



Tarımsal Atıklar Kullanılarak Tekstil Atık Sularındaki Boyar Maddelerin Adsorpsiyonla Arıtılması

Bediha AKMEŞE¹, İlknur TOSUN SATIR²

¹Hitit Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Eczane Hizmetleri Bölümü, Çorum, Türkiye, ²Hitit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Çorum, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-6652-4574>, ² <https://orcid.org/0000-0003-3769-8767>

✉: bedihaakmese@hitit.edu.tr

ÖZET

Tekstil endüstrisinin son yıllardaki hızlı gelişimi nedeniyle yüksek miktarda su tüketimi ve yüksek toksisiteli kimyasallar içeren atık suların çevreye salınımı, çevre kirliliği ve insan sağlığı için tehdit oluşturmaktadır. Özellikle, boyar maddeler gibi kimyasalların kanserojen, teratojen ve mutajen etkileri, su kirliliği sorununu daha da vahim hale getirmektedir. Bu çalışmada, tekstil atık sularında bulunan boyar maddelerin sulu çözeltilerden uzaklaştırılması için doğada atık olarak bulunan malzemelerin adsorban olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, asit kırmızısı 1 (AK1), asit mavisi 80 (AM80), parlak mavi G (PMG), safranin O (SO) ve Victoria saf mavisi BO (VSMBO) boyar maddelerinin adsorpsiyon potansiyeli incelenmiştir. Adsorban olarak yer fıstığı kabuğu, çam poleni, mandalina kabuğu, nar kabuğu, Antep fıstığı kabuğu, muz kabuğu ve bal kabağı kabuğu gibi doğada bol miktarda bulunan ve atık olarak değerlendirilebilecek malzemeler kullanılmıştır. Çalışma, iki farklı pH seviyesinde (orijinal pH ve pH=2) gerçekleştirilmiş, bu pH koşullarında adsorpsiyon verimliliği değerlendirilmiştir. Sonuç olarak pH=2'de en yüksek giderimin AK1 boyar maddesi için muz kabuğu (%86.07) ile, AM80 boyar maddesi için yer fıstığı kabuğu (%94.83) ve PMG boyar maddesi için ise nar kabuğu (%96.49) ile elde edilmiştir. Orijinal pH'da SO ve VSMBO boyar maddelerinin ise orijinal pH'da tüm adsorbanların etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, farklı pH seviyelerinin (orijinal pH ve pH=2) bu boyar maddelerin adsorpsiyon kapasiteleri üzerindeki etkisini, tek yönlü ANOVA analizi ile değerlendirilmiştir. AK1, AM80, SO ve VSM80 için anlamlı farklılıklar gözlemlenirken, PMG için anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu bulgular, tekstil atık sularının arıtımında çevre dostu ve düşük maliyetli çözümler sunmaktadır.

Tarımsal Biyoteknoloji

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi

Geliş Tarihi : 06.11.2024

Kabul Tarihi : 30.01.2025

Anahtar Kelimeler

Tarımsal atık
Adsorpsiyon
Boyar madde
Atık su
Tekstil

Adsorption Treatment of Dyestuffs in Textile Wastewater Using Agricultural Wastes

ABSTRACT

Recent textile sector growth has resulted in excessive water consumption and wastewater releases into the environment that contain highly harmful compounds, endangering human health and the environment. Notably, the water pollution problem is exacerbated by the mutagenic, carcinogenic, and teratogenic properties of chemicals like dyes. This study aimed to determine whether waste materials from nature might be used as adsorbents to remove colors from aqueous solutions in textile effluent. Acid red 1 (AK1), acid blue 80 (AM80), bright blue G (PMG), safranin O (SO), and Victoria pure blue BO (VSMBO) dyes were examined for their adsorption capacity to achieve this goal. Materials that are abundant in nature and can be considered trash, such as peanut shells, pine pollen, tangerine peels, pomegranate peels, pistachio shells, banana peels, and pumpkin peels, were employed as adsorbents. The original pH and pH=2 were the two pH levels at which the study was conducted, and it was at these pH levels that the adsorption effectiveness was assessed. Consequently,

Agricultural Biotechnology

Research Article

Article History

Received: 06.11.2024

Accepted: 30.01.2025

Keywords

[Agricultural waste
Adsorption
Dyestuff
Wastewater
Textile]

the most excellent clearance at pH=2 was achieved with pomegranate peel (96.49%), peanut shell (94.83%), and banana peel (86.07%) for AK1 dye, AM80 dye, and PMG dye. For SO and VSMBO dyes, it was found that all adsorbents worked well at the initial pH. In this study, the effect of different pH levels (original pH and pH=2) on the adsorption capacities of these dyes was evaluated by one-way ANOVA analysis. While significant differences were observed for AK1, AM80, SO, and VSM80, no significant difference was found for PMG. These findings offer affordable, eco-friendly methods for treating wastewater from textile production. The results suggest that optimizing pH levels can enhance the effectiveness of certain adsorbents in removing dyes from wastewater. Further research may explore the long-term stability and regeneration potential of these materials to ensure sustainable applications in industrial settings. This tool offers a variety of features designed to enhance writing, including grammar checking, paraphrasing, and summarization. By utilizing advanced algorithms, it aims to assist users in producing clear and effective written communication.

Atıf İçin : Akmese, B. & Tosun Satır, İ. (2025). Tarımsal Atıklar Kullanılarak Tekstil Atık Sularındaki Boyar Maddelerin Adsorpsiyonla Arıtılması. *KSÜ Tarım ve Doğa Derg 28(2)*, 535-543. DOI: 10.18016/ksutarimdog.vi.1580513.
To Cite: Akmese, B. & Tosun Satır, I. (2025). Adsorption Treatment of Dyestuffs in Textile Wastewater Using Agricultural Wastes. *KSU J. Agric Nat 28(2)*, 535-543. DOI: 10.18016/ksutarimdog.vi.1580513.

GİRİŞ

Hızlı sanayileşme ve kentleşme ile beraber çevreye salınan tehlikeli kimyasallar içeren atık sular arıtma işleminden sonra deniz, nehir gibi yakındaki sulara boşaltılarak ekosistemin ve insan sağlığının tahribatına neden olmaktadır (Cora ve ark., 2024; Thasneema ve ark., 2021). Bu yüzden su kirliliği endişe verici bir çevre sorunu haline gelmiştir. Özellikle tekstil fabrikaları tüm sanayi sektörleri arasında en fazla su kirliliğine neden olan sektör olarak kabul edilmektedir (Methneni ve ark., 2021). Tekstil endüstrilerinin boyama işlemlerinde büyük miktarda su tüketimi gerçekleşir (Rigueto ve ark., 2020). Bunun sonucunda, arıtılmadan veya yetersiz arıtma ile yüksek hacimde atık su çevreye salınır (Methneni ve ark., 2021). Üretilen renkli atık sular yüksek toksisiteleri nedeniyle kanserojen, teratojen ve hatta mutajen oldukları için sağlık açısından ciddi tehlike unsurlarıdır (Tzvetkov ve ark., 2020). Bu yüzden tekstil atık suları birçok ülkede günden güne artan endişe kaynağıdır (Thasneema ve ark., 2021).

Bu kimyasalların, insanlara ve suda yaşayan organizmalara yönelik oluşturduğu ciddi risk nedeniyle, atık sudan bu kimyasalları uzaklaştırmak için etkili bir yöntem geliştirmek zorunludur. Sentetik boya atık sulardan uzaklaştırmak için membran filtrasyonu, mikrobiyolojik veya enzimatik, adsorpsiyon, fotokatalizör gibi çeşitli yöntemler önerilmiştir (Liu ve ark., 2020; Kuo & Chen, 2012; Mi ve ark., 2019; Ajaz ve ark., 2019). Bu yöntemlerin arasında adsorpsiyon, boya giderimi için etkili bir tekniktir. Adsorpsiyon, yüksek verimliliği, düşük işlem maliyeti, tasarım basitliği ve kullanım kolaylığı nedeniyle avantajlı bir teknolojidir (Tzvetkov ve ark., 2020). Sulu çözeltilerden boyaların uzaklaştırılması için düşük maliyetli, tekrar kullanılabilirliği yüksek ve proses gerektirmeyen adsorbanlar son zamanlarda dikkat çekmektedir. Tarımsal atık malzemelerden hazırlanan adsorbanlara, bol miktarda bulunmaları, yüksek sabit karbon içeriği ve gözenekli yapıları nedeniyle sıklıkla literatürde rastlanmaktadır (Bhatnagar & Minocha, 2010). Tarımsal atıklar, tarımsal üretimde yan ürün olarak oluşur ve doğru şekilde yönetilmediğinde çevresel sorunlara neden olabilir. Bu yüzden, bu atıkların etkili bir şekilde kullanılması önemlidir (Yıldız, 2024).

Kırmızı 2G olarak da bilinen asit kırmızı 1 (AK1), mürekkepleri, kağıtları, krep kağıtlarını ve hassas dokuları renklendirmek için kullanılan sentetik bir anyonik mono-azo boyadır (Alkoshab ve ark. 2024). İki sülfonat grubu içeren anyonik antrakinon boya olan asit mavisi 80 (AM80), tekstil endüstrisinin yanı sıra kağıt kimyasalları ve boya, mürekkep ve tonerler, deri işleme ürünleri, polimerler, kozmetik ve kişisel bakım ürünleri, yıkama ve temizlik ürünleri, biyositler vb. alanlarda kullanılır (Blanco ve ark., 2023). Parlak mavi G (BMG) Afrika Kıtası'nda, özellikle tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan, Coomassie Blue olarak da adlandırılan anyonik bir boyadır (Boukerche ve ark. 2023). Safranin O (SO) bilinen en eski suda çözünür sentetik ve katyonik bir boyadır. Genellikle pamuk, elyaf, deri, kağıt, ipek, tanen ve yünü boyamak için kullanılır. Ayrıca gıda ve tekstil endüstrilerinde renklendirici olarak yaygın olarak kullanılır (Çetinkaya ve ark., 2023). Victoria saf mavisi BO (VPBO), Basic blue 7 olarak da bilinir, 2010 yılında Vietnam'dan ithal edilen kirli panga balığına (pangasius bocourti) bulunan bir boyadır (Dubreil ve ark. 2021).

Daha önceki yapılan çalışmalarda, yer fıstığı kabuklarının kadmiyum ve nikelin arıtılması için adsorban olarak kullanılması (Pessôa ve ark., 2024), yer fıstığı kabuğu ve portakal kabuğundan elde edilen adsorbanlar ile fosfatın uzaklaştırılması (Zhao ve ark., 2023), muz kabuğundan hazırlanan biyokömürün bakır (Cu⁺) ve kurşun (Pb²⁺) adsorpsiyonu (Amin ve ark., 2018), mandalina kabuğunun sulu çözeltiden sekiz ağır metal iyonunun (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn) uzaklaştırılması (Abdić ve ark., 2018) gibi çalışmalara rastlanmıştır. Boyaların tarımsal atıklar ile adsorpsiyonuna dair yapılan çalışmalar incelendiğinde işlenmemiş zeytin posası ile (Akar ve ark., 2009), fındık kabuğu-odun talaşı karışımı (Ferrero, 2007), yumurta kabuğu (Mobarak ve ark., 2023), ayçekirdeği kabuğu (Thinakaran ve ark., 2008), muz, portakal ve nar kabukları karışımı (Tolkou ve ark. 2024) gibi adsorbanların kullanıldığı görülmüştür.

Çalışmanın amacı, doğada tarımsal atık olarak bulunan bazı adsorbanların tekstil endüstrisinde kullanılan boyarmaddelerin gideriminde kullanılabilirliğini araştırmaktır. Bu amaçla yer fıstığı kabuğu, çam poleni, mandalina kabuğu, nar kabuğu, Antep fıstığı kabuğu, muz kabuğu, bal kabağı kabuğu kullanılarak asit kırmızısı 1 (AK1), asit mavisi 80 (AM80), parlak mavi G (BMG), safranin O (SO) ve victoria saf mavisi BO (VSMBO) boyalarının sulu ortamdan adsorpsiyon ile uzaklaştırma kapasiteleri incelenmiştir. Bu amaçla farklı pH'larda boyaların adsorpsiyon verileri karşılaştırılmıştır.

MATERYAL ve METOD

Kullanılan Kimyasallar

AK1, AM80, BMG, SO ve VSM boyar maddeler Sigma–Aldrich'den satın alınmıştır. pH ayarı için kullanılan sodyum hidroksit ve hidroklorik asit (%37, d=1,19 g mL⁻¹) Riedel de Haen'den temin edilmiştir. Kullanılan boyar maddelerin kimyasal yapıları Çizelge 1.'de verilmiştir.

Cihazlar

Boyar maddelerin kantitatif tayinleri Thermo Genesys 10S marka UV/görünür bölge spektrofotometresi ile yapılmıştır. Çalışmalarda kullanılan saf su için Human Corp. Zeneer Power I marka cihaz kullanılmıştır. Çözelti hazırlama ve deneysel çalışma basamaklarında WiseClean marka ultrasonikatör, Memmert UN110 model etüv, Retsch MM 400 model öğütücü ve Hettich Rotofix 32 A model santifürüj kullanılmıştır.

Standart Çözeltilerin Hazırlanması

Çalışmalarda kullanılan AK1, AM80, BMG, SO ve VSMBO boyar maddelerinin 200 mg L⁻¹ derişiminde stok çözeltileri saf suda çözülerek hazırlanmıştır. Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılacak boya çözeltileri stok çözeltilerden seyreltilerek hazırlanmıştır. 0,1 M ve 1 M'lık derişimlerde HCl ve NaOH çözeltileri saf su ile çözülerek hazırlanmış ve pH ayarları bu çözeltilerle yapılmıştır. Çalışmalar boyunca kullanılan tüm çözeltiler günlük olarak hazırlanmış ve +4 °C'de buzdolabında saklanmıştır.

Adsorbanların Hazırlanması

Çalışmada adsorban olarak kullanılan yer fıstığı kabuğu, mandalina kabuğu, nar kabuğu, antep fıstığı kabuğu, muz kabuğu ve bal kabağı kabuğu yerel bir marketten satın alınmış ve çalışmaya başlamadan önce saf su ile birkaç kez yıkama yapıldıktan sonra 50 °C'de etüvde kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrasında ise laboratuvar öğütücüsü ile öğütülmüş 150 µm'lik elekten elenmiştir. Çalışmada kullanılan çam polenleri ise Kastamonu bölgesinden toplanmıştır. Çam polenlerine ise herhangi bir işlem yapılmamıştır.

Adsorpsiyon Çalışmaları

Adsorpsiyon çalışmaları tüm boyar maddeler için kesikli (batch) sistemde gerçekleştirilmiştir. Çözelti pH'ı adsorpsiyon çalışmalarında önemli parametrelerden biridir. Bu nedenle boyar maddelerin adsorpsiyon çalışmalarında asidik ve bazik olmak üzere 2 farklı pH'da çalışılmıştır. Boyar maddelerin pH'ları yaklaşık pH 5,5-7 aralığında olduğundan, ikinci pH olarak asidik bir pH (pH=2) seçilmiştir. 25 mg L⁻¹ derişiminde hazırlanan boyar maddelerden 25 mL hacminde alınarak, 0,1 g adsorban ile 1 saat boyunca 250 RPM' de manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra 3000 RPM hızda 3 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Elde edilen süpernetant ile boyar maddelerin kantitatif tayini, boya çözeltilerinin max. dalga boyunda UV-görünür bölge spektrofotometresi ile yapılmıştır.

Adsorpsiyon verimini belirlemek için adsorpsiyon kapasiteleri, q_d (mg g⁻¹) aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanmıştır.

$$q_d = (C_0 - C) \frac{V}{m} \quad (1)$$

Eşitlikte,

- q_d :Adsorpsiyon kapasitesi (mg g^{-1}),
 C_0 :Boyar maddenin başlangıç konsantrasyonu (mg L^{-1}),
 C_s :Boyanın denge zamanındaki konsantrasyonu (mg L^{-1}),
 V :Boyar madde çözeltisinin hacmi,
 M :Adsorban miktarını (g)

göstermektedir.

Boyar maddenin çözeltiden uzaklaştırılma yüzdesi aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır:

$$\%Giderim = \frac{C_0 - C_s}{C_0} \quad (2)$$

Çizelge 1. Kullanılan boyar maddeler

Table 1. Dyes used

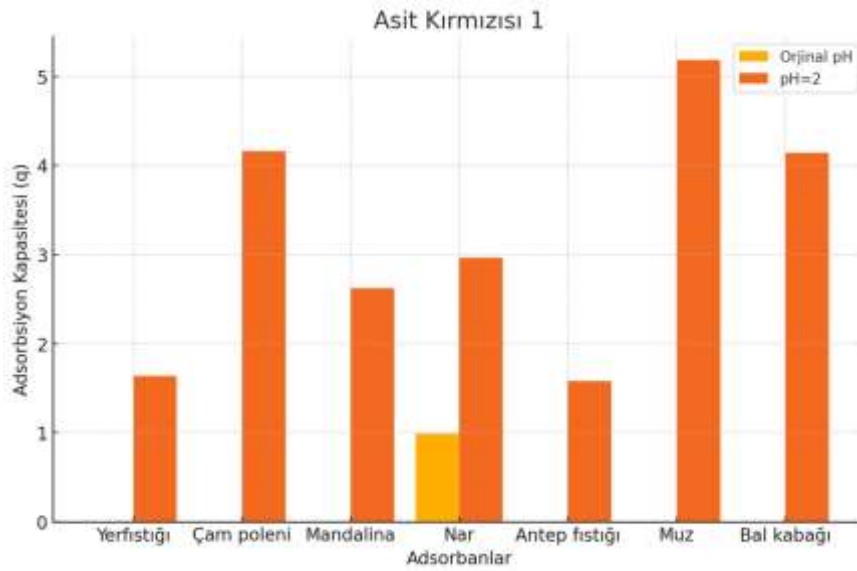
Boyar Maddeler	Kimyasal Yapıları	Molekül Ağırlığı (g mol^{-1})	Dalga Boyu (nm)
AK1		509.42	530
AM80		678.68	620
PMG		854.00	465
SO		350.85	520
VSMBO		514.14	600

Adsorpsiyon Verilerinin İstatistiksel Analizi

Bu çalışmada pH seviyelerinin adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisini test etmek için tek yönlü ANOVA analizi yapılmıştır. Analizlerde, pH bağımsız değişken (orijinal ve pH=2) olarak incelendi. AK1, AM80, PMG, SO ve VSMBO boyar maddelerinin farklı adsorpsiyon kapasitesinin pH değişimine bağlı olup olmadığı test edilmiştir. ANOVA testleri Python 3.10 ile yapılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, adsorpsiyon yöntemi ile AK1, AM80, PMG, SO ve VSMBO boyar maddelerinin sulu ortamdan uzaklaştırılması için yer fıstığı kabuğu, çam poleni, mandalina kabuğu, nar kabuğu, Antep fıstığı kabuğu, muz kabuğu, bal kabağı kabuğunun adsorban olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Adsorpsiyon çalışmalarında çözelti pH'ı olarak, pH=2 ve boyar maddelerin orijinal pH'ları (AK1 pH=6.80; AM80 pH=5.80; PMG pH=5.91; SO pH=5.80; VSMBO pH=5.82) seçilmiştir. Şekil 1.'de AK1, Şekil 2.'de AM80, Şekil 3.'te PMG, Şekil 4.'de SO ve Şekil 5.'te VSMBO boyar maddelerinin hazırlanan adsorbanlar ile adsorpsiyon çalışmalarına ait adsorpsiyon kapasiteleri verileri grafik olarak verilmiştir. Çizelge 2.'de adsorpsiyon çalışmalarından elde edilen adsorpsiyon kapasitesi ve % giderim değerleri, Çizelge 3.'de AK1, AM80, PMG, SO ve VSMBO boyar maddeleri için orijinal pH ve pH=2'de adsorpsiyon kapasiteleri arasındaki farkların tek yönlü ANOVA analizi sonuçları verilmiştir.



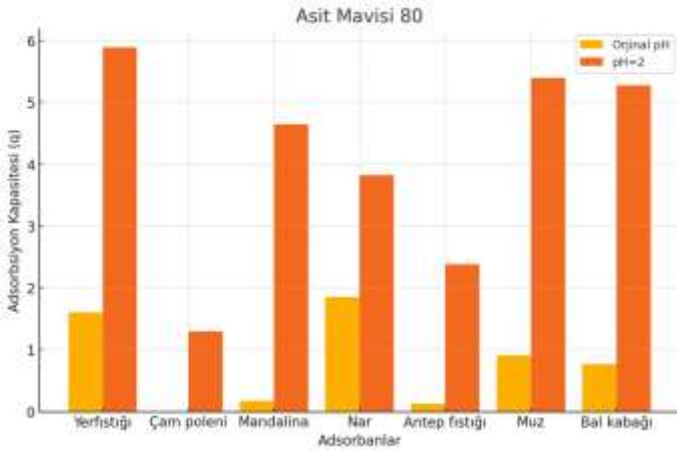
Şekil 1. AK1'in adsorpsiyonu için kapasite değerlerine ait grafik
Figure 1. Graph of capacity values for adsorption of AK1

Şekil 1. ve Çizelge 2'deki verilere bakıldığında, AK1 boyar maddesinin sulu ortamdan adsorpsiyon yöntemi ile uzaklaştırılması için yapılan deneylerde pH 2'de çam poleni ve bal kabağı kabuğundan % 68; muz kabuğunda ise %86 gibi yüksek bir verim elde edilmiştir. Yer fıstığı, Antep fıstığı, nar ve mandalina kabuklarında adsorpsiyon verimi düşüktür. Tüm adsorbanlar için ise orijinal pH'da AK1 boya çözeltisi ortamdan uzaklaştırılamamıştır. Çizelge 3'e bakıldığında AK1 boyar maddesinin ANOVA analiz sonucunda F-istatistiği 32.26 ve $p=0.00010$ olarak bulunmuştur. pH seviyelerinin AK1'in adsorpsiyon kapasitesi üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.

AM80 boyar maddesinin adsorpsiyon çalışmasından elde edilen kapasite ve % giderim verilerine bakıldığında (Şekil 2 ve Çizelge 2); yer fıstığı, nar, muz ve bal kabağı kabukları ile boyanın orijinal pH'ında bir miktar adsorpsiyon gözlenmiştir. pH 2'de ise yer fıstığı kabuğunda %94 gibi çok yüksek giderim elde edilmiştir. Muz ve bal kabağı kabuğu ile yapılan çalışmada da %80'in üzerinde bir adsorpsiyon verimi elde edilmiştir. Çam poleni ve Antep fıstığı kabuğunda her iki pH'da da adsorpsiyon kapasitesi değerleri yüksek değildir. Çizelge 3'e bakıldığında AM80 boyar maddesinin ANOVA analiz sonucunda F-istatistiği 22.40 ve $p=0.00049$ olarak bulunmuştur. pH seviyelerinin AM80'nin adsorpsiyon kapasitesi üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.

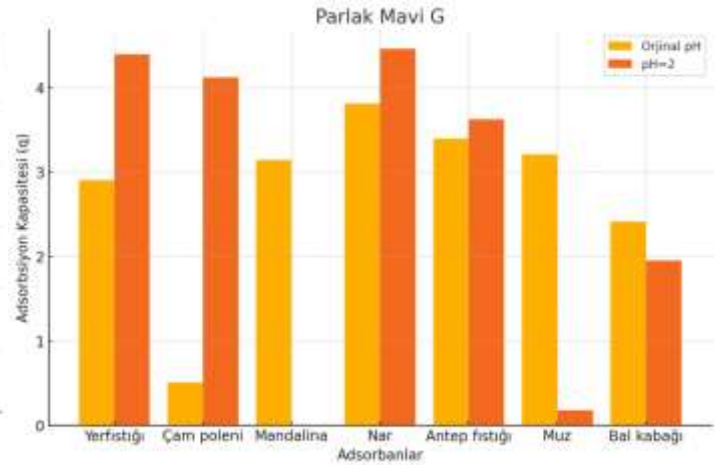
Şekil 3'te verilen PMG boyar maddesinin adsorpsiyon kapasitesi verileri incelendiğinde çam poleni ve muz kabuğu dışında çalışılan her iki pH'da da adsorpsiyonun gerçekleştiği söylenebilir. Sonuçlara genel olarak bakıldığında pH 2'deki adsorpsiyon kapasiteleri orijinal pH'lardaki kapasiteden daha yüksektir. PMG adsorpsiyonu için en yüksek uzaklaştırma verimi nar kabuğu (%96.49) olarak bulunmuştur. Yer fıstığı kabuğu, çam poleni ve Antep fıstığı kabuğunun adsorban olarak kullanıldığı çalışmalarda da oldukça yüksek verim elde edilmiştir. pH 2'de

mandalina ve muz kabuğunda ise kayda değer bir adsorpsiyon gözlemlenmemiştir. Çizelge 3'e bakıldığında PMG boyar maddesinin ANOVA analiz sonucunda F-istatistiği 0.01237 ve $p=0.9133$ olarak bulunmuştur. pH seviyelerinin PMG'nin adsorpsiyon kapasitesi üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur. Bu durum, orijinal pH ve pH=2 seviyelerinde adsorpsiyon kapasitelerinin birbirine oldukça yakın olduğunu göstermektedir.



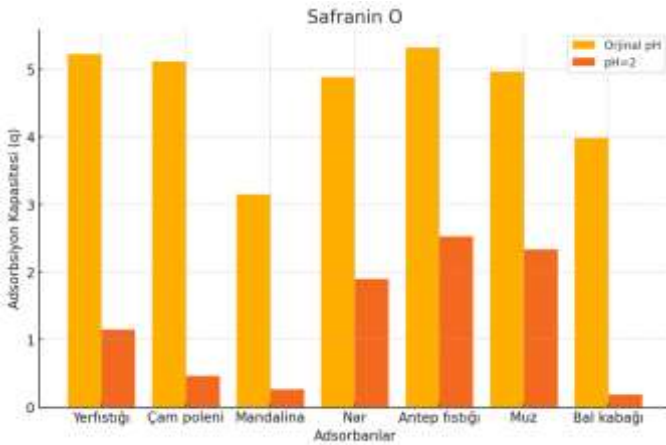
Şekil 2. AM80'in adsorpsiyonu için kapasite değerlerine ait grafik

Figure 2. Graph of capacity values for adsorption of AM80



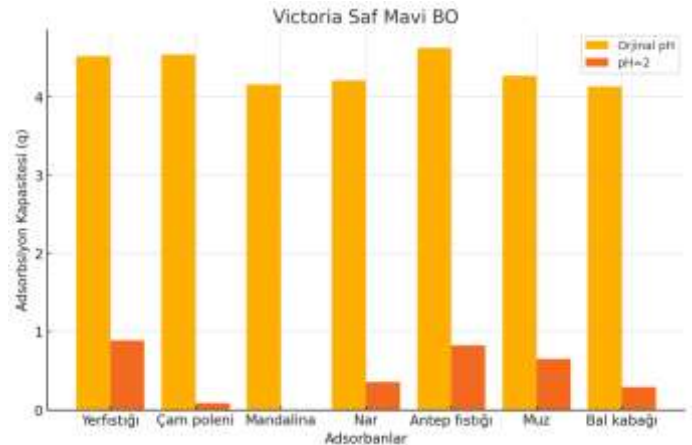
Şekil 3. PMG'nin adsorpsiyonu için kapasite değerlerine ait grafik

Figure 3. Graph of capacity values for adsorption of PMG



Şekil 4. SO'nun adsorpsiyonu için kapasite değerlerine ait grafik

Figure 4. Graph of capacity values for adsorption of SO



Şekil 5. VSMBO'nun adsorpsiyonu için kapasite değerlerine ait grafik

Figure 5. Graph of capacity values for adsorption of VSMBO

SO boyar maddesinin hazırlanan adsorbanlar ile yapılan adsorpsiyon çalışmasında, çözeltinin orijinal pH'ında adsorpsiyon kapasiteleri oldukça yüksektir. Yer fıstığı kabuğu, çam poleni ve Antep fıstığı kabuğunda %90'dan fazla boya giderimi gerçekleştiği görülmektedir (Çizelge 2). Nar ve muz kabuklarında ise yaklaşık %85'lik bir giderim gerçekleşmektedir. Şekil 4'teki verilere bakıldığında ise asidik pH'larda kapasite verileri oldukça düşüktür. Çizelge 3'e bakıldığında SO boyar maddesinin ANOVA analiz sonucunda F-istatistiği 49.00 ve $p=0.00058$ olarak bulunmuştur. pH seviyelerinin SO'nun adsorpsiyon kapasitesi üzerinde anlamlı bir etkisi vardır. Şekil 5'teki kapasite değerlerine bakıldığında pH 2'de çalışmada kullanılan tüm adsorbanlar için adsorpsiyonun gerçekleşmediği söylenebilir. VSMBO boyar maddesinin orijinal pH'ında ise tüm adsorbanlar için yüksek bir adsorpsiyon verimi elde edilmiştir. Yer fıstığı kabuğu, çam poleni ve Antep fıstığı kabuğunda %90'ın üzerinde giderim sağlanırken; mandalina, nar, muz ve bal kabağı kabuklarında %80'in üzerinde boya çözelti ortamından uzaklaştırılmıştır. Çizelge 3'e bakıldığında VSMBO boyar maddesinin ANOVA analiz sonucunda F-istatistiği 646.86 ve $p=8.299 \times 10^{-12}$ olarak bulunmuştur. pH seviyelerinin VSMBO'nun adsorpsiyon kapasitesi üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddelerden AK1, AM80, PMG, SO ve VSMBO'nun atık sulardan adsorpsiyon yöntemi ile uzaklaştırılması için yer fıstığı kabuğu, çam poleni, mandalina kabuğu, nar kabuğu, Antep fıstığı kabuğu, muz kabuğu ve bal kabağı kabuğunun adsorban olarak uygunluğunun araştırılmıştır. Adsorpsiyon çalışmaları için 2 farklı pH'da çalışılmıştır. Boya çözeltilerinin orijinal pH'ları ve pH=2 ile çalışma pH'ı olarak seçilmiş, diğer adsorpsiyon parametreleri sabit tutularak çalışılmıştır.

Çizelge 2. Adsorpsiyon çalışmalarından elde edilen adsorpsiyon kapasitesi ve % giderim değerleri
Table 2. Adsorption capacity and % removal values obtained from adsorption studies

		Original pH		pH=2	
		q (mg g ⁻¹)	% Giderim	q (mg g ⁻¹)	% Giderim
AK1	Yerfıstığı	0	0	1.64	27.20
	Çam poleni	0	0	4.16	68.99
	Mandalina	0	0	2.63	43.54
	Nar	0.99	16.34	2.96	49.14
	Antep fıstığı	0	0	1.58	26.14
	Muz	0	0	5.19	86.07
	Bal kabağı	0	0	4.15	68.77
	AM80	Yerfıstığı	1.61	25.72	5.90
Çam poleni		0	0	1.30	20.87
Mandalina		0.17	2.72	4.65	74.75
Nar		1.86	29.70	3.82	61.48
Antep fıstığı		0.13	2.02	2.38	38.30
Muz		0.91	14.50	5.40	86.87
Bal kabağı		0.77	12.24	5.28	84.86
PMG		Yerfıstığı	2.91	48.82	4.40
	Çam poleni	0.51	8.52	4.12	89.09
	Mandalina	3.14	52.79	0	0
	Nar	3.81	64.02	4.47	96.49
	Antep fıstığı	3.40	57.09	3.63	78.34
	Muz	3.21	53.93	0.18	3.78
	Bal kabağı	2.41	40.53	1.95	42.14
	SO	Yerfıstığı	5.22	92.90	1.15
Çam poleni		5.11	90.96	0.46	8.39
Mandalina		3.15	56.02	0.26	4.72
Nar		4.88	86.82	1.90	34.27
Antep fıstığı		5.32	94.65	2.53	45.61
Muz		4.96	88.30	2.33	42.05
Bal kabağı		3.98	70.81	0.18	3.33
VSMBO		Yerfıstığı	4.52	90.94	0.89
	Çam poleni	4.54	91.31	0.09	5.58
	Mandalina	4.16	83.64	0	0
	Nar	4.21	84.65	0.35	23.27
	Antep fıstığı	4.62	93.08	0.82	54.07
	Muz	4.27	85.86	0.65	42.68
	Bal kabağı	4.13	83.12	0.29	19.08

Çizelge 3. AK1, AM80, PMG, SO ve VSMBO boyar maddeleri için orijinal pH ve pH=2'de adsorpsiyon kapasiteleri arasındaki farkların tek yönlü ANOVA analizi sonuçları

Table 3. Results of one-way ANOVA analysis of the differences between adsorption capacities at original pH and pH=2 for AK1, AM80, PMG, SO and VSMBO dyes

Boyar Madde	F-İstatistiği	p	Anlamlılık
AK1	32.26	0.00010	Anlamlı
AM80	22.40	0.00049	Anlamlı
PMG	0.01237	0.9133	Anlamlı değil
SO	49.00	0.00058	Anlamlı
VSMBO	646.86	8.299 x 10 ⁻¹²	Anlamlı

AK1 boyarmaddesinin en yüksek giderimi (%86.07) pH=2'de muz kabuğu ile gerçekleşmiştir. AM80 boyarmaddesinin adsorpsiyon çalışmalarında ise yine pH=2'de en yüksek giderim yer fıstığı (%94.83) daha sonra muz kabuğu (%86.87) ve bal kabağı (%84.86) ile olmuştur. PMG boyarmaddesinde ise pH=2'de en yüksek giderim nar kabuğu (%96.49) daha sonra yer fıstığı (%95.06) ve çam poleni (%89.09) ile olmuştur. AK1, AM80 ve PMG boyarmaddesinin asidik pH'ında adsorbanın yüzeyi pozitif yüklenir. Pozitif iyonlarla çevrili adsorban yüzeyi ile negatif iyonlarla yüklü boyarmadde arasında elektrostatik etkileşim meydana gelir. pH arttıkça adsorban çevresinde OH⁻ iyonlarının artması sebebiyle adsorpsiyon kapasitesi azalmaktadır. SO boyarmaddesinde en iyi adsorpsiyon orijinal pH'da sırasıyla Antep fıstığı kabuğu (%94.65), yer fıstığı kabuğu (%92.90), çam poleni (%90.96), muz kabuğu (88.30) ve nar kabuğu (86.82) ile gerçekleşmiştir. VSMBO boyarmaddesinin adsorpsiyon çalışmalarına bakıldığında orijinal pH'da sırasıyla Antep fıstığı kabuğu (%93,08), çam poleni (%91.31), yerfıstığı kabuğu (%90.94), muz kabuğu (%85.86), nar kabuğu (%84.65), mandalina kabuğu (%83.64), bal kabağı (%83.12) ile adsorpsiyonu gerçekleşmiştir. Asidik pH değerlerinde, SO ve VSMBO boyarmaddelerinin iyonları ile H₃O⁺ iyonları arasındaki rekabet nedeniyle adsorpsiyon kapasitesinin düşük olduğu bulunmuştur. Bazik pH'da ise adsorbanın yüzeyi negatif yüklerle çevrildiğinden dolayı boya çözültüsü ile elektrostatik çekim kuvveti artar ve dolayısıyla kapasitenin arttığı görülmüştür. AK1, AM80, PMG, SO ve VSMBO'nun adsorpsiyonuna pH'ın etkisi incelemek için yapılan tek yönlü ANOVA analiz sonuçlarına göre AK1, AM80, SO ve VSMBO için pH değişiminin adsorpsiyon kapasitesine etkisi oldukça önemlidir. PMG için pH değişiminin adsorpsiyon üzerinde önemli bir etkisi gözlenmemiştir.

Bu çalışmalar sonucunda pH=2'de AK1 boyarmaddesinin adsorpsiyonunda muz kabuğunun, AM80 boyarmaddesinin adsorpsiyonunda yer fıstığı, muz kabuğu ve bal kabağının, PMG boyarmaddesinin adsorpsiyonunda nar kabuğu, yer fıstığı ve çam polenin kullanılabileceği bulunmuştur. Orijinal pH'da SO ve VSMBO boyarmaddesinin uzaklaştırılmasında tüm adsorbanların kullanılabileceği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, bu boyaların adsorpsiyonu için çevrede atık olarak bulunan malzemelerin adsorban olarak kullanımı, kirlilik kontrolü ve çevre koruma açısından büyük önem taşımaktadır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.
The authors declare that they have contributed equally to the article.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Abdić, Š., Memić, M., Šabanović, E., Sulejmanović, J., & Begić, S. (2018). Adsorptive Removal of Eight Heavy Metals from Aqueous Solution by Unmodified and Modified Agricultural Waste: Tangerine Peel. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15, 2511–2518. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1645-7>.
- Ajaz, M., Rehman, A., Khan, Z., Nisar, M.A., & Hussain, S. (2019). Degradation of Azo Dyes by *Alcaligenes Aquatilis* 3c and Its Potential Use in the Wastewater Treatment. *AMB Express*, 9, 64. <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0788-3>.
- Akar, T., Tosun, I., Kaynak, Z., Ozkara, E., Yeni, O., Sahin, E.N., & Tunali Akar, S. (2009). An Attractive Agro-Industrial by-Product in Environmental Cleanup: Dye Biosorption Potential of Untreated Olive Pomace. *Journal of Hazardous Materials*, 166 (2-3), 1217-1225. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.12.029>.
- Alkoshab, M.Q., Al-Amrani, W.A., Drmosh, Q.A., & Onaizi, S.A. (2024). Zeolitic İmidazolate Framework-8/Layered Triple Hydr(Oxide) Composite for Boosting the Adsorptive Removal of Acid Red 1 Dye from Wastewater. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 699, 134637. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.134637>.
- Amin, M.T., Alazba, A.A., & Shafiq, M. (2018). Removal of Copper and Lead Using Banana Biochar in Batch Adsorption Systems: Isotherms and Kinetic Studies. *Chemical Engineering*, 43, 5711–5722. <https://doi.org/10.1007/s13369-017-2934-z>.
- Bhatnagar, A., & Minochaa, A.K. (2010). Biosorption Optimization of Nickel Removal from Water using *Punica Granatum* Peel Waste. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 76, 544–548. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2009.12.016>.
- Blanco, L., Martínez-Rico, O., Domínguez, Á., & González, B. (2023). Removal of Acid Blue 80 from Aqueous Solutions Using Chitosan-Based Beads Modified with Choline Chloride:Urea Deep Eutectic Solvent and FeO. *Water Resources and Industry*, 29, 100195. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2022.100195>.

- Boukerche, I., Boutamine, Z., & Bekrou, S. (2023). Investigation of Photocatalytic Degradation of an Anionic Dye Brilliant Blue G 250 by Nanocatalyst of ZnO-EG Prepared Under Ultrasonic Waves. *Desalination and Water Treatment*, 284, 251–267. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29236>.
- Cora, M., Durukan, İ., Uluçam Atay, G., & Kılıç, A.O. (2024). Atık Sulardan İzole Edilen Gram Negatif Bakterilerin Antibiyotik Direnç Profillerinin Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 27(3), 520-527. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.a.vi.1248203>.
- Çetinkaya, S., Kaya, S., Aksu, A., Çetintaş, H.İ., Jalbani, N.S., Erkan, S., & Marzouki, R. (2023). Equilibrium And DFT Modeling Studies for the Biosorption of Safranin O Dye from Water Samples Using Bacillus Subtilis Biosorbent. *Journal of Molecular Structure*, 1276, 134761. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.134761>.
- Dubreil, E., Laurentie, M., Delmas, J.M., Danion, M., Morin, T., Hurtaud-Pessel, D., Viel, A., Sanders, P., & Verdon, E. (2021). Tissue Distribution, Metabolism, and Elimination of Victoria Pure Blue Bo in Rainbow Trout: Main Metabolite as an Appropriate Residue Marker. *Chemosphere*, 262, 127636. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127636>.
- Ferrero, F. (2007). Dye removal by low cost adsorbents: Hazelnut shells in comparison with wood sawdust. *Journal of Hazardous Materials*, 142 (1-1), 144-152. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.07.072>.
- Kuo, W.S., & Chen, W.Y. (2012). Solar Photocatalytic Degradation of Azo Dye in Aqueous TiO₂ Suspension Assisted by Fresnel Lens. *International Journal of Photoenergy*, 1, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2012/303586>.
- Liu, S., Xu, X., Kang, Y., Xiao, Y., & Liu, H. (2020). Degradation and Detoxification of Azo Dyes with Recombinant Ligninolytic Enzymes from Aspergillus Sp. with Secretory Overexpression in Pichia Pastoris. *Royal Society Open Science*, 7, 200688. <https://doi.org/10.1098/rsos.200688>.
- Methneni, N., Morales-González, J.A., Jaziri, A., Mansour, H.B., & Fernandez-Serrano, M. (2021). Persistent Organic and Inorganic Pollutants in the Effluents from the Textile Dyeing Industries: Ecotoxicology Appraisal Via a Battery of Biotests. *Environmental Research*, 196, 110956. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110956>.
- Mi, X., Shang, Z., Du, C., Li, G., Su, T., Chang, X., Li, R., Zheng, Z., & Tie, J. (2019). Adsorption of an Anionic Azo Dye Using Moringa Oleifera Seed Protein-Montmorillonite Composite. *Journal of Chemistry*, 1, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2019/8464815>.
- Mobarak, M.B., Pinky, N.S., Chowdhury, F., Hossain, M.S., Mahmud, M., Quddus, M.S., Jahan, S.A., & Ahmed, S. (2023). Environmental Remediation by Hydroxyapatite: Solid State Synthesis Utilizing Waste Chicken Eggshell and Adsorption Experiment with Congo Red Dye. *Journal of Saudi Chemical Society*, 27 (5), 101690. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2023.101690>.
- Pessôa, N.T., Sales, D.C.S., Nascimento, G.E.D., Santos, J.H.L., Silva, M.N.S., Napoleão, D.C., Rodríguez-Díaz, J.M., & Duarte, M.M.M.B. (2024). Effective Adsorption of Cadmium and Nickel Ions in Mono and Bicomponent Systems Using Eco-Friendly Adsorbents Prepared from Peanut Shells. *Environmental Research*, 247, 118220. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118220>.
- Rigueto, C.V.T., Piccin, J.S., Dettmer, A., Rosseto, M., Dotto, G.L., Schmitz, A.P.O., Perondi, D., Freitas, T.S.M., Loss, R., & Geraldi, C.A.Q. (2020). Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes) Roots, an Amazon Natural Waste, as an Alternative Biosorbent to Uptake a Reactive Textile Dye From Aqueous Solutions. *Ecological Engineering*, 150, 105817. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105817>.
- Thasneema, K.K., Dipin, T., Thayyil, S.M., Sahu, P.K., Messali, M., Rosalin, T., Elyas, K.K., Saharuba, P.M., Anjitha, T., & Hadda, T.B. (2021). Removal of Toxic Heavy Metals, Phenolic Compounds and Textile Dyes From Industrial Waste Water Using Phosphonium Based Ionic Liquids. *Journal of Molecular Liquids*, 323, 114645. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114645>.
- Thinakaran, N., Baskaralingam, P., Pulikesi, M., Panneerselvam, P., & Sivanesan, S. (2008). Removal of Acid Violet 17 from Aqueous Solutions by Adsorption Onto Activated Carbon Prepared from Sunflower Seed Hull. *Journal of Hazardous Materials*, 151 (2-3), 316-322. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.05.076>.
- Tolkou, A.K., Tsoutsas, E.K., Katsoyiannis, I.A., & Kyzas, G.Z. (2024). Simultaneous Removal of Anionic and Cationic Dyes on Quaternary Mixtures by Adsorption Onto Banana, Orange and Pomegranate Peels. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 685, 133176. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.133176>.
- Tzvetkov, G., Kaneva, N., & Spassov, T. (2017). Room-temperature Fabrication of Core-Shell Nano-Zn/Pollen Grain Biocomposite for Adsorptive Removal of Organic Dye from Water. *Applied Surface Science*, 400, 481-491. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.12.225>.
- Yıldız, H. (2024). Tarım Atıklarından Aktif Karbon Üretimi ve Atıksudan Boya Giderimi: Karakterizasyon, Kinetik ve Denge Çalışmaları. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi* 27 (6), 1269-1281. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.a.vi.1477888>.
- Zhao, Y., He, X., Qi, K., Zada, A., & Pan, J. (2023). Study on the Adsorption of Phosphate Over Biochar-Based Adsorbents from Peanut Shell and Orange Peel in Water. *Desalination and Water Treatment*, 308, 102-109. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29810>.