

Araştırma Makalesi / Research Article

Sulu Çözeltilerden Alizarin Sarısı GG Gideriminde *Gypsophila arrostii var nebulosa*'dan Elde Edilen Biyökömürün KullanılmasıOkan BAYRAM^{1*}, Emel MORAL², Fethiye GÖDE³¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Isparta.² Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Isparta.³ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Isparta.

Sorumlu yazar e-posta*: okan.bayram.32@gmail.com.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1748-9354>

e-posta: emel32moral@gmail.com.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8158-5797>

e-posta: okan.bayram.32@gmail.com.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3008-1353>

Geliş Tarihi: 30.04.2022

Kabul Tarihi: 13.06.2023

Öz**Anahtar kelimeler**Gypsophila a.v.n;
Adsorpsiyon;
Alizarin Sarısı GG;
Langmuir;
Freundlich.

Endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılan boyar maddeler su kirliliğine sebep olmaktadır. Kirliliğin giderilmesi çevre ve canlılar için önem kazanmıştır. Bu çalışmada, anyonik bir boyar madde olan ve zararlı etkileri bulunan alizarin sarısı GG (AS) giderimi için adsorpsiyon yöntemi ile *Gypsophila arrostii var nebulosa* (GAVN) bitkisinin köklerinden elde edilen biyökömür kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda adsorpsiyon işleminin 60 dakikada doygunluğa ulaştığı bulunmuştur. Adsorban miktarı, pH, sıcaklık, zaman ve AS konsantrasyon değişiminin adsorpsiyon üzerine etkileri incelenmiştir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi 4.097 mg/g bulunmuştur. Adsorpsiyon prosesinin Langmuir adsorpsiyon izotermine ($R^2=0.995$) uygun olduğu, yalancı ikinci dereceden gerçekleştiği ($R^2=0.981$) ve negatif ΔG° değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda biyökömür haline getirilen GAVN'ın AS giderimi için kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Using Biochar from *Gypsophila arrostii var nebulosa* for Alizarin Yellow GG Removal from Aqueous Solutions**Abstract****Keywords**Gypsophila a.v.n;
Adsorption;
Alizarin yellow GG;
Langmuir;
Freundlich.

Dyes, which are widely used in the industrial field, cause water pollution. Removal of pollution has gained importance for the environment and living things. In this study, biochar obtained from the roots of *Gypsophila arrostii var nebulosa* (GAVN) plant by adsorption method was used for the removal of alizarin yellow GG (AS), which is an anionic dye and has harmful effects. In the obtained results, it was found that the adsorption process reached saturation in 60 minutes. The effects of adsorbent amount, pH, temperature, time and AS concentration changes on adsorption were investigated. The maximum adsorption capacity was found to be 4.097 mg/g. It was found that the adsorption process was suitable for the Langmuir adsorption isotherm ($R^2=0.995$), took place in the pseudo-second order ($R^2=0.981$) and had negative ΔG° values. In line with the results obtained, it was concluded that GAVN, which was turned into biochar, could be used for AS removal.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Latince adı *Gypsophila* olan çöven bitkisi, çok yıllık, kazık köklü bir bitkidir. *Gypsophila* jipsli toprakları seven, jipsli topraklarda yetişen anlamına

gelmektedir. Bu cins ilk defa Linne tarafından 1751 yılında tanımlanmıştır (Koyuncu vd. 2006). Bu bitki, *Caryophyllaceae* familyasındadır. *Gypsophila*'nın ülkemizde 59 taksonu mevcuttur. Saponin bakımından zengin ve ekonomik önemi olan

taksonları halk arasında 'Çöven' ve 'Çövenotu' olarak bilinmektedir (Özçelik ve Yıldırım, 2011).

Bu bitkinin bir türü olan *Gypsophila arrostii* var *nebulosa* (GAVN) bitkisi çok yıllık, kökleri kalın; gövdesi genellikle 30-60 cm aralığında yayvan dallanmış bir bitkidir. Çiçek açma zamanı genellikle haziran ve temmuz ayları olup taşlık ve rakımı yüksek yerlerde yetişmektedir. Bitkinin yayılışı genellikle Beyşehir, Afyon, Ankara, Burdur ve Isparta çevreleridir. GAVN bitkisinin bileşimindeki ham saponozit oranı %19.000 ve %22.000 aralığında olup kaliteli bir çövendir (Koyuncu vd., 2006).

Hızla artan sanayileşme nedeniyle boyar maddeler, tekstil başta olmak üzere birçok endüstri alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Boyar maddelerin, plastik, tekstil, kâğıt, kauçuk, kozmetik endüstrilerinde yaygın olarak kullanımı çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Boyar madde içeren atık sular, insanlara, suda yaşayan canlılara ve çevreye zararlıdır. Solunum yollarında tahriş, ciltte kaşıntı, yara, gözlerde alerjik reaksiyon gibi ciddi etkilere sebep olabilirler (Srivatsav *et al.* 2020). Birçoğu toksik olan bu boyalar, çok düşük konsantrasyonlarda bile suyu kirletmektedirler. Karmaşık kimyasal yapıları nedeniyle boya bileşiklerinin biyolojik olarak parçalanması çok zordur. Bu nedenle, endüstriyel atık sular çevreye boşaltılmadan önce uygun şekilde arıtılmalıdır. Kullanılan birçok yöntem olmasına rağmen, boyaları atık sulardan ayırmak için sıklıkla tercih edilen yöntemlerden biri adsorpsiyon yöntemidir. Adsorpsiyon, boyar maddelerin atık sulardan uzaklaştırılması için ekonomik ve yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir (Al Rubaye *et al.* 2016). Adsorpsiyon yönteminde son zamanlarda düşük maliyetli biyosorbentler yaygın olarak kullanılmaktadır. Organik maddelerin az oksijen varlığında piroliziyle elde edilen biyokömürler bunlardan birisidir (Kaya ve Uzun, 2020). Biyokömürler, yüksek karbon içeriği, geniş yüzey alanı ve farklı fonksiyonel gruplar içermesi ve ekonomik olmaları sebebiyle adsorpsiyon için tercih edilmektedir (Wu *et al.* 2020).

Alizarin sarısı GG (AS), anyonik bir boyar maddedir. Kompleks aromatik yapısı nedeniyle kanserojen bir etkiye sahiptir. Biyolojik olarak parçalanmaya dirençli bu boyar maddeler çevre için ciddi sorunlar oluşturabilmektedir. (Al-Salihi *et al.* 2021).

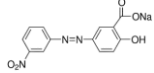
Bu çalışmada doğal bir madde olan GAVN bitkisinin kökleri 450 °C ve az oksijen varlığında piroliz edilmiş ve düşük maliyetli biyokömür elde edilmiştir. Elde edilen biyokömür halindeki GAVN, AS boyar maddesini sulu çözeltilerden uzaklaştırmak için kullanılmıştır. Hazırlanan biyokömürler AS ile temas etmeden önce ve temas ettikten sonra Fourier Transform Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) kullanılarak karakterize edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Kullanılan Boyanın Özellikleri

Deneyleerde kullanılan AS, Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiş ve deneyleerde kullanılmıştır. Boyar maddenin özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. AS boyar maddesinin özellikleri

AS Özellikleri	
Adı	Alizarin sarısı GG
Molekül Formülü	C ₁₃ H ₈ N ₃ NaO ₅
Molekül Ağırlığı	309.210 g/mol
λ _{max}	355 nm
Yapısı	

2.2 Deneyleerin Yapılışı

GAVN kökleri Isparta bölgesinde yerel bir satıcıdan temin edilmiştir. Kökler musluk suyuyla birkaç kez yıkanarak topraktan arındırılmış daha saf su ile de yıkanıp Nüve FN500 marka etüvde 60 °C sıcaklıkta 24 saat kurutulmuştur. Kurutulan GAVN kökleri Carbolite ELF 11/6B marka kül fırında 450°C sıcaklıkta 4 saat boyunca karbonize edilerek biyokömür elde edilmiştir. Oda sıcaklığına getirilen biyokömür porselen havanda dövülerek toz haline getirilmiş, kesikli sorpsiyon deneyleerinde kullanılmak üzere kapalı ortamda saklanmıştır. Deneyleerde kullanılan tüm çözeltiler ultra saf su ile hazırlanmıştır. pH deneyleerinde gerekli olan ayarlamalar 0.100 M HCl ve 0.100 M NaOH

çözeltileri kullanılarak yapılmıştır ve Hanna HI2020-02 edge® marka pH metre ile ölçülmüştür.

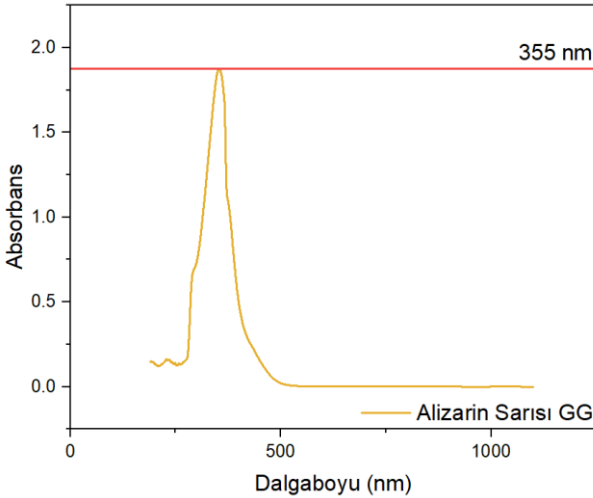
Adsorpsiyon deneyleri zaman, sıcaklık, adsorban madde miktarı, pH, konsantrasyon parametreleri, literatürdeki benzer çalışmalar yardımıyla yapılmıştır (Parlayıcı and Pehlivan 2019, Bayram *et al.* 2022). GAVN-AS adsorpsiyon kapasitesi (q_e) denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{w} \quad (1)$$

Denklemdaki C_0 (mg/L) başlangıç boya konsantrasyonu, C_e (mg/L) dengedeki boya konsantrasyonunu göstermektedir. V (L) boya çözeltisinin hacmini ve w (g) adsorban miktarını belirtmektedir.

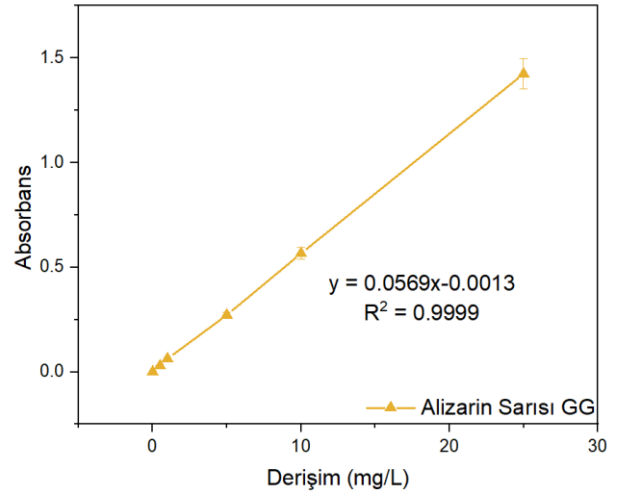
2.3 Kalibrasyon Setinin Hazırlanması

AS için dalga boyu taraması grafiği Şekil 1'de gösterilmiştir. 10.000 mg/L'de yapılan taramada en yüksek absorbans değeri 355 nm'de bulunmuştur. Tüm deneylerin sonucunda elde edilen çözeltiler UV/VIS cihazında 355 nm'de okunarak elde edilen absorbans değerleri yardımıyla tüm hesaplamalar yapılmıştır. Deneylerde Peak Instruments C-7100 UV/VIS marka cihaz kullanılmıştır.



Şekil 1. AS için dalga boyu taraması

Deneylerde kullanılan AS için 0.500 mg/L, 1.000 mg/L, 5.000 mg/L, 10.000 mg/L ve 25.000 mg/L derişimlerinde hazırlanan boya çözeltileri yardımıyla kalibrasyon grafiği çizilmiştir. Elde edilen kalibrasyon grafiği Şekil 2'de gösterilmiştir. Elde edilen grafikte $R^2=0.999$ bulunmuştur.



Şekil 2. AS için hazırlanan kalibrasyon grafiği

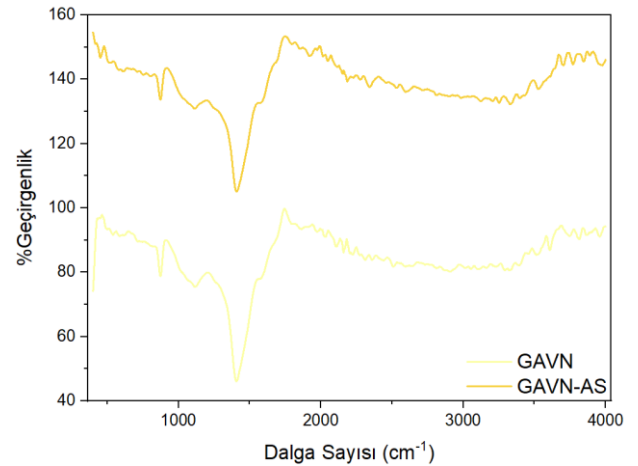
2.4 FT-IR Taraması

Ham haldeki GAVN ve AS ile temas etmiş GAVN-AS için FT-IR taramaları JASCO FT/IR-4700typeA model cihaz ve ATR PRO ONE aksesuarı ile yapılmıştır. Cihazın dedektörü; TGS, birikimi; 32, çözünürlüğü 4 cm^{-1} 'dir.

3. Bulgular

3.1. FT-IR Sonuçları

GAVN ve GAVN-AS için FT-IR sonuçları Şekil 3'te gösterilmiştir.



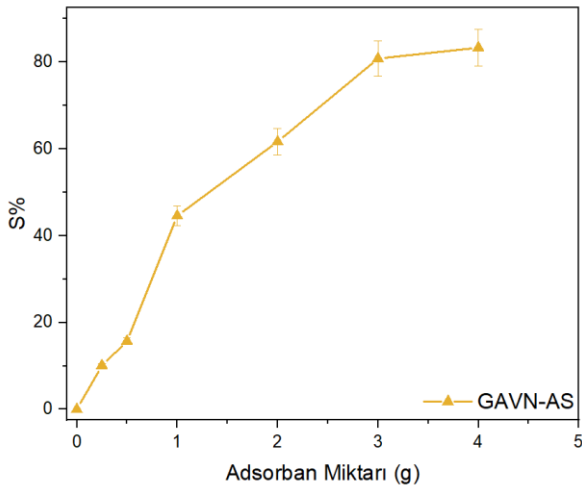
Şekil 3. GAVN ve GAVN-AS için FT-IR grafiği

FT-IR spektrumları ile adsorban yüzeyinde bulunan fonksiyonel gruplar belirlenmiştir. Analizler 4000-400 cm^{-1} aralığında yapılmıştır. GAVN adsorbanının ısı parçalanması sonucu yüzeyinde karboksil, hidroksil, karbonil gibi fonksiyonel grupların ve aromatik yapıların olduğu düşünülmektedir (Weber and Quicker, 2018). Elde edilen

biyokömürde (GAVN) 2911 cm^{-1} civarında alifatik C-H gerilme titreşimi görülmektedir. Ayrıca 1400 cm^{-1} civarında C-H eğilme titreşim bandı gözlenmektedir. 1650 civarında görülen bantlar alkenlerde C=C gerilme titreşimini göstermektedir. 1116 cm^{-1} civarında görülen C-O gerilme titreşimi bandı karboksilli asitin varlığına işaret etmektedir (Fatombi *et al.* 2019). 1700 cm^{-1} 'de gözlenen bant karboksilik asitlerin C=O (karbonil) varlığına işaret etmektedir. 3300 cm^{-1} civarında gözlenen bant hidrojen bağına ait O-H gerilmesini gösterirken, 3609 cm^{-1} civarında gözlenen keskin bir bant alkol ve fenollerdeki serbest O-H gerilmesini işaret etmektedir. GAVN-AS FT-IR spektrumunda 3527 cm^{-1} civarında görülen bant adsorbe edilen suyun O-H gerilme titreşimine karşılık geldiği düşünülmektedir. 1113 cm^{-1} civarında görülen bant C-O gerilme titreşimine ait olduğu düşünülmektedir (Abd-Elhamid *et al.* 2020). GAVN'a ait spektrumda 1116 cm^{-1} 'de gözlenen bandın GAVN-AS de bir miktar kayması, 1921 cm^{-1} 'de belirgin bir bant oluşması, 1700 cm^{-1} 'de gözlenen bandın şiddetini kaybetmesi boyanın biyokömür üzerinde adsorbe olduğu ihtimalini kuvvetlendirmektedir.

3.2. Adsorban miktarının etkisi

GAVN ile AS gideriminde GAVN miktarının etkisini belirleyebilmek için adsorban miktarı (g) ve %S (%Sorption) grafiği Şekil 4'te verilmiştir.



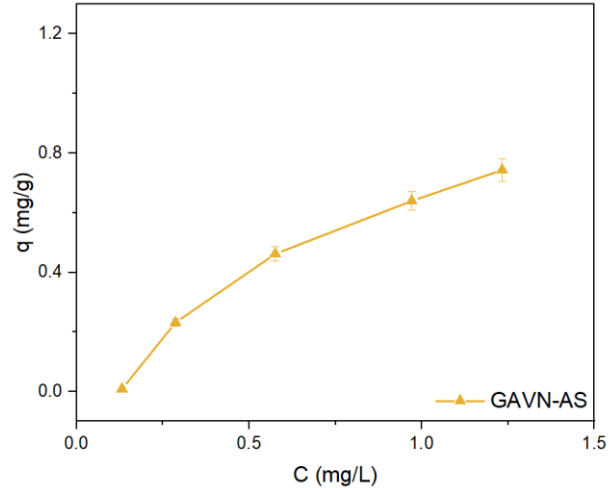
Şekil 4. Adsorban madde miktarı değişiminin GAVN-AS adsorpsiyonu üzerine etkisi (Deney koşulları: adsorban miktarı: 0.250 g, 0.500 g, 1.000 g, 2.000 g, 3.000 g, 4.000g; boya konsantrasyonu: 50.000 mg/L; etkileşim zamanı: 60.000 dk.;

sıcaklık: 25.000±1.000 °C; pH: AS çözeltisi için pH 6.600–6.800)

Adsorpsiyon prosesi üzerine adsorban madde miktarı etkisini incelemek için her bir reaksiyon kabına 0.250 g, 0.500 g, 1.000 g, 2.000 g, 3.000 g, 4.000 g GAVN sırasıyla tartılmış, 50.000 mg/L AS çözeltisinden her bir reaksiyon kabına 30 mL eklenmiştir. 25.000 °C de 250.000 rpm hızla 1.000 saat süreyle çalkalanmıştır. Daha sonra çözeltiler mavi bant süzgeç kâğıdı ile süzülüş, kalan çözelti ultra saf su ile 50.000 mL hacme tamamlanmıştır. Çözeltide GAVN tarafından adsorplanmayan boya miktarını hesaplamak için UV/VIS cihazında absorbans değerleri ölçümü yapılmıştır.

3.3. Konsantrasyon değişiminin etkisi

2.000 g GAVN ile farklı derişimlerde kullanılan AS boyasının adsorpsiyonu sonucu elde edilen C (mg/L) ve q (mg/g) grafiği Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Konsantrasyon değişiminin GAVN-AS adsorpsiyonu üzerine etkisi (Deney koşulları: adsorban miktarı: 2.000 g; boya konsantrasyonu: 5.000 mg/L, 25.000 mg/L, 50.000 mg/L, 75.000 mg/L, 100.000 mg/L; etkileşim zamanı: 60.000 dk.; sıcaklık: 25.000±1.000 °C; pH: AS çözeltisi için pH 6.600–6.800)

Öncelikle her derişim için ayrı ayrı GAVN tartılmış ve üzerine 5.000 mg/L, 25.000 mg/L, 50.000 mg/L, 75.000 mg/L, 100.000 mg/L boya çözeltisinden her bir reaksiyon kabına 30.000 mL eklenmiştir. 25 °C'de 250.000 rpm hızla 1.000 saat süreyle çalkalanmıştır. Daha sonra çözeltiler mavi bant süzgeç kâğıdı ile süzülüş, kalan çözelti 50.000 mL hacme tamamlanmıştır. Elde edilen sonuçlarda boya

konsantrasyonu arttıkça q değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

Şekil 5 yardımıyla elde edilen değerlerden hesaplanan Langmuir (1916), Freundlich (1907), Dubinin ve Raduskevich (1947), Scatchard (1949), Temkin (1940) izotermelerinin sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

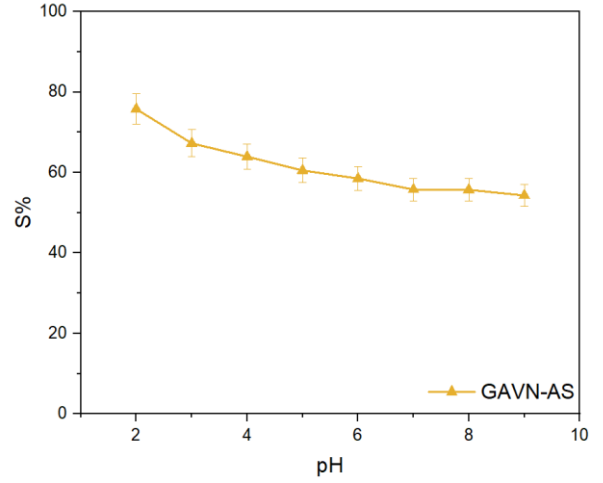
Çizelge 2. İzoterm sonuçları

İzotermeler				
Langmuir	q_{maks}	K_L	R^2	R_L
	4.097	0.211	0.995	0.087
Freundlich	K_f	n	R^2	
	0.709	1.137	0.989	
DR	q_m	β	R^2	
	0.577	3E-08	0.966	
Scatchard	Q_s	K_s	R^2	
	2.998	0.298	0.817	
Temkin	BT	K_t	R^2	
	0.415	5.706	0.946	

Adsorpsiyon sürecinde elde edilen denge verileri kullanılarak adsorpsiyon izotermeleri incelenmiştir. R^2 değerleri kıyaslandığında sürecin Langmuir adsorpsiyon izotermine ($R^2=0.995$) uygunluk gösterdiği görülmektedir. Langmuir izotermine adsorpsiyon tek katmanlı ve homojen bir yüzeyde gerçekleşmektedir (Praveen *et al.* 2022). Adsorpsiyon işleminin uygulanabilirliğini doğrulamak için R_L değeri hesaplanmıştır. R_L değerinin (0.087) 0 ve 1 arasında olması adsorpsiyonun boyar madde sorpsiyonu için uyumlu olduğunu göstermektedir (Demissie *et al.* 2021). Langmuir modeli tarafından hesaplanan maksimum adsorpsiyon kapasitesi $q_{maks}=4.097$ mg/g bulunmuştur.

3.4. pH Değişiminin Etkisi

GAVN yardımıyla sulu çözeltilerden AS gideriminde ortamın pH değerinin etkisini belirlemek için yapılan deneylerin sonucu Şekil 6'da pH ve %S grafiği ile verilmiştir.

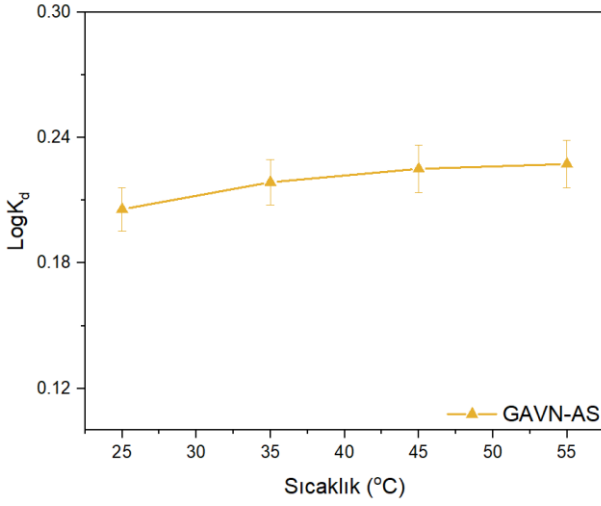


Şekil 6. pH değişiminin GAVN-AS adsorpsiyonu üzerine etkisi (Deney koşulları: adsorban miktarı: 2.000 g; boya konsantrasyonu: 50.000 mg/L; etkileşim zamanı: 60.000 dk.; sıcaklık: 25.000±1.000 °C, pH: AS çözeltisi için pH: 2.000–9.000)

Adsorpsiyon süreci üzerine pH değişiminin etkisini incelemek için her bir reaksiyon kabına 2.000 g GAVN sırasıyla tartılmış ve üzerine 50.000 mg/L boya çözeltisinden her bir reaksiyon kabına 30.000 mL AS eklenmiştir. AS'nin pH değerleri 0.100 M HCl ve 0.100 M NaOH çözeltileri yardımıyla ayarlanmıştır. 25.000 °C'de 250.000 rpm hızla 1.000 saat süreyle çalkalanmıştır. Daha sonra çözeltiler süzülüş, kalan çözelti 50.000 mL hacme tamamlanmıştır. Çözeltilerden elde edilen absorbans değerleri yardımıyla pH ve %S grafiği çizilmiştir. Elde edilen sonuçlar yorumlandığında anyonik bir boya olan alizarin sarısı GG'nin asidik bölgede daha iyi bir tutulum gösterdiği ve bazik bölgeye doğru azaldığı gözlenmiştir.

3.5. Sıcaklık Değişiminin Etkisi

GAVN adsorban maddesinin AS gideriminde kullanılması için sıcaklığa bağlı olarak $\text{Log}K_d$ değerlerinin değişimi Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Sıcaklık değişiminin GAVN-AS adsorpsiyonu üzerine etkisi (Deney koşulları: adsorban miktarı: 2.000 g; boya konsantrasyonu: 50.000 mg/L; etkileşim zamanı: 60.000 dk.; sıcaklık: 25.000±1.000 °C, 35.000±1.000 °C, 45.000±1.000 °C, 55.000±1.000 °C; pH: AS çözeltisi için pH 6.600–6.800)

25.000 °C ve 55.000 °C aralığında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarda sıcaklık arttıkça LogK_d değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Tepkimenin endotermik olduğu sonucuna varılmıştır (Bayram *et al.* 2022). Şekil 7'de gösterilen sıcaklık değişimi yardımıyla GAVN adsorbanı ile AS boyar maddesinin gideriminde ΔS° , ΔH° ve ΔG° değerleri hesaplanarak Çizelge 3'te verilmiştir.

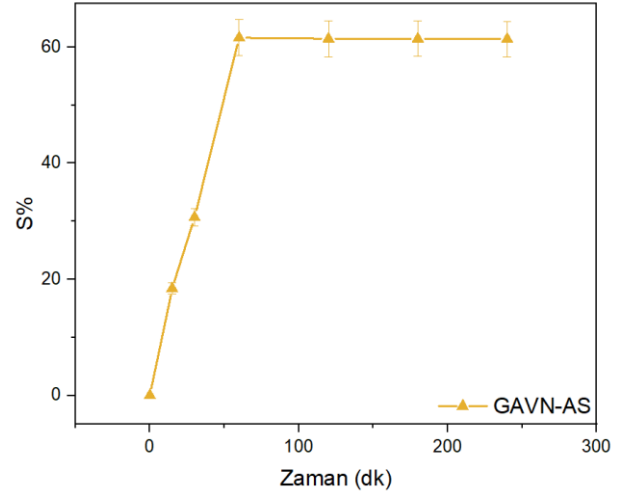
Çizelge 3. GAVN ile AS giderimi için termodinamik parametreler

T (K)	ΔG° (kJmol ⁻¹)	ΔS° (kJmol ⁻¹)	ΔH° (kJmol ⁻¹)
298.150	-1.174	8.509	1.348
308.150	-1.290		
318.150	-1.371		
328.150	-1.429		

Çizelge 3 incelendiğinde negatif ΔG° değerleri, adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini göstermektedir. Pozitif ΔH° değerleri, AS boyar maddesinin GAVN adsorbanı üzerine adsorpsiyonunun endotermik bir süreç olduğunu göstermektedir. Pozitif ΔS° değerleri, adsorpsiyon işlemi sırasında düzensizliğin arttığını ifade etmektedir (Kaya ve Uzun 2020).

3.6. Etkileşim zamanı değişiminin etkisi

GAVN adsorban maddesinin AS gideriminde kullanılması için zamana bağlı olarak değişimi Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Zaman değişiminin GAVN-AS adsorpsiyonu üzerine etkisi (Deney koşulları: adsorban miktarı: 2.000 g; boya konsantrasyonu: 50.000 mg/L; etkileşim zamanı: 15.000 dk., 30.000 dk., 60.000 dk., 120.000 dk., 180.000 dk., 240.000 dk.; sıcaklık: 25.000±1.000 °C, pH: AS çözeltisi için pH 6.600–6.800)

Deneyler 15.000 dk., 30.000 dk., 60.000 dk., 120.000 dk., 180.000 dk. ve 240.000 dk. etkileşim zamanlarında yapılmıştır. İlk 60.000 dakikada maksimum tutunma gerçekleşmiş, 60.000 dakikadan sonra adsorban yüzeyinin doygunluğa ulaştığı gözlenmiştir.

Adsorpsiyon kinetiği yalancı birinci derece kinetik model ve yalancı ikinci derece kinetik model (Çizelge 4) uygulanarak araştırılmıştır. R² değerleri kıyaslandığında adsorpsiyon kinetiğinin yalancı ikinci derece modele (R²=0.981) daha uygun olduğu bulunmuştur. Çizelge 4'te q_{e-hes.}=hesaplanan (mg/g), q_{e-den.}=deneysel olarak bulunan q_e (mg/g), k₁ (1/dk.), k₂ (g/mg.dk.) değerleridir.

Çizelge 4. GAVN-AS için yalancı birinci ve ikinci derece hız sabitleri

Derece	q _{e-hes.}	k ₁ (k ₂	q _{e-den.}	R ²
Birinci	0.184	7.38x10 ⁻⁵	-	0.462	0.765
İkinci	0.512	-	8.18x10 ⁻²	0.460	0.981

3.7. Sulu çözeltilerden AS giderimi ile benzer çalışmalar

Literatürdeki AS giderimi çalışılan bazı çalışmaların maksimum adsorpsiyon kapasite değerleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. AS giderimi yapılan benzer çalışmalar

Adsorban Adı	Adsorpsiyon Kapasitesi (mg/g)	Referans
Polypyrrole-Fe ₃ O ₄	113.600	Gholivand <i>et al.</i> 2015
Çam kozalağı kömürü	3.450	Kaya ve Yıldız 2020
Aktif karbon	12.730	Kaya ve Yıldız 2020
Ceviz kabuğu	4.920	Albatrni <i>et al.</i> 2022
GAVN	4.097	Şimdiki çalışma

4. Tartışma ve Sonuç

Atık sulardaki boyar madde kirliliğinin giderilmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan adsorpsiyon ucuz ve etkili bir yöntem olmasıyla öne çıkmaktadır. Çalışmalarımız için seçilen GAVN, AS ile 50.000 mg/L derişimde etkileştirilerek elde edilen sonuçlar çalışmamızda paylaşılmıştır. Elde edilen sonuçlarda GAVN ve AS 60.000 dakika sonunda maksimum yüzde sorpsiyon (%S) değerine ulaşmıştır. Sıcaklık değişimine göre tepkime endotermik olup, negatif ΔG° değerleri elde edilmiştir. Bu değerler GAVN maddesinin adsorpsiyon işleminin kendi kendine gerçekleştiğini ve adsorpsiyon için uygun olduğunu göstermektedir (Bayram *et al.* 2022). Hesaplanan izoterm modelleri arasında en yüksek R² değeri Langmuir izoterminde bulunmuştur. Buradan hesaplanan GAVN-AS için maksimum adsorpsiyon kapasitesi $q_{maks}=4.097$ mg/g bulunmuştur. Bulunan adsorpsiyon kapasitesi değeri Çizelge 5 yardımıyla literatürdeki bazı benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. GAVN ile AS giderimi için bulunan maksimum adsorpsiyon kapasitesi çalışmaların bir kısmından yüksek bir kısmından ise düşük değerde olduğu tespit edilmiştir. Gholivand *et al.* (2015) yaptıkları çalışmada bu değeri 113.600 mg/g, Kaya ve Yıldız (2020) yaptıkları çalışmada çam kozalağı için 3.450 mg/g ve aktif karbon için 12.730 mg/g, Albatrni *et al.* (2022) yaptıkları çalışmada bu değeri 4.920 mg/g olarak bulmuşlardır. Bu değer yüksek olması iyi olmakla birlikte elde edilen adsorban maddenin maliyeti, kolay temin

edilebilmesi de büyük bir etkindir. Bu çalışmada kullanılan GAVN'ın maliyeti oldukça düşüktür ve bu açıdan kullanılabilirliği yüksektir. Çalışma sonucunda biyökömür haline getirilen GAVN köklerinin AS gideriminde kullanılması ekonomik ve kolay erişebilir olmasından dolayı önerilmektedir.

5. Kaynaklar

- Abd-Elhamid, A.I., Emran, M., El-Sadek, M.H., El-Shanshory, A.A., Soliman, H., Akl, M.A. and Rashad, M., 2020. Enhanced removal of cationic dye by eco-friendly activated biochar derived from rice straw. *Applied Water Science*, **10**, 1-11.
- Albatrni, H., Qiblawey, H. and Al-Marri, M.J., 2022. Walnut shell based adsorbents: A review study on preparation, mechanism, and application. *Journal of Water Process Engineering*, **45**, 102527.
- Al-Rubayee, W.T., Abdul-Rasheed, O.F. and Ali, N.M., 2016. Preparation of a modified nanoalumina sorbent for the removal of alizarin yellow R and methylene blue dyes from aqueous solutions. *Journal of Chemistry*, **2016**.
- Al-Salihi, K.J. and Alfatlawi, W.R., 2021. Synthesis and characterization of low-cost adsorbent and used for Alizarin yellow GG and alizarin Red S dyes removal from aqueous solutions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **1094**, 012175.
- Bayram, O., Köksal, E., Göde, F. and Pehlivan, E., 2022. Decolorization of water through removal of methylene blue and malachite green on biodegradable magnetic Bauhinia variagata fruits. *International Journal of Phytoremediation*, **24(3)**, 311-323.
- Demissie, H., An, G., Jiao, R., Ritigala, T., Lu, S. and Wang, D., 2021. Modification of high content nanocluster-based coagulation for rapid removal of dye from water and the mechanism. *Separation and Purification Technology*, **259**, 117845.
- Dubin, M.M., 1947. The equation of the characteristic curve of activated charcoal. *Dokl. Akad. Nauk. SSSR.*, **55**, 327-329.
- Fatombi, J.K., Idohou, E.A., Ossen, S.A., Agani, I., Neumeyer, D., Verelst, M., Mauricot, R. and Aminou, T., 2019. Adsorption of indigo carmine from aqueous

- solution by chitosan and chitosan/activated carbon composite: Kinetics, isotherms and thermodynamics studies. *Fibers and Polymers*, **20(9)**, 1820-1832.
- Freundlich, H., 1907. Über die adsorption in lösungen. *Zeitschrift für physikalische Chemie*, **57(1)**, 385-470.
- Gholivand, M.B., Yamini, Y., Dayeni, M., Seidi, S. and Tahmasebi, E., 2015. Adsorptive removal of alizarin red-S and alizarin yellow GG from aqueous solutions using polypyrrole-coated magnetic nanoparticles. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **3(1)**, 529-540.
- Kaya, N. and Yıldız Uzun, Z., 2020. Investigation of effectiveness of pyrolysis products on removal of alizarin yellow GG from aqueous solution: a comparative study with commercial activated carbon. *Water Science and Technology*, **81(6)**, 1191-1208.
- Koyuncu, M., Kılıç, C.S. ve Güvenç, A., 2008. Doğu Anadolu'da Çöven Elde Edilen Bitkiler ve Bunların Doğadaki Potansiyeli. *Turkish Journal of Botany*, **32(6)**.
- Langmuir, I., 1916. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I. Solids. *Journal of the American Chemical Society*, **38(11)**, 2221-2295.
- Özçelik, H. ve Yıldırım, B., 2011. Türkiye çövenlerinin (*Gypsophila* L. ve *Ankyropetalum* Fenzl spp.) ekonomik önemi, kullanım olanakları ve korunması üzerine düşünceler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A*, **12(1)**, 57-61.
- Parlayıcı, Ş. and Pehlivan, E., 2019. Comparative study of Cr (VI) removal by bio-waste adsorbents: equilibrium, kinetics, and thermodynamic. *Journal of Analytical Science and Technology*, **10(1)**, 1-8.
- Praveen, S., Jegan, J., Bhagavathi Pushpa,T., Gokulan, R. and Bulgariu, L., 2022. Biochar for removal of dyes in contaminated water: an overview. *Biochar*, **4(1)**, 1-16.
- Scatchard, G. D., 1949. The attractions of proteins for small molecules and ions. *Ann. NY Acad. Sci.*, **51**, 660-672.
- Srivatsav, P., Bhargav, B.S., Shanmugasundaram, V., Arun, J., Gopinath, K.P. and Bhatnagar, A., 2020. Biochar as an eco-friendly and economical adsorbent for the removal of colorants (dyes) from aqueous environment: A review. *Water*, **12(12)**, 3561.
- Temkin, M.J. and Pyzhev, V., 1940. Recent modifications to Langmuir isotherms.
- Weber, K. and Quicker, P., 2018. Properties of biochar. *Fuel*, **217**, 240-261.
- Wu, J., Yang, J., Feng, P., Huang, G., Xu, C. and Lin, B., 2020. High-efficiency removal of dyes from wastewater by fully recycling litchi peel biochar. *Chemosphere*, **246**, 125734.