



TEKSTİL ATIKSULARINDAKİ BOYARMADDENİN ADSORPSİYON YÖNTEMİ İLE GİDERİMİ

Niyazi Erdem DELİKANLI^{1*}, Betül Tuba GEMİCİ¹, Fatma SEĞMEN¹, Emel TURAN¹, Büşra YAŞA¹, Handan UCUN ÖZEL¹

¹ Bartın Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bartın, Türkiye

Anahtar Kelimeler Öz

*Tekstil Endüstrisi,
Adsorpsiyon,
Ceviz Kabuğu,
Uçucu kül,
Biyosorbent.*

İndigo boyalarının, özellikle tekstil endüstrisinde kot üretiminde yaygın kullanımı, biyolojik arıtım yöntemleriyle giderimini zorlaştırmaktadır. Kimyasal yapılarının biyolojik olarak zor parçalanabilir olması, çevre üzerinde önemli olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu sebeple, indigo boyalarının giderimi için daha ekonomik, verimli ve sürdürülebilir ileri arıtım yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Adsorpsiyon yöntemi, düşük maliyeti, etkinliği ve çevre dostu yapısıyla öne çıkan bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, ceviz kabuğunun indigo boyalarının gideriminde adsorbent olarak kullanılma potansiyeli incelenmiş, farklı konsantrasyonlardaki performansı detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Sonuçlar, ceviz kabuğunun 0,1 gr/L ile 5 gr/L arası konsantrasyonlarda en az %71 oranında renk giderimi sağladığını göstermiştir. Ayrıca, uçucu kül ve ceviz kabuğu olmak üzere iki farklı adsorbent etkinlikleri karşılaştırılmış ve ceviz kabuğunun %90, uçucu külün ise %86 oranında renk giderimi sağladığı tespit edilmiştir. Ceviz kabuğu, düşük konsantrasyonlarda dahi yüksek giderim verimi sunarak indigo boyalarının gideriminde umut verici bir biyosorbent olduğunu kanıtlamıştır. Bu bulgular, ceviz kabuğunun uçucu küle kıyasla hem ekonomik hem de çevresel açıdan daha avantajlı bir seçenek olduğunu göstermektedir. Doğal malzemelerin, özellikle ceviz kabuğu gibi biyosorbentlerin atık su arıtımında kullanımı, sürdürülebilir ve ekonomik çözümler sunarak çevre dostu bir yaklaşımı desteklemektedir.

DYE REMOVAL FROM TEXTILE WASTEWATER BY ADSORPTION METHOD

Keywords

*Textile Industry,
Adsorption,
Walnut Shell,
Fly Ash,
Biosorbent.*

Abstract

The widespread use of indigo dyes, especially in denim production in the textile industry, makes their removal difficult with biological treatment methods. The fact that their chemical structures are difficult to biodegrade causes significant negative effects on the environment. For this reason, more economical, efficient and sustainable advanced treatment methods are needed to remove indigo dyes. The adsorption method is a prominent solution with its low cost, efficiency and environmentally friendly structure. In this study, the potential of walnut shell to be used as an adsorbent in removing indigo dyes was investigated and its performance at different concentrations was analyzed in detail. The results showed that walnut shell provided at least 71% dye removal at concentrations between 0.1 gr/L and 5 gr/L. In addition, the efficiencies of two different adsorbents, fly ash and walnut shells, were compared and it was determined that walnut shell provided 90% color removal and fly ash provided 86% color removal. Walnut shell proved to be a promising biosorbent in the removal of indigo dyes by providing high removal efficiency even at low concentrations. These findings show that walnut shells are a more advantageous option compared to fly ash, both economically and environmentally. The use of natural materials, especially biosorbents such as walnut shells, in wastewater treatment supports an environmentally friendly approach by providing sustainable and economical solutions.

Alıntı / Cite

Delikanlı, N. E., Gemici, B. T., Seğmen, F., Turan, E., Yaşa, B., Uçun Özel, H., (2024). Tekstil Atıksularındaki Boyarmaddenin Adsorpsiyon Yöntemi ile Giderimi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(4), 717-723.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Niyazi Erdem DELİKANLI, 0000-0002-1322-3989
Betül Tuba GEMİCİ, 0000-0003-1731-536X
Fatma SEĞMEN, 0009-0005-3087-2357
Emel TURAN, 0009-0008-9372-1224
Büşra YAŞA, 0009-0003-0105-131X
Handan UCUN ÖZEL, 0000-0003-1293-0945

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	03.10.2024
Revizyon Tarihi / Revision Date	25.10.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	26.10.2024
Yayın Tarihi / Published Date	12.12.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: edelikanli@bartin.edu.tr, +90-246-211-1267

DYE REMOVAL FROM TEXTILE WASTEWATER BY ADSORPTION METHOD

Niyazi Erdem DELİKANLI^{1†}, Betül Tuba GEMİCİ¹, Fatma SEĞMEN¹, Emel TURAN¹, Büşra YAŞA¹, Handan UCUN ÖZEL¹

¹ Bartın University, Faculty of Engineering, Architecture and Design, Environmental Engineering Department, Bartın, Türkiye

Highlights

- The study demonstrates that walnut shells are a highly effective and sustainable biosorbent, achieving up to 90% dye removal efficiency from textile wastewater.
- Walnut shells outperform fly ash in adsorption, offering a low-cost, eco-friendly alternative for indigo dye removal.
- The findings support the adoption of natural adsorbents in industrial wastewater treatment, providing a practical solution to environmental challenges in the textile industry.

Purpose and Scope

The research aims to explore the removal of indigo dyes from textile wastewater using cost-effective adsorption methods, as traditional biological treatments are ineffective due to the dyes' resistant chemical structure. The study compares walnut shells and fly ash as adsorbents, demonstrating the potential of walnut shells as a sustainable and efficient solution for dye removal.

Design/methodology/approach

The objectives are achieved by conducting adsorption experiments using walnut shells and fly ash as adsorbents, evaluating their dye removal efficiencies from textile wastewater under various concentrations. The study adopts an experimental approach, focusing on the comparison of these two materials, with a theoretical scope centered on sustainable wastewater treatment solutions through natural and industrial adsorbents.

Findings

The study found that walnut shells achieved a maximum dye removal efficiency of 90%, outperforming fly ash, which had a removal efficiency of 86%. Even at low concentrations, walnut shells demonstrated effective adsorption, making them a promising biosorbent for indigo dye removal. The results showed that both walnut shells and fly ash are effective, but walnut shells offer an eco-friendly, low-cost alternative. The findings support the use of natural biosorbents like walnut shells for sustainable wastewater treatment in the textile industry.

Research limitations/implications (if applicable)

The research highlights that while walnut shells proved effective in dye removal, further studies are needed to explore their performance under different wastewater conditions and with other types of dyes. Additionally, future research could focus on optimizing biosorbent modification techniques to enhance efficiency, and addressing the limitations related to the scalability of the adsorption process for industrial applications.

Practical implications (if applicable)

The research suggests that walnut shells can be implemented as a cost-effective and sustainable biosorbent in textile wastewater treatment, encouraging industries to adopt natural, low-cost materials for dye removal to reduce environmental impact.

Social Implications (if applicable)

This research promotes the use of eco-friendly, low-cost materials for wastewater treatment, which could positively influence public attitudes toward sustainable practices, encourage corporate responsibility in environmental conservation, and inform industry policies that prioritize sustainable wastewater management, ultimately improving environmental quality and public health.

Originality

The paper introduces the use of walnut shells as a highly efficient, sustainable biosorbent for indigo dye removal from textile wastewater, offering valuable insights for environmental engineers, wastewater treatment professionals, and industries seeking eco-friendly solutions to pollution.

[†] Corresponding author: edelikanli@bartin.edu.tr, +90-246-211-1267

1. Giriş (Introduction)

Boyarmaddeler, tekstil, deri, kozmetik, kâğıt ve plastik gibi birçok endüstride ürünleri renklendirmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Periyasamy, 2024). Tekstil endüstrisinde boyama işlemleri sırasında büyük miktarlarda su kullanılmakta ve bu süreçte yüksek hacimlerde renkli atıksu ortaya çıkmaktadır. Boya üretimi sırasında yaklaşık %1-2, kullanımı sırasında ise %1-10 oranında boyarmadde kaybı meydana gelmektedir (Mcyotto vd., 2021). Günümüzde ticari olarak kullanılan 100.000'in üzerinde sentetik boya çeşidi bulunmakta ve yılda yaklaşık 700.000 ton boya üretilmektedir (Periyasamy, 2024). Hem üretim hem de kullanım süreçlerinde kaybolan bu boyalar, çevresel sorunlar yaratmaktadır. Renkli atıksuların doğrudan alıcı ortamlara deşarj edilmesi, toksik ve kanserojenik aromatik aminlerin anaerobik koşullarda oluşmasına sebep olabilir, bu durum çevresel ve estetik sorunlara yol açar (Shkliarenko vd., 2023; Ismail ve Sakai, 2022).

Boyarmaddeler genellikle rengi veren kromofor grubu ve boyayı ipliğe bağlayan fonksiyonel grup olmak üzere iki ana bileşenden oluşur. Kimyasal yapısına veya uygulandığı iplik türüne göre sınıflandırılmış yüzlerce çeşit boya mevcuttur. Boyanın iplik üzerine adsorpsiyonu; zaman, sıcaklık, pH ve yardımcı kimyasallar gibi faktörlere bağlı olarak değişir (Rápó ve Tonk, 2021). Özellikle tekstil endüstrisinde kullanılan sentetik boyalar, çevresel etkileri nedeniyle büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bu boyalar, suda çözünmeyen ve biyolojik olarak parçalanması zor yapıları nedeniyle su arıtma süreçlerinde zorluk yaratır (Benkhaya vd., 2020). Geleneksel arıtma yöntemleri, özellikle reaktif ve asit boyalar gibi çevresel açıdan en zararlı olanları yeterince giderememekte ve bu da çevresel kirliliği artırmaktadır (De Gisi vd., 2016).

Tekstil atıksuları, içerdiği yüksek miktarda kimyasal maddeler ve boyarmaddeler nedeniyle çevreye ciddi zararlar vermektedir. Bu atıksular, su kaynaklarına karıştığında sucül ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler yaratır. Özellikle renkli atıksular, suyun ışık geçirgenliğini azaltarak su bitkilerinin fotosentez yapma kapasitesini engeller ve suyun oksijen seviyesini düşürür, bu da sucül yaşam için tehdit oluşturur (Tripathi vd., 2023). Tekstil atıksularında bulunan reaktif boyalar, biyolojik olarak zor parçalanan ve toksik özellikler taşıyan kimyasallardır. Bu nedenle, geleneksel arıtma yöntemleriyle bu boyaların giderimi oldukça zordur ve bu tür bileşikler sucül ekosistemlere zarar verirken, toprağa karışmaları durumunda tarımsal ürünler aracılığıyla gıda zincirine geçerek insan sağlığı üzerinde toksik ve kanserojen etkiler oluşturabilir (Periyasamy, 2024).

Tekstil atıksularının arıtımında renk giderimi oldukça zorlu bir süreçtir. Kimyasal, fiziksel ve biyolojik arıtım yöntemleri kullanılmasına rağmen, bu yöntemlerin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin koagülasyonla renk gideriminde Al₂(SO₄)₃, FeCl₃ ve CaCl₂ gibi kimyasal maddeler kullanılır, ancak bu süreçte su içeriğinde yüksek miktarda çamur oluşur. Diğer ileri arıtım yöntemleri arasında ozonlama, hidrojen peroksit ve UV/H₂O₂ gibi yöntemler yer almasına rağmen, bunlar genellikle pahalı ve uygulanması zor yöntemlerdir (Urbina-Suarez vd., 2023; Rizwan ve Bilal, 2022). Özellikle tekstil boyalarının giderimi, biyolojik yöntemlerle zor gerçekleştirilebilmekte, bu nedenle daha etkili ve ekonomik yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Wiśniewska vd., 2024). Pamukoğlu ve arkadaşları (2024), metilen mavisinin gideriminde SiNH₂@FeNP nanokompozitinin kullanımı üzerine yaptıkları çalışmada, biyolojik yöntemlerin çevre dostu bir alternatif sunduğunu ve adsorpsiyon süreçlerinde yüksek verim sağladığını belirtmişlerdir.

Adsorpsiyon yöntemi, boyar maddelerin gideriminde etkili ve ekonomik bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Aktif karbonun yüksek adsorpsiyon kapasitesi vardır, ancak maliyeti ve rejenerasyon ihtiyacı, daha ucuz ve kolay bulunabilen alternatif adsorbentlerin araştırılmasına neden olmuştur (Ho ve Jani Saad, 2022; Athira ve Sumi, 2024). Son yıllarda yapılan çalışmalar, bitkisel atıkların adsorpsiyon süreçlerinde etkili bir adsorbent olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Gemici ve ark, 2021; Delikanlı vd., 2024). Örneğin, ceviz kabuğu, düşük maliyeti, geniş yüzey alanı ve biyosorpsiyon kapasitesi nedeniyle çevre dostu bir alternatif olarak değerlendirilmiştir (Dutta vd., 2021; Shkliarenko vd., 2023). Ceviz kabuğu, lignoselülozik yapısı sayesinde boyar maddeleri etkin bir şekilde adsorbe edebilmektedir ve yapılan çalışmalar, ceviz kabuğu biyosorbentinin modifiye edilmesiyle verimliliğinin daha da artırılabilceğini ortaya koymaktadır (Shkliarenko vd., 2023).

Çalışmada, tekstil endüstrisinin atıksularında bulunan boyar maddelerin giderimi amacıyla ceviz kabuğu ve uçucu kül gibi düşük maliyetli ve doğal adsorbentlerin karşılaştırmalı etkinliği incelenmiştir. Ceviz kabuğunun çeşitli konsantrasyonlardaki etkisi ise detaylı olarak araştırılmıştır. Literatürde ceviz kabuğu biyosorbentlerinin boyar maddelerin gideriminde oldukça başarılı olduğu, uçucu külün ise özellikle ağır metallerin adsorpsiyonunda yüksek verim sunduğu gösterilmiştir (Wiśniewska vd., 2024).

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

DeneySEL çalışmada kullanılan tekstil atıksuyu, denim kumaş üreten TÜSA DENİM (Bartın/Türkiye) fabrikasından temin edilmiştir. Atıksuyun karakterizasyonu KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı), AKM (Askıda Katı Madde), renk ve

pH gibi temel parametrelerle yapılmıştır (Tablo 1). Bu veriler, atıksuyun yüksek organik yük ve renk içeriğine sahip olduğunu ve 25687 sayılı Resmî Gazete’de yayınlanan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’ne (SKKY) göre arıtımının ve renk gideriminin gerekli olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Tekstil Atıksuyu Karakterizasyon Sonuçları (Characterization Results of Textile Wastewater)

Parametre-Birim	Analiz Sonucu	SKKY Tablo 10.2 Sınır Değerleri
KOI(mg/l)	2672	300
AKM(mg/l)	570	140
Renk(Pt-Co)	8400	280
pH	12,70	6-9

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ): KOİ tayini, organik maddelerin oksitlenerek tespit edilmesi için kullanılan önemli bir parametredir. Analizler, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017) protokolüne göre gerçekleştirilmiştir. Örnekler, belirli hacimlerde alınarak 0,25 N potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) çözeltisi ve sülfürik asit (H_2SO_4) ile reaktör içerisinde $150^\circ C$ 'de 2 saat süreyle ısıtılmıştır. Isıtma işlemi sonrası, numuneler spektrofotometrik yöntemle Hach DR6000 spektrofotometrede 600 nm dalga boyunda analiz edilmiştir. Ölçülen değerler, mg/L cinsinden KOİ konsantrasyonu olarak kaydedilmiştir.

Askıda Katı Madde (AKM): AKM tayini, atıksudaki katı partiküllerin konsantrasyonunu belirlemek için kullanılır. Örnekler, $0,45 \mu m$ gözenek çapına sahip cam fiber filtre kağıtları kullanılarak filtrelenmiş, daha sonra filtre kağıtları $103-105^\circ C$ 'de etüvde kurutulmuş ve sabit ağırlığa ulaşana kadar tartılmıştır. Filtrasyon sonrası kalan partiküller, askıda katı madde miktarını belirlemek amacıyla gravimetrik olarak belirlenmiştir.

pH ve Renk: pH ölçümleri, MetterToledo SG8 pH metre ile yapılmıştır. Deneyleyler boyunca sıcaklık yaklaşık $20^\circ C$ 'de sabit tutulmuştur. Renk, Hach Lange DR 6000 spektrofotometresinde 458 nm dalga boyunda Pt-Co yöntemiyle ölçülmüştür.

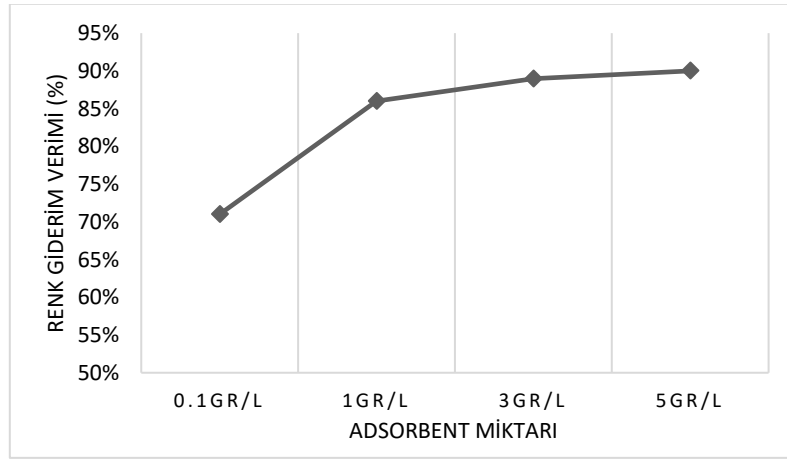
2.1. Adsorbent Maddeler (Adsorbent Substances)

Bu çalışmada kullanılan iki adsorbent, Zonguldak Çatalağzı Termik Santrali’nden temin edilen uçucu kül ve Sinop bölgesinden elde edilen ceviz kabuğudur. Ceviz kabuğu $0,5-1 \text{ mm}$ partikül boyutunda öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Her iki adsorbent de Nüve FN500 marka etüvde 24 saat boyunca $105^\circ C$ 'de kurutulup şartlandırılmıştır. Uçucu kül, endüstriyel bir yan ürün olarak atıkların geri kazanımı ve maliyet avantajı sunarken, ceviz kabuğu ise doğal bir tarımsal atık olarak kullanılmıştır.

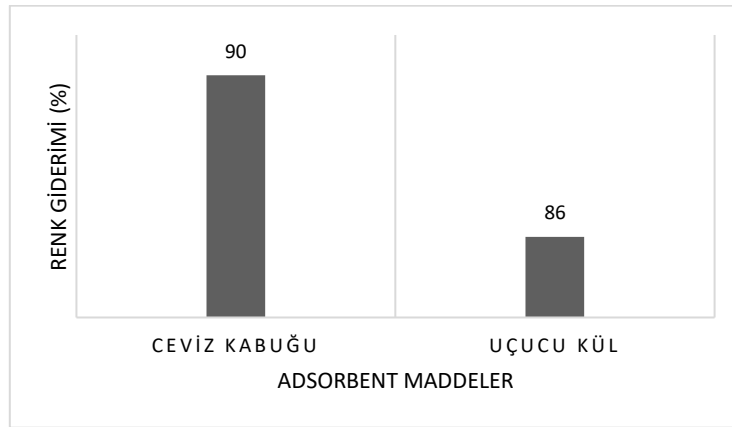
Öğütülmüş adsorbentler, $0,25 \text{ gr}$ olacak şekilde tartıldıktan sonra, her biri 50 mL atıksu içeren erlenlerin içine eklenmiştir. Deneyleyler, $20^\circ C$ sıcaklıkta ve 150 RPM hızında, NB-101MC model su banyosunda 3 saat boyunca karıştırılarak gerçekleştirilmiştir. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra, adsorbentlerin çöktürülmesi amacıyla Nüve NF200 model santrifüj cihazı (5000 RPM) kullanılmıştır. Ceviz kabuğu biyosorbentinin farklı derişimlerdeki performansı incelenmiştir. Ceviz kabuğu biyosorbenti $0,1 \text{ gr/L}$, 1 gr/L , 3 gr/L , 5 gr/L derişimlerde hazırlanmıştır. Daha sonra absorbanların karşılaştırılması amacıyla uçucu kül ve ceviz kabuğundan eşit miktarlarda alınan 5 gr/L derişimdeki adsorbent maddeleri $20^\circ C$ sıcaklıkta 150 RPM 'de 3 saat boyunca su banyosunda karıştırılmış ve tekstil atık suyundaki renk giderim değerleri okunmuştur.

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Ceviz kabuğunun farklı konsantrasyonları kullanılarak ($0,1 \text{ gr/L}$, 1 gr/L , 3 gr/L , 5 gr/L) tekstil atıksuyunun renk giderim verimi incelenmiştir (Şekil 1). Aynı koşullarda ve en yüksek verimin olduğu konsantrasyonlarda uçucu kül ve ceviz kabuğu adsorbentlerinin ise adsorpsiyon performansları karşılaştırılmıştır. Şekil 2’de görüldüğü gibi ceviz kabuğu biyosorbenti ile bir miktar daha yüksek giderim verimi değeri elde edilmiştir. Adsorpsiyon çalışmalarında renk giderimi için en yüksek verimi %90 ile ceviz kabuğu, %86 ile uçucu kül sağlamıştır.



Şekil 1. Ceviz Kabuğu Biosorbent Madde Derişiminin Renk Giderim Verimine Etkisi (Effect of Walnut Shell Biosorbent Material Concentration on Color Removal Efficiency)



Şekil 2. Ceviz Kabuğu ve Uçucu Kül Adsorbent Maddelerinin 5gr/L Konsantrasyonlarında Renk Giderim Verimi (Color Removal Efficiency of Walnut Shell and Fly Ash Adsorbent Materials at 5 g/L Concentration)

Çalışmada kullanılan ceviz kabuğu biyosorbenti ve uçucu kül, adsorpsiyon mekanizmasıyla tekstil atıksularındaki boyar maddelerin giderimi açısından etkinliği incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, ceviz kabuğu biyosorbentinin %90 değerinde renk giderim verimi sunduğu, uçucu külün ise %86 oranında verim sağladığı görülmüştür. Bu bulgular, daha önce yapılan çalışmalara paralel olarak, ceviz kabuğu gibi doğal biyosorbentlerin geniş yüzey alanı ve biyolojik uyumları sayesinde etkili sonuçlar sunduğunu göstermektedir (Aragaw ve Bogale, 2021).

Literatürde yaygın olarak kullanılan aktif karbon gibi adsorbentler, etkin bir renk giderim verimi sunmasına rağmen yüksek maliyet ve rejenerasyon ihtiyacı gibi dezavantajlara sahiptir (Ho ve Jani Saad, 2022; Athira ve Sumi, 2024). Buna karşılık, ceviz kabuğu gibi doğal tarımsal atıklar, düşük maliyetli ve kolay erişilebilir alternatifler olarak öne çıkmaktadır. Çalışmamızda da ceviz kabuğunun düşük derişimlerde (0,1 gr/L) dahi %71 oranında verim sunduğu gözlenmiş, bu durum ekonomik olarak daha uygun ve sürdürülebilir bir çözüm olduğunu ortaya koymuştur.

Endüstriyel bir yan ürün olan uçucu kül, tekstil atıksularındaki boyar maddelerin giderimi için etkili bir adsorbent olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte, bazı çalışmalarda uçucu külün modifikasyonu veya farklı boyar maddelere uyumu arttıkça adsorpsiyon kapasitesinin arttığı gözlenmiştir (Asfaram vd., 2015). Bu, uçucu külün uygun şartlar altında daha etkili bir çözüm olabileceğini düşündürmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan benzer çalışmalara paralel olarak, ceviz kabuğu gibi biyosorbentlerin adsorpsiyon kapasitesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Örneğin, Aragaw ve Bogale (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, biyosorbentlerin, özellikle ceviz kabuğunun, aktif karbon gibi geleneksel adsorbentlere kıyasla daha uygun maliyetli ve çevre dostu bir alternatif olduğu belirtilmiştir. Asfaram vd. (2015) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise modifiye edilmiş adsorbentlerin, geleneksel aktif karbonun ötesine geçerek daha verimli sonuçlar elde ettiği belirtilmiştir. Benzer şekilde, Pamukoğlu ve arkadaşlarının (2022) çalışmasında lavanta bitkisi özütü ile sentezlenen $\text{SiNH}_2\text{@FeNP}$ nanokompozitinin metilen mavisinin gideriminde yüksek etkinlik sağladığı rapor edilmiştir. Çalışmamızda kullanılan ceviz kabuğunun indigo boyalarının

giderimindeki başarısı da bu bulgularla uyumlu olarak değerlendirilmiştir. Çalışmamızda da ceviz kabuğunun %90'a kadar renk giderimi sağlaması, literatürdeki biyosorbentlerin etkinliğine ilişkin bulguları destekler niteliktedir ve daha düşük maliyetli bir alternatif sunmaktadır.

Bu çalışma ile ileri arıtım teknolojisi olan adsorpsiyon yöntemi kullanılarak, daha ucuz ve kolay temin edilebilen adsorbentlerin kullanımı amaçlanmıştır. Adsorbentlerin ön işlem gerektirmemesi ve kolay erişilebilir olmaları, tercih edilmelerinin temel nedenlerindedir. İki farklı adsorbentin karşılaştırılmasıyla renk giderim verimleri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar, ceviz kabuğu biyosorbentinin boyarmaddeye olan afinitesinin uçucu küle kıyasla daha yüksek olduğunu ve renk giderim veriminin de uçucu külden daha fazla olduğunu göstermiştir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışmada, tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan boyar maddelerin adsorpsiyon yoluyla gideriminde uçucu kül ve ceviz kabuğunun renk giderim verimleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar, bölgede faaliyet gösteren tekstil endüstrisinin gerçek atıksuları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Boyar madde gideriminde kullanılan fiziksel ve kimyasal yöntemler arasında, özellikle kimyasal çöktürme yönteminde kullanılan kimyasalların yüksek maliyeti ve oluşan çamur problemi, bu yöntemin en büyük dezavantajlarıdır. Oksidasyon yöntemlerinde ise toksik yan ürünlerin oluşma potansiyeli, uygulamayı sınırlayan önemli bir faktördür. İleri arıtım yöntemleri arasında yaygın olarak tercih edilen adsorpsiyon yönteminde adsorbent kullanımı hem arıtım verimliliği hem de maliyet açısından avantajlıdır. Ceviz kabuğunun farklı konsantrasyonlarda yapılan testlerde, 0,1 gr/L ile 5 gr/L arası konsantrasyonlar denenmiş ve %71 ila %90 aralığında renk giderimi elde edilmiştir. En yüksek giderimlerin elde edildiği 5 gr/L aynı derişimde yapılan deneyler sonucunda ceviz kabuğunun %90 oranında renk giderimi sağladığı, uçucu külün ise %86 oranında verim sunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, düşük konsantrasyonlarda bile ceviz kabuğu ile yüksek giderim verimleri elde edilmesi, bu malzemenin pratik uygulamalar için uygun olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuçlar, tekstil atıksularındaki boyar maddelerin ceviz kabuğu ile başarıyla giderilebileceğini göstermiştir. Bu bulgular, ceviz kabuğu biyosorbentinin, hem atık yönetimi hem de su arıtımı süreçlerinde yenilikçi ve sürdürülebilir bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Teşekkür (Acknowledgement)

Çalışmamıza katkılarından dolayı Tüsa Denim ve Zonguldak Çatalağzı Termik Santrali'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar (References)

- APHA (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). Washington DC: American Public Health Association.
- Asfaram, A., Ghaedi, M., Hajati, S., & Goudarzi, A. (2015). Adsorption of dye onto MnO₂ nanoparticle-loaded activated carbon: Kinetic, isotherm, and thermodynamic studies. *RSC Advances*, 5(88), 72300-72320. <https://doi.org/10.1039/c5ra10815b>
- Athira, T.M., Sumi, S. Agro-based Adsorbents for Dye Removal from Aqueous Solutions: A Review. *Water Air Soil Pollut* 235, 120 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11270-024-06926-8>
- Benkhaya, S., M'rabet, S., & El Harfi, A. (2020). A review on classifications, recent synthesis and applications of textile dyes. *Inorganic Chemistry Communications*, 115, 107891. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2020.107891>
- De Gisi, S., Lofrano, G., Grassi, M., & Notarnicola, M. (2016). Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 9, 10-40. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2016.06.002>
- Delikanlı, N. E., Fil, B. A., Uçun Özel, H., Gemici, B. T., & Özel, H. B. (2024). Biosorption of a Crystal Violet Using *Equisetium Telmateia* Ehrh. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 43(2), 659-669. doi: 10.30492/ijcce.2023.1996416.5926
- Dutta, S., Gupta, B., Srivastava, S. K., & Gupta, A. K. (2021). Recent advances on the removal of dyes from wastewater using various adsorbents: A critical review. *Materials Advances*, 2, 4497-4531. <https://doi.org/10.1039/D1MA00354B>

- Gemici, B.T., Uzun Ozel, H., Ozel, H.B. (2021), Removal of methylene blue onto forest wastes: Adsorption isotherms, kinetics and thermodynamic analysis, *Environmental Technology & Innovation*, Volume 22, 101501, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101501>.
- Aragaw TA and Bogale FM (2021) Biomass-Based Adsorbents for Removal of Dyes From Wastewater: A Review. *Front. Environ. Sci.* 9:764958. doi: 10.3389/fenvs.2021.764958
- Ho, S., & Jani Saad, M. (2022). A Review on Heavy Metal and Dye Removal via Activated Carbon Adsorption Process. *Asian Journal of Chemistry*, 35(1), 1–16. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2023.24019>
- Ismail, G. A., & Sakai, H. (2022). Review on effect of different types of dyes on advanced oxidation processes for textile color removal. *Chemosphere*, 291, 132906. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132906>
- Wiśniewska, M., Teresa, U., Karina, T., Marciniak, P, et.al. (2024). "Removal of Organic Dyes, Polymers and Surfactants Using Carbonaceous Materials Derived from Walnut Shells" *Materials* 17, no. 9: 1987. <https://doi.org/10.3390/ma17091987>
- Mcyotto, F., Wei, Q., Macharia, D.K., Huang, M. et al. (2021). Effect of dye structure on color removal efficiency by coagulation. *Chem. Eng. J.*, 405, 126674. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126674>
- Pamukoğlu, M. Y., Kırkan, B., & Yoldaş, B. (2024). Green synthesis of SiNH₂@FeNP nanocomposite using and removal of methylene blue from aqueous solution: Experimental design approach. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 104(16), 3694-3712. <https://doi.org/10.1080/03067319.2022.2087516>
- Pamukoğlu, M. Y., Kırkan, B., & Yoldaş, B. (2022). Lavanta bitkisi özütü kullanılarak SiNH₂@FeNP nanokompozitinin yeşil sentezi ile sulu çözeltiden metilen mavisinin giderimi: Deneysel tasarım yaklaşımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(1), 272-285. <https://doi.org/10.21923/jesd.1005031>
- Periyasamy, A. P. (2024). Recent Advances in the Remediation of Textile-Dye-Containing Wastewater. *Sustainability*, 16(2), 495. <https://doi.org/10.3390/su16020495>
- Rápó, E., & Tonk, S. (2021). Factors Affecting Synthetic Dye Adsorption; Desorption Studies: A Review of Results from the Last Five Years (2017–2021). *Molecules*, 26(17), 5419. <https://doi.org/10.3390/molecules26175419>
- Rizwan, K., Bilal, M. (2022) Developments in advanced oxidation processes for removal of microplastics from aqueous matrices. *Environ Sci Pollut Res* 29, 86933–86953. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23545-0>
- Shkliarenko, Y., Halysh, V., & Nesterenko, A. (2023). Adsorption of cationic dye crystal violet (CV) onto a modified walnut shell (WS) adsorbent. *Water*, 15(8), 1536. <https://doi.org/10.3390/w15081536>
- Tripathi, Manikant, Sakshi Singh, Sukriti Pathak, Jahnvi Kasaudhan, Aditi Mishra, Saroj Bala, Diksha Garg, Ranjan Singh, Pankaj Singh, Pradeep Kumar Singh, and et al. (2023). "Recent Strategies for the Remediation of Textile Dyes from Wastewater: A Systematic Review" *Toxics* 11, no. 11: 940. <https://doi.org/10.3390/toxics11110940>
- Urbina-Suarez, N.A.; López-Barrera, G.L.; García-Martínez, J.B.; Barajas-Solano, A.F.; Machuca-Martínez, F.; Zuorro (2023), A. Enhanced UV/H₂O₂ System for the Oxidation of Organic Contaminants and Ammonia Transformation from Tannery Effluents. *Processes*, 11, 3091. <https://doi.org/10.3390/pr11113091>