproxen, ibuprofen and diclofenac, *J. Environ. Chem. Eng.* 4 (2016) 4029–4037, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2016.09.012>
- [5] V. M. Vulava, W. C. Cory, V. L. Murphey, C. Z. Ulmer, Sorption, photodegradation, and chemical transformation of naproxen and ibuprofen in soils and water, *Sci. Total Environ.* 565 (2016) 1063–1070, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.132>
- [6] M. K. M. Nodeh, N. Kanani, E. B. Abadi, H. Sereshti, A. Barghi, S. Rezaia, G. N. Bidhendi, Equilibrium and kinetics studies of naproxen adsorption onto novel magnetic graphene oxide functionalized with hybrid glycidoxo-amino propyl silane, *Environ. Chall.* 4 (2021) 100106, <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100106>
- [7] L. Xing, K. M. Haddao, N. Emami, F. Nalchifard, W. Hussain, H. Jasem, A. H. Dawood, D. Toghraie, M. Hekmatifar, Fabrication of HKUST-1/ZnO/SA nanocomposite for Doxycycline and Naproxen adsorption from contaminated water, *Sustain. Chem. Pharm.* 29 (2022) 100757, <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100757>
- [8] Organization, W.H., 2012. Pharmaceuticals in Drinking-Water, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44630>
- [9] E. Kurtulbaş, M. Bilgin, S. Şahin, Ş. S. Bayazit, Comparison of different polymeric resins for naproxen removal from wastewater, *J. Mol. Liq.* 241 (2017) 633–637, <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2017.06.070>
- [10] B. Czech, M. Kończak, M. Rakowska, P. Oleszczuk, Engineered biochars from organic wastes for the adsorption of diclofenac, naproxen and triclosan from water systems, *J. Clean. Prod.* 288 (2021) 125686, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125686>
- [11] V. Ganthave, A. P. Trzcinsk, Removal of pharmaceutically active compounds from wastewater using adsorption coupled with electrochemical oxidation technology: A critical review, *J. Ind. Eng. Chem.* <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2023.06.003>
- [12] A. Matin, S. M. S. Jillani, U. Baig, I. Ihsanullah, K. Alhooshani, Removal of pharmaceutically active compounds from water sources using nanofiltration and reverse osmosis membranes: Comparison of removal efficiencies and in-depth analysis of rejection mechanisms, *J. Environ. Manage.* 338 (2023) 117682, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117682>
- [13] A. Shirafkan, S. M. Nowee, N. Ramezani, M. M. Etemadi, Hybrid coagulation/ozonation treatment of pharmaceutical wastewater using ferric chloride, polyaluminum chloride and ozone, *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 13 (2016) 1443–1452, <https://doi.org/10.1007/s13762-016-0965-8>
- [14] P. A. Muniozguren, E. A. S. Galvis, M. Bussemaker, R. A. T. Palma, J. Lee, A review on pharmaceuticals removal from waters by single and combined biological, membrane

- filtration and ultrasound systems, *Ultrason. Sonochem.* 76 (2021) 105656, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105656>
- [15] D. Kanakaraju, B. D. Glass, M. Oelgemöller, Titanium dioxide photocatalysis for pharmaceutical wastewater treatment, *Environ. Chem. Lett.* 12 (2014) 27–47 <https://doi.org/10.1007/s10311-013-0428-0>
- [16] E. M. J. Bambague, D. S. V. Arias, O. D. R. Vanegas, D. D. G. Gómez, C. A. M. Parra, E. J. P. Salamanca, C. R. M. Filho, F. M. Martínez, Removal of pharmaceutical compounds from real urban wastewater by a continuous bio-electrochemical process at pilot scale, *J. Environ. Chem. Eng.* 11 (2023) 110130, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110130>
- [17] W. Chen, J. Xu, S. Lu, W. Jiao, L. Wu, A. C. Chang, Fates and transport of PPCPs in soil receiving reclaimed water irrigation, *Chemosphere* 93 (2013) 2621–2630, <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.09.088>
- [18] Z. Qin, S. Liu, S. X. Liang, Q. Kang, J. Wang, C. Zhao, Advanced treatment of pharmaceutical wastewater with combined micro-electrolysis, Fenton oxidation, and coagulation sedimentation method, *Desalin Water Treat.* 57 (2016) 25369–25378, <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1155174>
- [19] E. M. J. Bambague, C. A. M. Parra, M. F. R. Delgado, I. Q. Martinez, D. M. Mosquera, J. S. A. Apolinar, F. M. Martínez, Photo-Fenton and Electro-Fenton performance for the removal of pharmaceutical compounds in real urban wastewater, *Electrochim. Acta* 442 (2023) 141905, <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2023.141905>
- [20] D. Pereira, M.V. Gil, V. I. Esteves, N.J.O. Silva, M. Otero, V. Calisto, Ex-situ magnetic activated carbon for the adsorption of three pharmaceuticals with distinct physicochemical properties from real wastewater, *J. Hazard. Mater.* 443 (2023) 130258, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130258>
- [21] Y. Cao, X. Li, B. Wang, Ultrafast and selective adsorption of pharmaceuticals from wastewater by precisely designed metal organic framework with missing linker defects, *J. Clean. Prod.* 380 (2022) 135060, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135060>
- [22] P. Xiong, H. Zhanga, G. Li, C. Liao, G. Jiang, Adsorption removal of ibuprofen and naproxen from aqueous solution with Cu-doped Mil-101(Fe), *Sci. Total Environ.* 797 (2021) 149179, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149179>
- [23] H.N. Tran, H.C. Nguyen, S.H. Woo, T.V. Nguyen, S. Vigneswaran, A.H. Bandegharai, J. Rinklebe, A.K. Sarmah, A. Ivanets, G.L. Dotto, T.T. Bui, R.S. Juang, H.P. Chao, Removal of various contaminants from water by renewable lignocellulose-derived biosorbents: a comprehensive and critical review, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 49 (2019) 2155–2219, <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1607442>
- [24] V. Rac, V. Rakicà, D. Stošić, V. Pavlović, S. Bosnar, A. Auroux, Enhanced accessibility of active sites in hierarchical ZSM-5 zeolite for removal of pharmaceutically active substances: Adsorption and microcalorimetric study, *Arab. J. Chem.* (2020) 13, 1945–1954, <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2018.02.012>
- [25] T. Thiebaulta, M. Boussafira, L. Fougère, E. Destandauc, L. Monnina, C. Le Milbeaua, Clay minerals for the removal of pharmaceuticals: Initial investigations of their adsorption properties in real wastewater effluents, *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.* 12 (2019) 100266, <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100266>
- [26] A.H. El-Sheikh, R.F. Qawariq, J.I. Abdelghani, Adsorption and magnetic solid-phase extraction of NSAIDs from pharmaceutical wastewater using magnetic carbon nanotubes: Effect of sorbent dimensions, magnetite loading and competitive adsorption study, *Environ. Technol. Innov.* 16 (2019) 100496, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100496>



- [27] A. Subaihi, A. Shahat, Synthesis and characterization of super high surface area silica-based nanoparticles for adsorption and removal of toxic pharmaceuticals from aqueous solution, *J. Mol. Liq.* 378 (2023) 121615, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.121615>
- [28] S.J. Olusegun, T.G.F. Souza, G. O. Souza, M. Osial, N.D.S. Mohallem, V.S.T. Ciminelli, P. Krysinski, Iron-based materials for the adsorption and photocatalytic degradation of pharmaceutical drugs: A comprehensive review of the mechanism pathway, *J. Water Process. Eng.* 51 (2023) 103457, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103457>
- [29] F. Zhao, S. Fang, Y. Gao, J. Bi, Removal of aqueous pharmaceuticals by magnetically functionalized Zr-MOFs: Adsorption Kinetics, Isotherms, and regeneration, *J. Colloid Interface Sci.* 615 (2022) 876–886, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2022.02.018>
- [30] F. Tomul, Y. Arslan, B. Kabak, D. Trak, E. Kendüzler, E.C. Lima, H.N. Tran, Peanut shells-derived biochars prepared from different carbonization processes: Comparison of characterization and mechanism of naproxen adsorption in water, *Sci. Total Environ.* 726 (2020) 137828, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137828>
- [31] A. Puga, M.M. Moreira, M. Pazos, S.A. Figueiredo, M.A. Sanromán, C. D. Matos, E. Rosales, Continuous adsorption studies of pharmaceuticals in multicomponent mixtures by agroforestry biochar, *J. Environ. Chem. Eng.* 10 (2022) 106977, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106977>
- [32] J. Shin, J. Kwak, Y.-G. Lee, S. Kim, M. Choi, S. Bae, S.-H. Lee, Y. Park, K. Chon, Competitive adsorption of pharmaceuticals in lake water and wastewater effluent by pristine and NaOH-activated biochars from spent coffee wastes: Contribution of hydrophobic and  $\pi$ - $\pi$  interactions, *Environ. Pollut.* 270 (2021) 116244, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116244>
- [33] D.N.G. Ngo, X.-Y. Chuang, C.-P. Huang, L.-C. Hua, C. Huang, Compositional characterization of nine agricultural waste biochars: The relations between alkaline metals and cation exchange capacity with ammonium adsorption capability, *J. Environ. Chem. Eng.* 11 (2023) 110003, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110003>
- [34] J. Zhang, M. Lu, J. Wan, Y. Sun, H. Lan, X. Deng, Effects of pH, dissolved humic acid and  $\text{Cu}^{2+}$  on the adsorption of norfloxacin on montmorillonite-biochar composite derived from wheat straw, *Biochem. Eng. J.* 130 (2018) 104–112, <https://doi.org/10.1016/j.bej.2017.11.018>
- [35] H. Xu, Y. Han, G. Wang, P. Deng, L. Feng, Walnut shell biochar based sorptive remediation of estrogens polluted simulated wastewater: Characterization, adsorption.
- [36] X. Song, K. Li, P. Ninga, C. Wang, X. Sun, L. Tang, H. Ruan, S. Han, Organik kükürtün eş zamanlı olarak uzaklaştırılması için ceviz kabuğu biyokömür katalizörlerinin yüzey karakterizasyon çalışmaları sarı fosfor artık gazından, *Appl. Sörf. Bilim.* 425 (2017) 130–140, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.06.328>
- [37] S. Zhou, Y. Wei, B. Li, H. Wang, Yeşil indirgeyici olarak ceviz kabuğu kömürü kullanılarak atık bakır çürufundan demirin daha temiz geri dönüşümü, *J. Clean. Ürün.* 217 (2019) 423-431, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.184>
- [38] C. Quan, W. Wang, J. Su, N. Gao, C. Wu, G. Xu, Nikel iyonları adsorpsiyonu için *Camellia oleifera* kekinden türetilen aktif karbonun özellikleri, *Biomass Bioenergy* 171 (2023) 106748, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106748>
- [39] M. Thommes, K. Kaneko, A.V. Neimark, J.P. Olivier, F.R. Reinoso, J. Rouquerol, K.S.W. Sing, Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.* 87 (2015) 1051–1069, <https://doi.org/10.1515/pac-2014-1117>

[40] H. Dong, H. Liang, L. Yang, X. Yang, C. Yang, G. Hu, T. Zhao, Porous biochar derived from waste distiller's grains for hexavalent chromium removal: Adsorption performance and mechanism, *J. Environ. Chem. Eng.* 11 (2023) 110137, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110137>