

**Atf İçin:** Bayram, O., Moral, E. ve Göde, F. (2023). İğde Çekirdeklerinden Elde Edilen Biyokömür Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Kristal Viyole Boyarmaddesinin Uzaklaştırılması. *İğdir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 448-457.

**To Cite:** Bayram, O., Moral, E., & Göde, F. (2023). Removal of Crystal Violet Dye from Aqueous Solution Using Biochar Obtained from Oleaster Seeds. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(1), 448-457.

## İğde Çekirdeklerinden Elde Edilen Biyokömür Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Kristal Viyole Boyarmaddesinin Uzaklaştırılması

Okan BAYRAM<sup>1\*</sup>, Emel MORAL<sup>2</sup>, Fethiye GÖDE<sup>3</sup>

### Öne Çıkanlar:

- İğde çekirdeklerinden biyokömür elde edildi.
- Biyokömür ile kristal viyole boyarmaddesi uzaklaştırıldı.
- Elde edilen sonuçlar sürecin Langmuir izotermine uyduğunu gösterdi.

### Anahtar Kelimeler:

- Adsorpsiyon
- *Elaeagnus angustifolia* L.
- Kristal viyole
- Langmuir
- İzotermiler

### ÖZET:

Bu çalışmada iğde çekirdeklerinden (*elaegnus angustifolia* L.) elde edilen biyokömür (EAL) ile katyonik bir boya olan ve endüstride yaygın olarak kullanılan kristal viyole (KRV) boyarmaddesinin sulu çözeltiden giderimi farklı parametreler ile yapılmıştır. Sıcaklık, konsantrasyon, adsorban miktarı, pH ve zaman değişimleri sonucu elde edilen adsorpsiyon değerleri, denge izotermi, termodinamik ve kinetik açıdan değerlendirilmiştir. Çalkalamalı/kesikli adsorpsiyon metoduna göre sıcaklık, pH, zaman, adsorban miktarı ve konsantrasyon parametrelerinin EAL-KRV adsorpsiyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan EAL-KRV için maksimum adsorpsiyon kapasitesi  $q_{maks}=10.537$  mg/g bulunmuştur. Prosesin yalancı-ikinci-derece üzerinden ilerlediği, endotermik olduğu ve prosesin Langmuir adsorpsiyon izotermine uyduğunu bulunmuştur. Elde edilen negatif  $\Delta G^\circ$  değerleri, prosesin kendiliğinden, istemli olarak gerçekleştiğini göstermiştir. EAL, literatürde KRV giderimi için kullanılan benzer adsorbanlarla birlikte değerlendirildiğinde EAL'nin maksimum adsorpsiyon kapasitesi değeri bazı çalışmalara yakın bulunmuştur. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde EAL'nin sulu çözeltilerden KRV boyarmaddesinin gideriminde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

## Removal of Crystal Violet Dye from Aqueous Solution Using Biochar Obtained from Oleaster Seeds

### Highlights:

- Biochar was obtained from oleaster seeds.
- Crystal violet dye was removed with biochar.
- Obtained results showed that the process conforms to the Langmuir isotherm

### Keywords:

- Adsorption
- *Elaeagnus angustifolia* L.
- Crystal violet
- Langmuir
- Isotherms

### ABSTRACT:

In this study, the removal of biochar (EAL) obtained from oleaster seeds (*elaegnus angustifolia* L.) and crystal violet (CRV) dye, which is a cationic dye, widely used in the industry, was carried out with different parameters. Adsorption values and thermodynamic parameters accordance with the isotherms and kinetics were evaluated with the help of temperature, concentration change, amount of adsorbent, pH and time changes. Temperature, pH, time, amount of adsorbent and concentration parameters on EAL-KRV adsorption were investigated according to the shake/batch adsorption method. Obtained results indicated that the maximum adsorption capacity  $q_{max}$  of EAL-CRV was 10.537 mg/g. It was found that the process proceeds over the pseudo-second order, is endothermic, and conforms to the Langmuir adsorption isotherm. Obtained negative  $\Delta G^\circ$  values led to the conclusion that EAL is suitable for CRV removal. When EAL was evaluated together with similar adsorbents used for CRV removal in the literature, the maximum adsorption capacity value of EAL was found close to some studies. When all the results were evaluated, it was concluded that EAL can be used in the removal of CRV dye from aqueous solutions.

<sup>1\*</sup> Okan BAYRAM (Orcid ID: 0000-0002-1748-9354), Emel MORAL (Orcid ID: 0000-0002-8158-5797), Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup> Fethiye GÖDE (Orcid ID: 0000-0002-3008-1353), Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Isparta, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Okan BAYRAM, e-mail: okan.bayram.32@gmail.com

## GİRİŞ

Dünya nüfusuyla birlikte artan ihtiyaçlar, endüstriyel gelişmeleri de beraberinde getirmiştir. Yapılan endüstriyel faaliyetler, çevre sağlığına zarar veren kirliliklerin oluşmasına sebep olabilmektedirler. Kâğıt, kozmetik, deri, tekstil vb. gibi endüstrilerde yaygın olarak kullanılan organik boyalar su kaynaklarının en önemli kirleticilerindendir. Boyalar ışığın sudan içeri girmesini engellemekte, fotosentezin azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca boyalar toksik yapıya sahip, suda çok az bozunabilen, çok düşük konsantrasyonlarda bile suyun rengini değiştirebilen kirleticilerdir (Gholivand ve ark., 2015). Çevre ve canlı yaşamını koruyabilmek için bu boyaların sudan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu boyarmaddelerden biri de genellikle sodyum tuzu halinde bulunan kristal viyole'dür. Genel formülü  $C_{25}H_{30}N_3Cl$ 'dir. Özellikle tekstil endüstrisinde naylon ve yün boyamak için kullanılmaktadır (Kaya ve Uzun, 2020). Suda iyi çözünen bu boya, gözleri, cildi ve solunum yollarını tahriş eder (Kamal ve ark., 2018). Organik boyaları sudan uzaklaştırabilmek için adsorpsiyon yöntemi etkin bir yöntemdir. Kolay uygulanabilir olması, endüstriyel ve tarımsal atıkların adsorban olarak kullanılabilmesi yöntemin avantajlarından (Moreira ve ark., 2017). Biyokömür, biyokütlenin az oksijen varlığında ısıyla parçalanması sonucu oluşur. Çoğunlukla bitki, kök, sap, tohum gibi tarımsal atıklardan elde edilir. Biyokömür bol gözenekli ve geniş yüzey alanına sahiptir. Yüksek katyon değişim kapasitesi vardır. Oksijence zengin fonksiyonel gruplar içerir (Zhang ve ark., 2020). Biyokömür, güçlü adsorpsiyon kapasitesine sahip olması, düşük maliyetli olması gibi özelliklerinden dolayı sulu çözeltilerden toksik metaller ve boya gibi kirleticileri uzaklaştırmak için sıklıkla kullanılmaktadır (Xiang ve ark., 2020). Latince adı *Elaeagnus angustifolia* L. (EAL) olan bitki *Elaeagnaceae* familyasına aittir. Halk arasında iğde olarak bilinir. Ülkemizde özellikle Akdeniz, Güneydoğu Anadolu, Marmara ve İç Anadolu ve bölgelerinde yetişir. Kışın yapraklarını döken bir bitkidir (Şahin ve Altuntaş, 2018). Meyveleri antioksidan özelliklere sahiptir. Bu nedenle ilaç endüstrisinde kullanılmaktadır. Çiçeklerinden kozmetik alanında faydalanılmaktadır (Farzei ve ark., 2015).

Bu çalışmada meyvesi yendikten sonra atılan iğde çekirdeklerinden biyokömür elde edilmiş, sulu çözeltilerden kristal viyole (KRV) boyasını uzaklaştırmak için adsorban olarak kullanılmıştır. Adsorpsiyon mekanizması üzerine farklı parametrelerin adsorpsiyona etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar denge, kinetik ve termodinamik açıdan değerlendirilmiştir.

## MATERYAL VE METOT

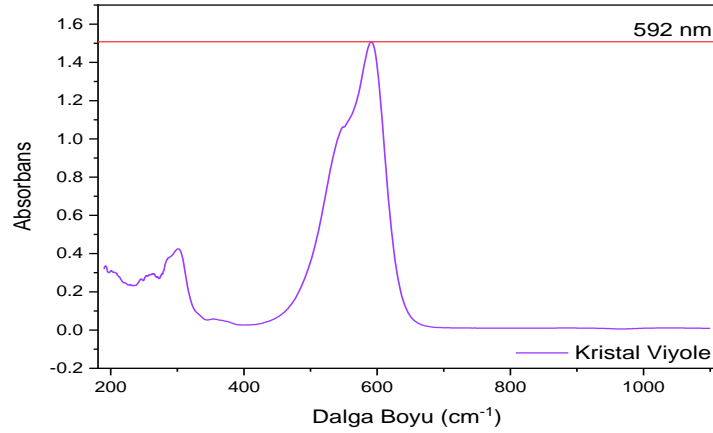
### Kristal Viyole Boyarmaddesinin Özellikleri ve Kalibrasyon Setinin Hazırlanması

Deneylerde kullanılan kristal viyole boyarmaddesinin bazı özellikleri ve yapısı Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Kristal viyole boyarmaddesinin bazı özellikleri ve yapısı

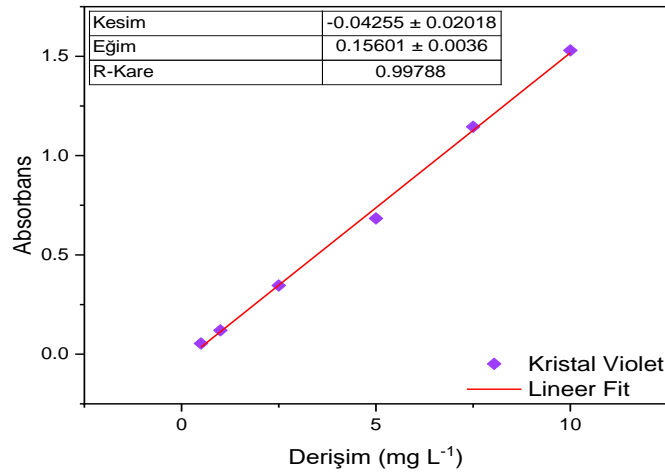
Kristal Viyole Özellikleri	
Adı	Kristal Viyole
Formülü	$C_{25}H_{30}N_3Cl$
Molekül Ağırlığı	407.980 g mol <sup>-1</sup>
Yapısı	

Kristal viyole boyarmaddesi için dalga boyu taraması grafiği Şekil 1’de gösterilmiştir. 10 mg/L’de yapılan taramada en yüksek absorbands değeri 592 nm’de bulunmuştur. UV/Vis için ölçümleri Peak Instruments C-7100 UV/VIS marka cihaz kullanılmıştır.



Şekil 1. Kristal viyole boyası için dalga boyu taraması grafiği

Kristal viyole boyarmaddesi ile iğde çekirdeği etkileşiminden sonra gerekli hesaplamaların yapılabilmesi için 0.5 mg/L, 1 mg/L, 5 mg/L, 10 mg/L ve 25 mg/L derişimlerinde bir kalibrasyon grafiği çizilmiştir. Elde edilen kalibrasyon grafiği Şekil 2’de gösterilmiştir. Elde edilen grafikte eğim=0.15601±0.0036; kesim=-0.04255±0.02018 ve R<sup>2</sup>=0.99788 bulunmuştur.



Şekil 2. Kristal viyole boyarmaddesiyle hazırlanan kalibrasyon grafiği

## FT-IR Analizi

EAL ve EAL-KRV adsorbanlarının yüzey fonksiyonel gruplarını belirleyebilmek için FT-IR analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçların ham biyokömür haldeki EAL ve kristal viyole ile temas etmiş EAL-KRV’nin arasındaki farklılıkları ortaya çıkaracağı düşünülmüştür. 1.00 g EAL, zaman: 60 dk, 50 mg/L KRV, sıcaklık: 25°C şartlarında elde edilen EAL-KRV FT-IR analizine tabi tutulmuştur. FT-IR taramaları JASCO FT/IR-4700typeA model cihaz ve ATR PRO ONE aksesuarı ile yapılmıştır.

## Deneylerin Yapılışı

EAL, yerel satıcılardan temin edilerek çekirdekleri ayrılmıştır. Çekirdekler üç kez yıkanıp temizlenmiş ve üzerinde iğde meyvesi kalmayacak hale getirilmiştir. Daha sonra çekirdekler ultra saf su ile de üç kez yıkanıp Nüve FN500 marka etüvde 60 °C sıcaklıkta 24 saat kurutulmuştur. Kuru hale gelen EAL çekirdekleri Carbolite ELF 11/6B marka kül fırında, az oksijen varlığında 450°C sıcaklıkta 4.30 saat boyunca ısıtılarak biyokömür elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen EAL biyokömürü

havanda ezilerek toz haline getirilmiştir. Daha sonra elek analizi ile birlikte farklı boylardaki tanecikler ayrılmış ve deneylerde aynı tanecik boyutuna sahip parçacıklar kullanılmıştır. Deneyler pH, sıcaklık, adsorban madde miktarı, konsantrasyon ve zaman parametreleri değiştirilerek yapılmıştır. Deneylerde pH 2-9 aralığında, sıcaklık 25°C-55°C aralığında, adsorban madde miktarı 0.5 g-1.75 g aralığında, konsantrasyon 5 mg/L-150 mg/L aralığında ve zaman 15 dk.-240 dk. aralığında çalışılmıştır. Deneyler sırasında kullanılan tüm çözeltiler ultra saf su ile hazırlanmıştır. pH ayarlamaları için 0.1 M HCl ve 0.1 M NaOH çözeltileri kullanılmıştır. pH ölçümleri Hanna HI2020-02 edge® marka pH metre ile yapılmıştır. pH metrenin kalibrasyonunda Merck marka pH 4.00-7.00-10.00 tampon çözeltileri kullanılmıştır.

Adsorpsiyon deneyleri konsantrasyon, pH, zaman, adsorban madde miktarı ve sıcaklık parametreleri ile yapılmıştır (Bayram ve ark., 2022). EAL-KRV için adsorpsiyon kapasitesi ( $q_d$ ) denklem 1 yardımıyla hesaplanmıştır.

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

Denklemdaki  $C_0$ (mg/L) başlangıç KRV boyarmadde konsantrasyonunu,  $C_d$ (mg/L) dengedeki KRV boyarmadde konsantrasyonunu göstermektedir.  $V$ (L) boyarmadde çözeltisinin hacmini ve  $m$ (g) adsorban miktarını belirtmektedir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

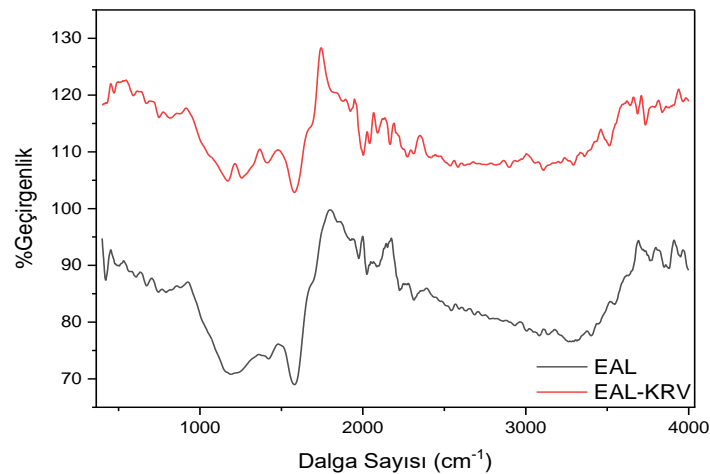
EAL ile CRV gideriminde sıcaklık, zaman (temas süresi), adsorban madde miktarı, pH, konsantrasyon değişiminin etkisi araştırılmış ve kinetik, izoterm, termodinamik hesaplamaları yapılmıştır.

### FT-IR Analizi Sonuçları

EAL ve boya ile temas etmiş EAL-KRV numuneleri için FT-IR taraması sonucunda elde edilen grafik Şekil 3'te gösterilmiştir.

İğde çekirdeklerinden elde edilen biyokömür ve katyonik bir boyarmadde olan kristal viyole ile temas etmiş biyokömürün yüzeyi FT-IR ile karakterize edilmiştir. Biyokömür yüzeyindeki ve boyarmadde adsorpsiyonu sonrası adsorban yüzeyindeki fonksiyonel gruplar belirlenmeye çalışılmıştır. FTIR spektrumunda fonksiyonel grup bölgesi 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  aralığındadır.

Biyokömür yüzeyinde karboksilat, hidroksil, karbonil gibi fonksiyonel grupların ve bazı aromatik yapıların oluştuğu düşünülmektedir. Spektrumlar incelendiğinde EAL'ye ait spektrumda 3263  $\text{cm}^{-1}$ 'de görülen geniş bant hidrojen bağına ait O-H gerilme titreşimini göstermektedir.



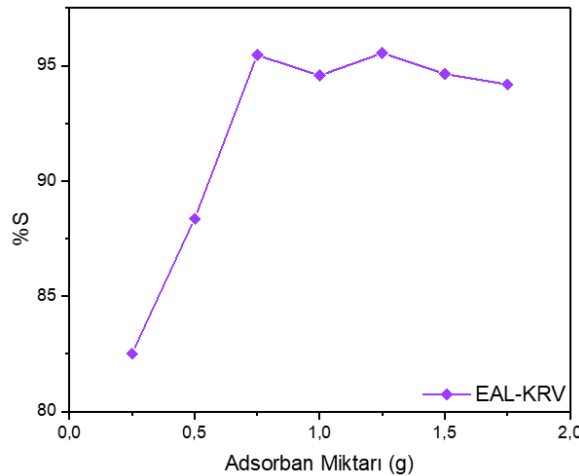
Şekil 3. EAL ve EAL-KRV için FT-IR spektrumu

Aldehitlerde  $1700\text{ cm}^{-1}$  civarındaki C=O gerilme titreşimleri,  $2898\text{ cm}^{-1}$  civarında alifatik C-H gerilme bandı ile birlikte gözlenmektedir (Zubair ve ark., 2020). Karboksilik asitlerde C=O gerilme titreşimi,  $1170\text{ cm}^{-1}$  ve  $1250\text{ cm}^{-1}$  civarında görülen C-O gerilme titreşimi ile birlikte görülmektedir.  $1579\text{ cm}^{-1}$  ve  $1581\text{ cm}^{-1}$ 'de görülen bantlar aromatik C=C gerilme titreşimlerini ifade etmektedir (Yi ve ark., 2021). EAL ve EAL-KRV için  $3880\text{ cm}^{-1}$  ve  $3837\text{ cm}^{-1}$  de görülen bantlar fenolik O-H gerilme titreşimine ait bantlardır. Ayrıca her iki spektrumda da  $1413\text{ cm}^{-1}$  ve  $1422\text{ cm}^{-1}$  civarında görülen bantlar C-H eğilme titreşimini göstermektedir (Vyavahare ve ark., 2019). Kristal viyole boyarmaddesinin adsorpsiyonundan sonra biyokömüre ait spektrumda absorpsiyon bantlarındaki değişiklikler boyanın yüzeydeki fonksiyonel gruplarla etkileşime girdiğini göstermektedir. EAL-KRV'ye ait spektrumda  $1413\text{ cm}^{-1}$  de belirginleşen bant,  $1170\text{ cm}^{-1}$ 'de şiddetlenen bant ve  $1256\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenen yeni bant boyanın adsorban yüzeyinde tutunduğunu göstermektedir.

### Adsorban Madde Miktarı Değişiminin Etkisi

Diğer parametreler sabit tutulup adsorban madde miktarının artması veya azalmasının adsorpsiyona etkisini incelemek üzere 0.25 g, 0.5 g, 0.75, 1 g, 1.25 g, 1.5 g, 1.75 g EAL ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir. Deney koşulları; konsantrasyon: 50 mg/L KRV, zaman: 60 dk., pH: 7.0-7.5, sıcaklık:  $25^{\circ}\text{C}$ 'dir. Elde edilen sonuçlarda yüzde sorpsiyon değerlerinin 0.75g EAL ile birlikte neredeyse maksimum noktaya ulaştığı gözlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, daha sonraki konsantrasyon değişimi, sıcaklık değişimi, zaman değişimi ve pH değişimi parametrelerinin çalışıldığı deneylerde EAL miktarı 1.00 g kullanılmıştır.



Şekil 4. Adsorban madde miktarı değişiminin yüzde sorpsiyona etkisi

### Konsantrasyon Değişiminin Etkisi

EAL-KRV üzerindeki boyarmadde konsantrasyon değişiminin etkisini incelemek üzere diğer parametreler sabit tutularak 5 mg/L, 25 mg/L, 50 mg/L, 75 mg/L ve 100 mg/L KRV konsantrasyonlarında deneyler yapılmıştır. Deney koşulları; adsorban madde miktarı: 1.00 g EAL, zaman: 60 dk., pH: 7.0-7.5, sıcaklık:  $25^{\circ}\text{C}$ 'dir. Elde edilen sonuçlar Şekil 5'te gösterilmiştir. Adsorpsiyon prosesinin 75 mg/L'den sonra maksimum noktaya ulaştığı gözlenmiştir.

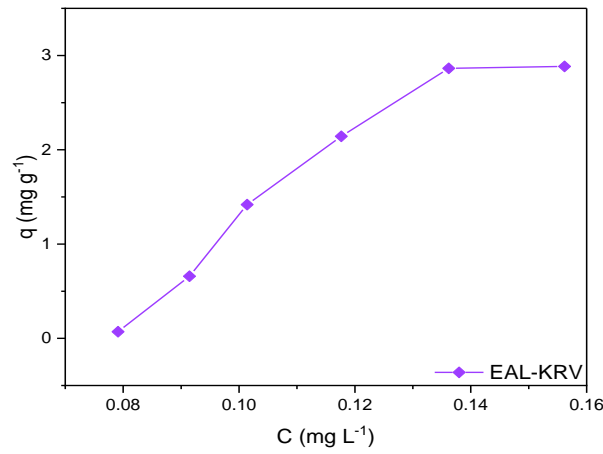
Elde edilen veriler yardımıyla Langmuir (1916), Freundlich (1907), Dubinin ve Radushkevich (1947), Scatchard (1949) ve Temkin (1940) izotermi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de gösterilmiştir.

## İğde Çekirdeklerinden Elde Edilen Biyokömür Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Kristal Viyole Boyarmaddesinin Uzaklaştırılması

Çizelge 2. Konsantrasyon değişiminden elde edilen sonuçlarla hesaplanan izoterm sonuçları

İzotermeler				
Langmuir	$q_{maks}$ (mg/g)	$K_L$ (L/mg)	$R^2$	$R_L$
	10.537	1.492	0.966	0.013
Freundlich	$K_f$ (mg/g)	$n$	$R^2$	
	25.942	0.876	0.954	
DR	$q_m$ (mg/g)	$\beta$	$R^2$	
	1.347	$-1 \times 10^{-7}$	0.9841	
Scatchard	$Q_s$	$K_s$	$R^2$	
	-0.525	-6.439	0.8406	
Temkin	BT	$K_t$ (L/mg)	$R^2$	
	2.340	23.045	0.958	

İzoterm sonuçları incelendiğinde sistemin Langmuir izotermine ( $R^2=0.966$ ) daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 5. Konsantrasyon değişiminin EAL-KRV üzerindeki etkisi

EAL-KRV için maksimum adsorpsiyon kapasitesi  $q_{maks}=10.537$  mg/g bulunmuştur. Langmuir izoterm modelinde adsorban yüzeyinde aynı enerjiye sahip aktif bölgeler vardır. Adsorpsiyon homojen yüzeyli bir adsorban üzerinde tek tabakalı olarak gerçekleşmektedir (Amin ve ark., 2021).  $R_L$  değeri adsorpsiyon sürecinin uygunluğunu ifade etmek için kullanılmaktadır.  $R_L$  denge faktörüne bakıldığında 0 ile 1 arası bir değer bulunmuştur.  $0 < R_L < 1$  aralığında bulunan değer biyokömür üzerindeki adsorpsiyon sürecinin, kristal viyole boyarmaddesini sulu ortamdan uzaklaştırmak için uygun olduğunu göstermektedir (Du ve ark., 2020).

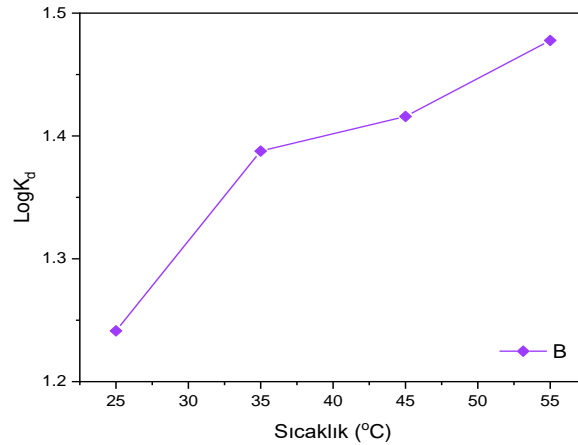
### Sıcaklık Değişiminin Etkisi

EAL-KRV üzerindeki sıcaklık değişiminin etkisinin incelenmesi ve termodinamik değerlerin hesaplanması için diğer parametreler sabit tutulmuştur. Sıcaklık değerlerinin değiştiği ( $25 \pm 1$  °C,  $35 \pm 1$  °C,  $45 \pm 1$  °C,  $55 \pm 1$  °C) deneylerin sonucunda elde edilen sıcaklık (°C) ve  $\text{Log}K_d$  değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Deney koşulları; adsorban madde miktarı: 1.00 g EAL, zaman: 60 dk., pH: 7.0-7.5, KRV konsantrasyonu 50 mg/L'dir.

Sıcaklık değişiminden elde edilen sonuçlar yardımıyla  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta G^\circ$  ve  $\Delta S^\circ$  değerleri hesaplanarak Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Termodinamik parametreler için sonuçlar

T(K)	$\Delta G^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta S^\circ$ (j/K/mol)	$\Delta H^\circ$ (kJ/mol)
298.150	-7.085	70.908	13.910
308.150	-8.186		
318.150	-8.623		
328.150	-9.284		



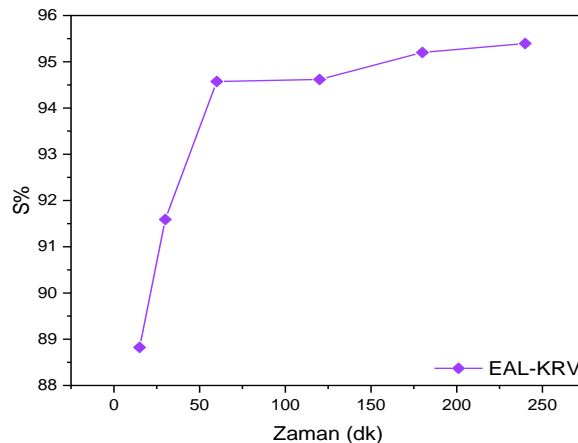
Şekil 6. EAL-KRV üzerindeki sıcaklık değişimi etkisini gösteren sıcaklık ve LogK<sub>d</sub> grafiği

Termodinamik parametreler incelendiğinde  $\Delta G^\circ$  değerleri negatif değerler bulunmuştur. Bu sonuç EAL biyokömürü üzerindeki boya adsorpsiyonunun uygun bir süreç olduğunu ve kendiliğinden gerçekleştiğini göstermektedir. Sıcaklık artışıyla birlikte  $\Delta G^\circ$  değerleri de artmıştır. Elde edilen sonuçlarda  $\Delta H^\circ=13.910$  kJ/mol değerinin pozitif olduğu görülmüştür. Pozitif  $\Delta S^\circ=70.908$  değeriyle adsorpsiyon sürecinde adsorban ve boya çözeltisi ara yüzeyinde bazı düzenlemelerin oluştuğu sonucuna ulaşılabilir. Adsorpsiyon süreci endotermik ( $\Delta H^\circ=13.910$  kJ/mol) olarak gerçekleşmiştir (Missau ve ark., 2021).

### Zaman Değişiminin Etkisi

EAL-KRV üzerindeki temas süresinin değişiminin (15 dk., 30 dk., 60 dk., 120 dk., 180 dk., 240 dk.) adsorpsiyon işlemi üzerindeki etkisini incelemek üzere diğer parametreler sabit tutularak deneyler yapılmıştır. Deney koşulları; adsorban madde miktarı: 1.00 g EAL, pH: 7.0-7.5, sıcaklık 25°C, KRV konsantrasyonu 50 mg/L'dir. Elde edilen zaman (dk) ve yüzde sorpsiyon grafiği Şekil 7'de gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlarda adsorpsiyon işleminin hızlı gerçekleştiği ve 60 dakikada neredeyse maksimum noktaya ulaştığı gözlenmiştir (15 dk. için %S=88.824, 30 dk. için %S=91.591, 60 dk. için %S= 94.574, 120 dk. için %S=94.617, 180 dk. için %S=95.201, 240 dk. için %S=95.396). Yapılan diğer çalışmalarda optimum zaman 60 dk. olarak belirlenmiştir. Zaman değişiminden elde edilen sonuçlar prosesin nasıl yürüdüğünü incelemek amacıyla yalancı-birinci ve yalancı-ikinci- derece tepkime kinetiklerine uygulanmıştır. Elde edilen yalancı-birinci-derece ve yalancı-ikinci- derece tepkime parametreleri Çizelge 4'te gösterilmiştir.



Şekil 7. EAL-KRV adsorpsiyonu üzerindeki zaman değişiminin etkisi

**İğde Çekirdeklerinden Elde Edilen Biyokömür Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Kristal Viyole Boyarmaddesinin Uzaklaştırılması**

**Çizelge 4.** Yalancı-birinci-derece ve yalancı-ikinci-derece tepkime parametreleri

Adsorban-Boya	Derece	$q_{e-hes}$ (mg/g)	$k_1$ (1/min)	$k_2$ (g mg min. <sup>-1</sup> )	$q_{e-den.}$ (mg/g)	$R^2$
EAL-KRV	Birinci	0.055	$-5.04 \times 10^{-5}$	-	1.430	0.592
EAL-KRV	İkinci	1.440	-	$5.75 \times 10^{-1}$	1.430	1.000

Çizelge 4 incelendiğinde her iki modelin korelasyon katsayıları karşılaştırılmış ve EAL-KRV tepkimesinin yalancı-ikinci-dereceye ( $q_{e-hes}=1.440$  mg/g,  $q_{e-den.}=1.430$  mg/g) daha uygun olduğu ( $R^2=1.000$ ) sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumda boyarmadde ile adsorban arasındaki adsorpsiyon sürecinin, kimyasal adsorpsiyon olarak gerçekleştiği söylenebilir.

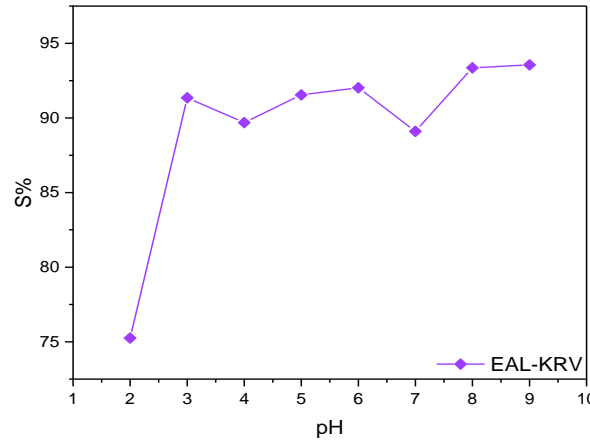
### pH Değişiminin Etkisi

EAL-KRV adsorpsiyonu üzerindeki pH değişiminin etkisini incelemek üzere diğer parametreler sabit tutularak pH 2 ve 9 aralığında deneyler yapılmıştır. Deney koşulları; adsorban madde miktarı: 1.00 g EAL, zaman: 60 dk., sıcaklık 25°C, KRV konsantrasyonu 50 mg/L'dir. Elde edilen sonuçlar yardımıyla çizilen pH ve yüzde sorpsiyon grafiği Şekil 8'de gösterilmiştir.

Şekil 8 incelendiğinde pH 3'te yüzde sorpsiyon değerinin arttığı ve değerlerin birbirine yakın olarak devam ettiği bulunmuştur. (pH=2 için %S=75.249, pH=3 için %S=91.353, pH=4 için %S=89.689, pH=5 için %S=91.548, pH=6 için %S=92.023, pH=7 için %S=89.105, pH=8 için %S=93.364, pH=9 için %S=93.558). Katyonik ve bazik karakterli bir boya olan KRV bazik bölgede daha iyi tutulmuştur.

### Kristal Viyole Boyarmaddesi ile Yapılmış Benzer Çalışmalar

Kristal viyole boyarmaddesi ile yapılan literatürdeki bazı çalışmalar ve maksimum adsorpsiyon kapasiteleri Çizelge 5'te verilmiştir.



**Şekil 8.** EAL-KRV adsorpsiyonu üzerinde pH değişiminin etkisi

**Çizelge 5.** KRV ile ilgili literatürde bulunan bazı çalışmalar

Adsorban Adı	Adsorpsiyon Kapasitesi (mg/g)	Referans
Gliricidia sepium ağacı	7.900	Wathukanage ve ark., 2019
Platanus orientalis doğu çınarı yaprağı	9.11	Ahmad ve ark., 2021
KRV çekirdeği biyokömürü	10.537	Şimdiki çalışma
Hurma çekirdeği kabuğu	24.450	Kyi ve ark., 2020
Murraya koenigii köri ağacı sapı	35.710	Saniya ve ark., 2020

### SONUÇ

Sudaki kirlilikleri gidermek için kullanılan, ucuz ve etkili bir yöntem olan adsorpsiyon yöntemi günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada neredeyse maliyetsiz iğde çekirdeği biyokömür haline getirilmiş ve kristal viyole boyarmaddesinin gideriminde kullanılmıştır. Deneyler çalkamalı/kesikli adsorpsiyon yöntemiyle farklı parametreler kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar



değerlendirildiğinde pH=2'den sonra KRV adsorpsiyonunun arttığı, zaman değişiminin etkisi incelendiğinde ise 60 dakikadan sonra KRV adsorpsiyonunun arttığı gözlemlenmiştir. Konsantrasyon için 75 mg/L'den sonra, adsorban miktarı için 0.75g'dan sonra KRV adsorpsiyonunun arttığı ve maksimum bölgeye ulaştığı gözlenmiştir. Sıcaklıkla ilgili yapılan deneyler sonucunda sıcaklığın artmasıyla adsorpsiyonun arttığı, tepkimenin endotermik ( $\Delta H^\circ=13.910$  kJ/mol) olarak gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen negatif  $\Delta G^\circ$  değerleri de EAL'nin KRV giderimi için uygun olduğu anlamına gelmektedir (Bayram ve ark., 2022). İzoterm sonuçları incelendiğinde prosesin Langmuir izotermine uygunluğu görülmektedir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi  $q_{maks}=10.537$  mg/g bulunmuştur. Literatürde KRV ile yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde hurma çekirdeği kabuğu için  $q_{maks}=24.45$ , gliricidia sepium ağacı için  $q_{maks}=7.9$  mg/g, platanus orientalis doğu çınarı yaprağı için  $q_{maks}=9.11$ , murraya koenigii köri ağacı sapı için  $q_{maks}=35.71$  mg/g bildirilmiştir. EAL-KRV için bulunan  $q_{maks}$  değerinden düşük ve yüksek değerler literatürde bulunmuştur. Sonuç olarak adsorban maddenin kolay elde edilebilir olması, düşük maliyetli olması gibi etkenler de göz önünde bulundurularak EAL'nin KRV gideriminde kullanılması önerilebilir.

### Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

### KAYNAKLAR

- Amin, M.T., Alazba, A.A., and Shafiq, M. (2021). Successful Application of Eucalyptus Camdulensis Biochar in the Batch Adsorption of Crystal Violet and Methylene Blue Dyes From Aqueous Solution. *Sustainability*, 13(7), 3600. <https://doi.org/10.3390/su13073600>
- Bayram, O., Köksal, E., Göde, F., ve 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. <https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1937931>
- Du, C., Song, Y., Shi, S., Jiang, B., Yang, J., and Xiao, S. (2020). Preparation and Characterization of a Novel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Graphene-Biochar Composite for Crystal Violet Adsorption. *Science of the Total Environment*, 711, 134662. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134662>
- Dubin, M.M. (1947). The Equation of the Characteristic Curve of Activated Charcoal. *Dokl. Akad. Nauk. SSSR*. 55,327-329.
- Farzaei, M.H., Bahramsoltani, R., Abbasabadi, Z., and Rahimi, R. (2015). A Comprehensive Review on Phytochemical and Pharmacological Aspects of *Elaeagnus angustifolia* L. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 67(11), 1467-1480. <https://doi.org/10.1111/jphp.12442>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.01.011>
- Kamal, N.M., Ridha, N.A.S., Rusin, L.A., and Hussein, M.A. (2018). Removal of Alizarin Yellow Dye From Aqueous Solution by Adsorption on the Pomegranate Crusts. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 454(1), 012122. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/454/1/012122>
- Kaya, N., and Uzun, Z.Y. (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. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.213>

- Khan, F.A., Ahad, A., Shah, S.S., and Farooqui, M. (2021). Adsorption of Crystal Violet Dye Using Platanus Orientalis (Chinar tree) Leaf Powder and its Biochar: Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics Study. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-21. <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1931854>
- Kyi, P.P., Quansah, J.O., Lee, C.G., Moon, J.K., and Park, S.J. (2020). The Removal of Crystal Violet From Textile Wastewater Using Palm Kernel Shell-Derived Biochar. *Applied Sciences*, 10(7), 2251. <https://doi.org/10.3390/app10072251>
- 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.
- Missau, J., Bertuol, D.A., and Tanabe, E.H. (2021). Highly Efficient Adsorbent for Removal of Crystal Violet Dye From Aqueous Solution by CaAl/LDH Supported on Biochar. *Applied Clay Science*, 214, 106297. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2021.106297>
- Moreira, M.T., Noya, I., and Feijoo, G. (2017). The Prospective Use of Biochar as Adsorption Matrix—A Review From a Lifecycle Perspective. *Bioresource Technology*, 246, 135-141. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.041>
- Saniya, A., Sathya, K., Nagarajan, K., Yogesh, M., Jayalakshmi, H., Praveena, P., and Bharathi, S. (2020). Modelling of the Removal of Crystal Violet Dye From Textile Effluent Using Murraya Koenigii Stem Biochar. *Desal. Water Treat.*, 203, 356-365. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26191>
- Scatchard, G.D. (1949). The Attractions of Proteins for Small Molecules and Ions. *Ann. NY Acad. Sci.*, 51, 660-672.
- Şahin, G., ve Altuntaş, E. (2018). Kuş İğdesi Meyvesinin Fiziko-mekanik, Renk ve Kimyasal Özellikleri. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 7(1), 1-11.
- Temkin, M.J., and Pyzhev, V. 1940. Recent Modifications to Langmuir isotherms.
- Vyavahare, G., Jadhav, P., Jadhav, J., Patil, R., Aware, C., Patil, D., Gophaned, A., Yang, Y.H., and Gurav, R. (2019). Strategies for Crystal Violet Dye Sorption on Biochar Derived from Mango Leaves and Evaluation of Residual Dye Toxicity. *Journal of Cleaner Production*, 207, 296-305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.193>
- Wathukarage, A., Herath, I., Iqbal, M.C.M., and Vithanage, M. (2019). Mechanistic Understanding of Crystal Violet Dye Sorption by Woody Biochar: Implications for Wastewater Treatment. *Environmental Geochemistry and Health*, 41(4), 1647-1661. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-0013-8>
- Xiang, W., Zhang, X., Chen, J., Zou, W., He, F., Hu, X., Tsang, D.C.W., Ok, Y.S., and Gao, B. (2020). Biochar Technology in Wastewater Treatment: A Critical Review. *Chemosphere*, 252, 126539. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126539>
- Yi, Y., Tu, G., Ying, G., Fang, Z., and Tsang, E.P. (2021). Magnetic Biochar Derived from Rice Straw and Stainless Steel Pickling Waste Liquor for Highly Efficient Adsorption of Crystal Violet. *Bioresource Technology*, 341, 125743. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125743>
- Zhang, A., Li, X., Xing, J., and Xu, G. (2020). Adsorption of Potentially Toxic Elements in Water by Modified Biochar: A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(4), 104196. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104196>
- Zubair, M., Mu'azu, N.D., Jarrah, N., Blaisi, N.I., Aziz, H.A., and Al-Harathi, M. (2020). Adsorption Behavior and Mechanism of Methylene Blue, Crystal Violet, Eriochrome Black T, and Methyl Orange Dyes onto Biochar-Derived Date Palm Fronds Waste Produced at Different Pyrolysis Conditions. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(5), 1-19. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04595-x>