




# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Diatomit (Van/Çaldıran) Kullanılarak Atık Sulardan Asit Blue 25 Boyar Maddesinin Adsorpsiyon Yöntemiyle Uzaklaştırılması

 Ali Rıza KUL<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: alirizakul@yyu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1099711

### Öz

Çalışmamızda, pamuk ve elyaf gibi ürünlerin boyanmasında kullanılan bir boyar madde olan asit blue 25'in atık sulardan Çaldıran/Diatomit ile bertaraf edilmesi incelenmiştir. Çalışmada derişimin (40 ppm, 80 ppm ve 120 ppm) ve sıcaklığın (293 K, 308 K ve 323 K) etkinliği de araştırılmış, elde edilen veriler Langmuir, Freundlich, D-R izoterm modellerine uygulanmıştır. Çalışma neticesinde hesaplanan izoterm hesaplamaları bizlere çalışmamızın Freundlich izoterm modeline daha iyi uyum sağladığını ve bu izoterm ait korelasyon katsayılarının tüm sıcaklıklarda 0.99'den büyük olduğunu göstermiştir. Paralel bir şekilde D-R izoterm modeli yardımıyla hesaplanan D-R adsorpsiyon serbest enerjisi ise tüm sıcaklıklar için 8 kJ/mol değerinden küçük bulunmuştur. Termodinamik hesaplamalar yardımıyla bulunan Gibbs serbest enerji değerlerinin negatif olması, adsorpsiyon işleminin kendiliğinden meydana geldiğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Adsorpsiyon, Asit Blue 25, Boyarmadde, Diatomit, İzoterm, Termodinamik

## Removal of Acid Blue 25 Dye from Wastewater by Adsorption Method Using Diatomite (Van/Çaldıran)

### ABSTRACT

In our study, the disposal of acid blue 25, a dyestuff used in the dyeing of products such as cotton and fiber, from wastewater with Çaldıran/Diatomite was investigated. In the study, the efficiency of concentration (40 ppm, 80 ppm and 120 ppm) and temperature (293 K, 308 K and 323 K) were also investigated, and the obtained data were applied to Langmuir, Freundlich, D-R isotherm models. The isotherm calculations calculated as a result of the study have shown us that our study fits better with the Freundlich isotherm model and the correlation coefficients of this isotherm are greater than 0.99 at all temperatures. The D-R adsorption free energy calculated with the help of the D-R isotherm model in parallel was found to be less than 8 kJ/mol for all temperatures. The negative Gibbs free energy values found with the help of thermodynamic calculations showed that the adsorption process occurred spontaneously.

**Keywords:** Adsorption, Acid Blue 25, Dyestuff, Diatomite, Isotherm, Thermodynamics

## I. GİRİŞ

İnsan çevresi ile sürekli olarak etkileşim içindedir. Bu etkileşimler her zaman çift taraflı olmuştur fakat etkileşimin tüm zaman boyunca iki tarafında yararına olduğunu söylemek mümkün değildir. Özellikle sanayinin gelişmesinin ardından yapılan çalışmalar çevreyi çok kirletmiştir.

Çevrenin hızlıca kirlenmesi sonucundan insan dahil olmak üzere tüm canlılar olumsuz etkilenmişlerdir. Bu nedenle uzmanlar, çevreyi kirletici özelliğe sahip boyar madde, ağır metal gibi maddelerin atık sular veya topraktan uzaklaştırılması için çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Bu yöntemlerden bazıları uygulanabilirlik ve maliyet açısından uygun olmadığı için tercih edilmemelerine karşın adsorpsiyon yöntemi, hem maliyet hem de uygulanabilirlik açısından sağladığı avantajlardan nedeniyle oldukça kabul gören bir yöntem olmuştur.

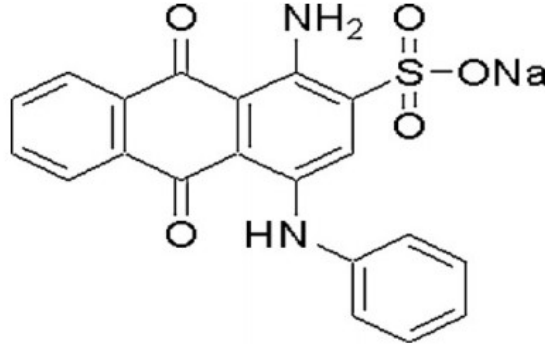
Adsorpsiyon, kirleticilerin sulu ortamlardan uzaklaştırılması amacıyla kullanılan bir yöntemidir. Bu yöntemde adsorbent olarak kullanılan maddenin gözenekli yapısı ve uzaklaştırılacak kirletici madde arasındaki van der waals kuvvetleri etkilidir. Kısaca gözenek sayısının fazla olması daha fazla kirletici uzaklaştırılması anlamına gelmektedir. Ayrıca adsorpsiyon işleminden sonra adsorbent temizlenerek tekrar kullanıma sunulabildiği için adsorpsiyon oldukça verimli bir yöntemdir.

Endüstride kumaş boyamada kullanılan 100.000'den fazla boyar madde bulunmaktadır [1]. Bu boyar maddelerin yaklaşık % 54'lik bir kısmın tekstil endüstrisinde kullanıldığı ve yaklaşık % 15'lik bir kısmın ise doğrudan atık sulara bırakıldığı tahmin edilmektedir [2]. Asit blue 25 (AB25) tekstil endüstrisinde kullanılan antrakinon boyar maddelerden biridir sağlık üzerinde çeşitli olumsuz etkilere sahip olduğu düşünülen [3] bu boyar maddenin atık sularından hızlıca uzaklaştırılması oldukça önem arz etmektedir.

## II. DENEYSEL ÇALIŞMA

### **A. KİMYASALLAR**

Çalışmada kullanılan asit blue 25 (C<sub>20</sub>H<sub>13</sub>N<sub>2</sub>NaO<sub>5</sub>S) boyar maddesi, Sigma – Aldrich firmasından temin edildi. Kullanılan boyar madde analitik saflıkta olduğundan deneysel çalışmalarda saflaştırılmadan kullanılmıştır.



*Şekil 1. AB25 tekstil boyasının kimyasal formülü [1].*

### **B. KARAKTERİZASYONDA KULLANILAN CİHAZLAR**

Diatomitin yapısındaki fonksiyonel grupların tayin edilmesi amacıyla fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi (400 – 4000 cm<sup>-1</sup> aralığı) kullanıldı. Çözültide kalan maddenin derişimi UV-Vis. spektrofotometresi (Pg instruments, T80+ için λ<sub>max</sub>=602 nm'lik) kullanılarak belirlendi.

## C. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR

Nüve Nf 200 marka santrifüj cihazı, ısıtmalı su banyosu (Julabo, Model ED), manyetik karıştırıcı (Thermo Scientific, Telesystem 15.07 with Telemodul 15).

## D. DOĞAL ADSORBAN VE ÖZELLİKLERİ

Adsorpsiyon işleminde kullanılan Diatomit, Van'ın Çaldıran ilçesinden temin edilmiş ve bileşimlerinin belirlenmesi amacıyla X-Işını Fraksiyonu (XRF) analizi yapılmıştır. XRF analizi sonucu Tablo 1'de verilmiştir.

*Tablo 1. Diatomitin (Van/Çaldıran) XRF analizi (Bileşenlerin % değerleri).*

A.Za	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>
11.55	11.50	4.40	1.40	0.80	69.70	0.65

## E. DİATOMİTİN HAZIRLANMASI

Öncelikle safsızlıkların giderilmesi amacıyla diatomitten 100 g alınarak 1 L distile su ile 8 saat süre ile karıştırıldı. Bu sürenin sonunda kil sudan uzaklaştırılarak 105 °C sıcaklık altında 24 saat kurumaya bırakılarak kullanılmaya hazır hale getirildi. Kurutma işleminden sonra elekten geçirilerek tanecik boyutu 230 mesh aralığına getirildi [4].

## F. STOK ÇÖZELTİNİN HAZIRLANMASI

Asit blue 25 (AB25) boyar maddesinden 1 gram alınarak balon joje yardımıyla 1 L distile su içinde çözülerek 1000 ppm'lik stok çözelti hazırlandı. Deneyler sırasında hazırlanan çözeltiler stok çözeltilerden uygun seyreltilme yapılarak hazırlanmıştır.

## G. DENEYSEL ÇALIŞMALARININ YAPILMASI

### G.1. Temas Süresinin Adsorpsiyona Etkisinin Belirlenmesi

İlk aşamada sıcak su banyosundaki ortamın sıcaklığı 293 K olarak sabit tutuldu. Diatomitten 1 g madde tartıldı ve sonrasında stok çözeltiden 0.5 L hacminde 40 ppm derişime sahip çözelti hazırlandı. Çözelti sıcak su banyosuna konularak çözeltinin sıcaklığının dengeye ulaşması beklendi. Manyetik karıştırıcı 400 rpm olarak ayarladıktan sonra Dengeye ulaşan çözeltilere tartılan 1g diatomit eklendi. 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 140, 240. dakikalarda çözeltiden 1.5 ml sıvı alınarak 3000 rpm'de 2 dakika boyunca santrifüj edildi.

### G.2. Derişim ve Sıcaklığın Adsorpsiyona Etkisinin Belirlenmesi

Derişimin, diatomit üzerindeki etkinliğini belirlemek için 0.5 L hacimlerde ve 40 ppm, 80 ppm, 120 ppm derişimlerde üç adet çözelti hazırlanmıştır. İlk olarak 293 K sıcaklıkta, sabit karıştırma hızı (400 rpm) ve dozda (1 g) denge süresine (60 dk.) kadar çözelti bekletilmiştir. Çözelti dengeye ulaştığı sırada ortamdaki 1.5 mL'lik numune alınarak 2000 rpm'de 3 dakika boyunca santrifüj edildi ardından santrifüj edilen numuneler UV-Vis. spektrofotometre cihazında 602 nm dalga boyunda okundu böylece çözeltilerde kalan derişim (C<sub>e</sub>) hesaplandı. Aynı işlemler 308 K, 323 K sıcaklıkları için de tekrar edildi.

Çalışma sonunda yüzde adsorplanan miktar, denge anında birim yüzeyde tutunan madde miktarı (q<sub>e</sub>) ve birim zamanda birim yüzeyde tutunan madde miktarı (q<sub>t</sub>) eşitlik 1 ve eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır [5], [6].

$$\% \text{ ads.} = \frac{(C_i - C_e) * 100}{C_i} \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_i - C_e) * V}{m} \quad (2)$$

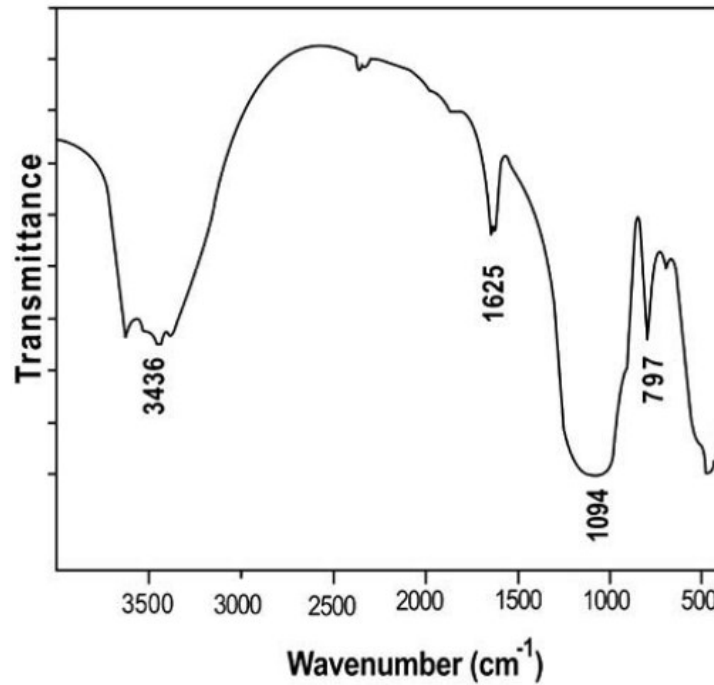
Burada,  $C_i$ : boyar madde derişimini (ppm),  $C_e$ : adsorpsiyon işlemi sonrasında çözeltide kalan boyar madde derişimini (ppm),  $V$ : çözeltinin hacmini (L),  $m$ : adsorbentin kütesini (g) ifade etmektedir.

### **III. BULGULAR VE TARTIŞMA**

#### **H. DİATOMİTİN KARAKTERİZASYONU**

##### **H.1. FTIR Analizi**

Diatomitin karakteristik yüzey özelliklerini belirlemek için FTIR analizi 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  aralığında yapılarak elde edilen grafik şekil 2’de gösterilmiştir. Diatomitin 3436, 1625, 1094 ve 797  $\text{cm}^{-1}$ ’deki FTIR spektrumları adsorpsiyon bantlarına işaret etmektedir. 3436  $\text{cm}^{-1}$ ’deki bant, serbest yüzeyde silanol grubunu (SiO-H), 1625  $\text{cm}^{-1}$  bant ise suyun H-O-H bükülme titreşimini temsil eder, ayrıca 1094  $\text{cm}^{-1}$ ’deki yayvan bükülme siloksan (-Si-O-Si-) grubunun gerilmesine bağlanabilir son olarak 797  $\text{cm}^{-1}$ ’deki tepe SiO-H titreşimine karşılık gelmektedir [7]–[9].

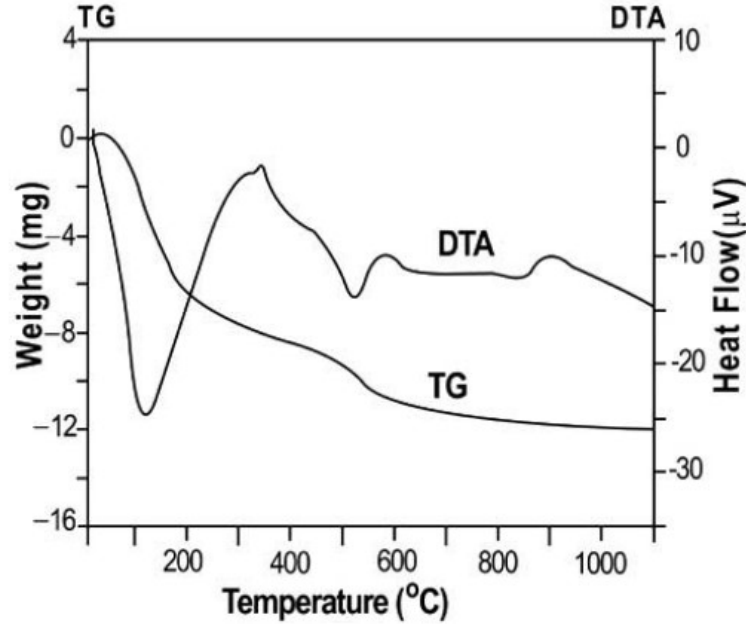


*Şekil 2. Diatomite ait FTIR grafiği.*

##### **H.2. TG-DTA**

Diatomitin ısıtma işlemi belirlemek amacıyla TG-DTA eğrileri çizilerek şekil 3’te gösterildi. Grafiğe baktığımızda TG eğrisi iki adet belirgin kütle kaybını sergilerken, DTA eğrisi iki endotermik tepe noktası ve bir ekzotermik tepe noktası göstermiştir. TG eğrisinde yaklaşık 522  $^{\circ}\text{C}$ ’de % 8.9’luk bir kütle kaybıyla beraber, sıcaklığın 550  $^{\circ}\text{C}$ ’ye çıkarılmasıyla yaklaşık %2.4’lük bir kütle kaybı daha

yaşanmıştır. DTA eğrisinde ise yaklaşık 100 °C ve 500 °C sıcaklıklarda muhtemelen dehidrasyon ve dehidroksilasyon nedeniyle iki adet endotermik pik gözlenirken, yaklaşık 900 °C sıcaklıktaki ekzotermik pik, kristal yapının bozulmasından kaynaklanmaktadır [8].

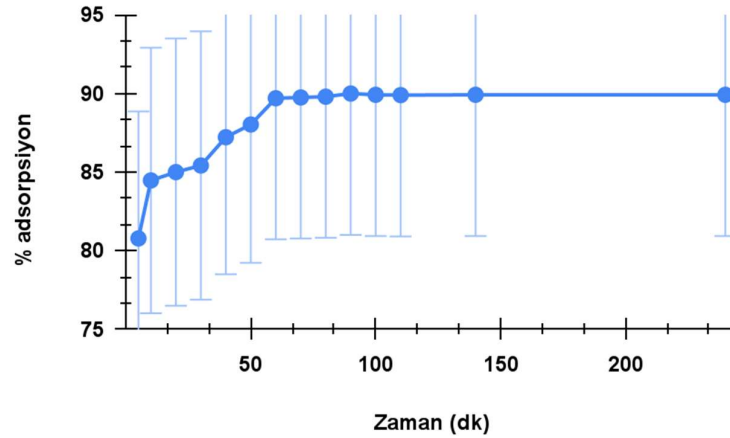


Şekil 3. Diatomit için TG-DTA eğrisi.

## I. ADSORPSİYON ÇALIŞMALARI

### I.1. Temas Süresinin Etkisi

İzoterm çalışmalarının yapılabilmesi amacıyla temas süresinin adsorpsiyon üzerindeki etkisini incelediğimiz çalışmamız neticesinde elde edilen grafik şekil 4'te gösterilmiştir.



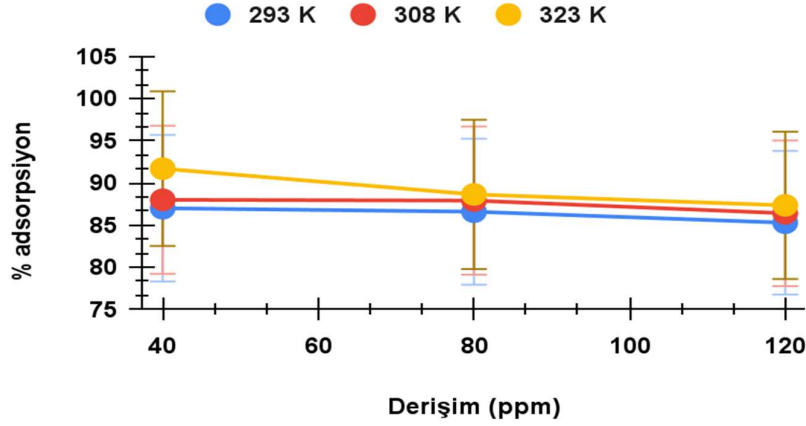
Şekil 4. Diatomit için adsorpsiyona temas süresinin etkisi (T: 293 K, m: 1 g, V: 0.5 L, doğal pH).

Grafiğe bakıldığı zaman diatomit yüzeyine başlangıçta hızlı bir şekilde madde tutunmasının olduğunu fakat zamanla bu hızın azaldığını ve yaklaşık 60. dakikadan sonra ise bu tutunmanın yatay bir pozisyon seyrettiğini görüyoruz. Bu durum diatomitin gözeneklerinin zamanla hızlı bir şekilde dolması ve belirli bir süre sonunda doyuma ulaşmasından kaynaklanmaktadır [10], [11].

## I.2. Derişimin Adsorpsiyon Üzerindeki Etkisi

Derişimin AB25 boyar maddesinin adsorpsiyonu üzerindeki etkisini gösteren grafik Şekil 5'te gösterilmiştir.

Boyar madde derişimi arttıkça diatomitin AB25 boyar madde adsorpsiyon yüzdesi azalmaktadır. Bu durum tüm sıcaklıklar için de benzerdir. Bunun nedeni derişim arttıkça diatomitin yüzeyinde tutunma kapasitesinin azalması ve verimin buna oranla azalmasıdır. Benzer durum [12], [13] çalışmalarında da kayıt edilmiştir.



Şekil 5. Diatomit üzerine AB25 boyar maddesinin derişim etkisi (pH: doğal, m: 1 g, V: 0.5 L).

## J. İZOTERM HESAPLAMALARI

Denge anında adsorbent yüzeyinde tutunan AB25 derişimi ile çözeltide kalan boyar madde derişimi arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla veriler, Langmuir, Freundlich ve D-R izoterm modellerine uygulandı. İzoterm hesaplamalarında tablo 2'de verilen bağıntılar kullanılmıştır. Tabloda;  $K_L$ : Langmuir sabitini (L/mg),  $C_e$ : denge anında çözeltide kalan maddenin derişimini (ppm),  $q_m$ : Langmuir sabitini (mg/g),  $C_e$ : denge anında çözeltide kalan maddenin derişimini (ppm), R: İdeal gaz sabitini (8.314 J/mol), T: sıcaklığı (K), D: D-R izoterm sabitini ( $\text{mol}^2/\text{kJ}^2$ ),  $\epsilon$ : Polanyi potansiyelini, E: D-R adsorpsiyon serbest enerjisini (kJ/mol) ifade etmektedir.

Tablo 2'te verilen bağıntıları kullanılarak hesaplanan izoterm verileri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2. Hesaplama kullanılan izoterm bağıntıları.

İzoterm modeli	Lineer bağıntı	Grafik	Sabitler	Eşitlik
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \left(\frac{1}{K_L q_m}\right) + \left(\frac{C_e}{q_m}\right)$	$\frac{C_e}{q_e}$ vs $C_e$	$K_L$ : Eğim/Kesme noktası, $q_m$ : (Eğim) <sup>-1</sup>	(3) [6]
Freundlich	$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$	$\ln q_e$ vs $\ln C_e$	$K_F$ : exp(Kesme noktası), $n$ : (Eğim) <sup>-1</sup>	(4) [14]
D-R	$\ln q_e = \ln q_m - D\epsilon^2$ $\epsilon = RT \ln\left(1 + \frac{1}{C_e}\right)$	$\ln q_e$ vs $\epsilon^2$	D: -Eğim, $q_m$ : exp(Kesme noktası) $E = \frac{1}{\sqrt{2D}}$	(5) [15]

**Tablo 3.** Diatomit üzerine AB25 boyar maddesi adsorpsiyonu sonucunda hesaplanan izoterm verileri (pH: doğal, V: 0.5 L, m: 1 g).

	T (K)	Hesaplamalar
Langmuir	293	$K_L : 0.0138, Q_m : 526.3158, R^2 : 0.9475$
	308	$K_L : 0.0153, Q_m : 526.3158, R^2 : 0.8577$
	323	$K_L : 0.0581, Q_m : 217.3913, R^2 : 0.9459$
Freundlich	293	$n : 1.1278, 1/n : 0.8867, K_F : 8.1752, R^2 : 0.9973$
	308	$n : 1.1255, 1/n : 0.8885, K_F : 8.9187, R^2 : 0.9940$
	323	$n : 1.4590, 1/n : 0.6854, K_F : 15.9882, R^2 : 0.9985$
D-R	293	$Q_m : 103.5961, E : 0.2874, D : 6.0543, R^2 : 0.9606$
	308	$Q_m : 106.1762, E : 0.3231, D : 4.7889, R^2 : 0.9672$
	323	$Q_m : 96.6600, E : 0.5037, D : 1.9706, R^2 : 0.9227$

Diatomit izoterm hesaplamalarında modelin uyumlu olduğunu gösteren korelasyon katsayısı ( $R^2$ ), Freundlich izoterm modelinde tüm sıcaklıklarda 0.99'tan büyük hesaplanmıştır. Bundan dolayı adsorpsiyon prosesinin Freundlich izoterm modeline en iyi uyum sağladığı söylenebilir. Freundlich izoterm modeli bizlere adsorpsiyon işleminin çok tabakalı ve tutunmanın heterojen olduğunu göstermekle beraber, n ve 1/n değerlerinin sırasıyla 1-10 ve 0-1 arasında bulunması tutunmanın çok tabakalı olduğunu ve izoterm çalışmamızın Freundlich izoterm modeline uyduğunu göstermesi açısından oldukça önemlidir [16].

Ayrıca D-R izoterm modeli sırasında hesaplanan E değerlerinin tüm sıcaklıklarda 8 kJ/mol'dan küçük olması adsorpsiyonun fiziksel adsorpsiyon olduğunu göstermiştir [17].

## K. TERMODİNAMİK HESAPLAMALAR

$\Delta G^\circ$  (kJ/mol),  $\Delta H^\circ$  (kJ/mol) ve  $\Delta S^\circ$  (kJ/mol.K) değerlerinin bilinmesi amacıyla termodinamik hesaplamalar da yapılmıştır.

$\Delta G^\circ$  Gibbs serbest enerji olarak bilinir. Bu değer negatif olması işlemin kendiliğinden meydana geldiğini göstermektedir.  $\Delta G^\circ$  değerinin hesaplanması için öncelikle  $K_c$  değerinin hesaplanması gerekmektedir.

$K_c$  değeri eşitlik 6 kullanılarak bulunabilir [18].

$$K_c = \frac{q_e}{C_e} \quad (6)$$

Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanan  $K_c$ , 7 numaralı eşitlikte yerine yazılarak  $\Delta G^\circ$  hesaplanabilmektedir.

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K_c \quad (7)$$

$$\ln K_c = \left[ \frac{\Delta S^{\circ} - \Delta H^{\circ}}{T} \right] \frac{1}{R} \quad (8)$$

Eşitlik 8'de,  $\ln K_c$  değerinin  $1/T$  değerine karşı grafiğe geçirilmesi ile (Van't Hoff Eşitliği) oluşan doğrunun eğimi  $\Delta H^{\circ}$ 'ı verirken kesişim noktası ise  $\Delta S^{\circ}$ 'yi verir.

Eşitlik 6, eşitlik 7 ve eşitlik 8 yardımı ile hesaplanan termodinamik parametreler Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Diatomit üzerine AB25 boyar maddesi adsorpsiyonu için hesaplanan termodinamik parametreler (pH: doğal, V: 0.5 L, m: 1 g).

Derişim (ppm)	T (K)	Hesaplamalar	
40	293	$\Delta G^{\circ} : -4.6307$	
	308	$\Delta G^{\circ} : -5.1020$	$\Delta H^{\circ} : 13.0236$ $\Delta S^{\circ} : 0.0598$
	323	$\Delta G^{\circ} : -6.4511$	
80	293	$\Delta G^{\circ} : -4.5431$	
	308	$\Delta G^{\circ} : -5.0809$	$\Delta H^{\circ} : 4.9892$ $\Delta S^{\circ} : 0.0326$
	323	$\Delta G^{\circ} : -5.5165$	
120	293	$\Delta G^{\circ} : -4.2784$	
	308	$\Delta G^{\circ} : -4.7345$	$\Delta H^{\circ} : 4.6027$ $\Delta S^{\circ} : 0.0303$
	323	$\Delta G^{\circ} : -5.1869$	

Diatomit üzerine AB25 boyar maddesi için hesaplanan termodinamik veriler incelendiği zaman tüm derişimler için  $\Delta G^{\circ}$  değerleri negatif olarak bulunmuştur. Bu durum adsorpsiyon işleminin kendiliğinden meydana geldiğine işaret etmektedir [19]. Bununla beraber  $\Delta H^{\circ}$  değerlerinin pozitif olması prosesin endotermik olduğunu,  $\Delta S^{\circ}$  değerlerinin pozitif olması ise düzensizliğin arttığını göstermektedir [20].

## VI. SONUÇLAR

AB25 boyar maddenin Diatomit üzerindeki etkisi üç farklı sıcaklık (293 K, 308 K, 323 K), ve üç farklı derişim (40, 80, 120, 120 ppm) kullanılarak araştırılmıştır. AB25 boyar maddesinin Diatomit üzerindeki adsorpsiyonu değerlendirildiğinde, adsorplanan boyar madde miktarının sabit değere ulaşması için yaklaşık 60 dakika gibi bir süreye ihtiyaç duyduğu böylece adsorpsiyonun bu süre sonunda dengeye ulaştığı tespit edilmiştir.



Denge anında sıcaklık ile çözelti derişimi arasındaki ilişkiyi belirleyen izoterm hesaplamaları neticesinde adsorpsiyon işleminin Freundlich izoterm modeline iyi uyum sağlandığı korelasyon katsayısının tüm sıcaklıklarda 0.99'dan büyük olmasından anlaşılmıştır. Ayrıca bu izoterm modeline ait sabitler olan  $n$  ve  $1/n$  değerlerinin sırasıyla 0-10 ile 0-1 aralığında olması diatomit yüzeyinde heterojen bir tutunmaya işaret etmiştir.

D-R izoterm modeli yardımıyla hesaplanan E değerinin 8 kJ/mol'dan küçük bulunması, adsorpsiyon işleminin fiziksel bir sorpsiyon olduğunu göstermiştir.

Termodinamik hesaplamalar neticesinde bulunan tüm  $\Delta G$  değerlerinin negatif olması ise adsorpsiyonun kendiliğinden meydana geldiğine işaret etmiştir. Bununla beraber hesaplanan tüm  $\Delta H$  değerleri pozitifdir. Bu, çalışmamızın ısıalan (endotermik) bir çalışma olduğunu göstermektedir.  $\Delta S$  değerlerinin pozitif olması adsorpsiyonun entropisinin arttığını göstermektedir.

## V. KAYNAKÇA

- [1] M. Auta ve B. H. Hameed, "Preparation of waste tea activated carbon using potassium acetate as an activating agent for adsorption of Acid Blue 25 dye", *Chemical Engineering Journal*, c. 171, s 2, ss. 502-509, Tem. 2011, doi: 10.1016/j.cej.2011.04.017.
- [2] B. OYAR, "Elektrokoagülasyon Yöntemi Kullanılarak Atık Sulardan Boyarmadde Gideriminin Araştırılması", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, 2020.
- [3] A. Aldemir ve A. R. Kul, "Comparison of acid blue 25 adsorption performance on natural and acid-thermal co-modified bentonite: Isotherm, kinetics and thermodynamics studies", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 26, s 7, 2020.
- [4] A. R. Kul, V. Benek, S. Kaptanoğlu, S. Alkan, ve V. Avcı, "Pyrus communis Atığının Üzerine Sulu Çözeltilerdeki Metilen Mavisinin Adsorpsiyon İzoterm ve Termodinamik Çalışmaları", *Van Sağlık Bilimleri Dergisi*, c. 11, s 1, 2019.
- [5] İ. Alacabey, A. R. Kul, Ş. Ece, ve H. Alkan, "Van Gölü Doğal Sediment ve Modifiye Sediment Üzerine Krom (III) Adsorpsiyonu (İzoterm ve Termodinamik Analiz Çalışması)", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 11, s 3, 2020, doi: 10.24012/dumf.731216.
- [6] A. Behnamfard ve M. M. Salarirad, "Equilibrium and kinetic studies on free cyanide adsorption from aqueous solution by activated carbon", *Journal of Hazardous Materials*, c. 170, s 1, ss. 127-133, 2009.
- [7] J. C. T. Rezende, V. H. S. Ramos, H. Oliveira, R. Oliveira, ve E. De Jesus, "Removal of Cr(VI) from Aqueous Solutions Using Clay from Calumbi Geological Formation, N. Sra. Socorro, SE State, Brazil", *Materials Science Forum*, c. 912, ss. 1-6, 2018, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.912.1.
- [8] N. Çalışkan, E. Söğüt, C. Saka, Y. Yardım ve Z. Sentürk, "The natural diatomite from caldiranvan (Turkey): electroanalytical application to antimigraine compound naratriptan at modified carbon paste electrode", *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, c. 13, s. 8, ss. 703-711, 2010, doi: 10.2174/138620710791920356.
- [9] I. Alacabey, "Bazı Ağır metallerin (Kobalt, Krom, Kadmiyum) Doğal ve Aktive Edilmiş Çaldıran Diatomiti (Çaldıran/Van) Üzerindeki Adsorpsiyon Denge Çalışmaları", Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye, 2006.

- [10] N. Caliskan, A. R. Kul, S. Alkan, E. G. Sogut, ve İ. Alacabey, “Adsorption of Zinc(II) on diatomite and manganese-oxide-modified diatomite: A kinetic and equilibrium study”, *Journal of Hazardous Materials*, c. 193, ss. 27-36, 2011, doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.06.058.
- [11] İ. Alacabey, “Adsorptive removal of cationic dye from aqueous solutions using Bardakçı clay”, *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, c. 6, s 1, 2022, doi: 10.31015/jaefs.2022.1.12.
- [12] B. Demir ve Y. Kalpaklı, “İşlem Görmemiş Kütahya Ca-Bentonitinin Bazik Mavi 41 (BB41) Adsorpsiyon Karakteristiğinin İncelenmesi”, *Journal of the Institute of Science and Technology*, c. 10, s 1, 2020, doi: 10.21597/jist.556691.
- [13] E. H. Gürkan ve S. Çoruh, “Atık Döküm Kumu İle Katyonik Boyarmaddelerin Adsorpsiyon Çalışmaları”, *Celal Bayar University Journal of Science*, c. 13, s 2, 2017, doi: 10.18466/cbayarfbe.319947.
- [14] İ. Alacabey, “Antibiotic Removal from the Aquatic Environment with Activated Carbon Produced from Pumpkin Seeds”, *Molecules*, c. 27, s 4, 2022, doi: 10.3390/molecules27041380.
- [15] I. Alacabey, “Doğal ve Aktive Edilmiş Van Gölü Sediment (Dip Çamuru) Örneklerinin Bazı Ağır Metallerle Adsorpsiyonunun İzoterm ve Termodinamik Analizi”, Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye, 2014.
- [16] S. Ekinci ve Z. İltir, “Sulu Çözeltilerden Alizarin Sarısı Boyarmaddesinin Nanoadsorbent (MNPs-G1-Mu) Vasıtasıyla Adsorpsiyon Özelliklerinin Belirlenmesi”, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, c. 11, s 1, 2021.
- [17] B. Kirkan ve M. Bekaroğlu, “Modifiye Edilmiş Pomza Kullanılarak Sulu Ortamlardan Adsorpsiyon Prosesi ile Arsenat (V) Giderimi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 23, s 2, 2019, doi: 10.19113/sdufenbed.467165.
- [18] O. Lacin, A. Haghightania, F. Demir, F. Sevim, ve O. Laçın, “Adsorption Characteristics and Behaviors of Natural Red Clay for Removal of BY28 from Aqueous Solutions”, *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, c. 3, s. 2, ss. 1037-1047, 2019, doi: 10.31142/ijtsrd21544.
- [19] A. R. Kul, A. Aldemir, S. Alkan, H. Elik, ve M. Çalışkan, “Adsorption of Basic Blue 41 using Juniperus excelsa: Isotherm, kinetics and thermodynamics studies”, *Environmental Research and Technology*, c. 2, s 3, 2019, doi: 10.35208/ert.568992.
- [20] A. Çiçekçi, B. Dönmez, E. Kavci, ve Ö. Laçın, “Malahit Yeşilinin Şeftali Çekirdeği Kabuğu Üzerine Adsorpsiyon İzotermi ve Termodinamiği”, *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 5, s 2, 2020, doi: 10.33484/sinopfd.701059.