

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

Esra KÖYLÜ¹, Ferda GÖNEN², Fulya ÖNALAN¹

ASİDİK BOYARMADDE İÇEREN TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARINDAN ADSORPSİYON YÖNTEMİYLE RENK GİDERİLMESİ

ÖZ

Bu çalışmada, atıksulardan boyarmadde gideriminde yaygın olarak kullanılan adsorbentlere alternatif olabilecek yüksek giderim verimine sahip kitosan malzemesi kullanılmıştır. Acid Blue 29(AB 29) boyarmaddesinin kitosan üzerine adsorpsiyonunda, pH, adsorbent derişimi(X), başlangıç boyarmadde derişimi ve sıcaklık gibi ortam parametrelerinin etkisi incelenerek proses için en uygun değerler saptanmıştır. Deneysel sonuçlardan, adsorpsiyonun dengeye 15-20 dakikada ulaştığı gözlenmiştir. Bu denge sürecinde en iyi adsorpsiyon verimi pH=4, X=1.0g/L ile T=35°C değerlerinde elde edilmiştir. Adsorpsiyon denge verilerinin Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uyumluluk durumu araştırıldığında, en iyi uyumun en yüksek regresyon katsayılarının elde edildiği Langmuir modelinde gerçekleştiği gözlenmiştir. AB 29 boyarmaddesinin kitosana adsorpsiyonunun kinetik analizi amacıyla deneysel verilere yalancı birinci ve ikinci derece kinetik model uygulanmış, tüm korelasyon katsayılarının 0.99'dan büyük olması, deneysel ve teorik değerlerin birbirine çok yakın çıkmasından dolayı adsorpsiyon kinetiğinin ikinci derece kinetik modele oldukça iyi uyum sağladığı belirlenmiştir. Sistem termodinamik açıdan analiz edildiğinde ise, adsorpsiyonda elde edilen negative ΔG° değerleri adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini, adsorpsiyonun gerçekleşmesi için bir enerji engelini olmadığını göstermiştir. Yapılan çalışma sonucunda boyarmadde gideriminde kitosanın diğer adsorbentlere alternatif bir adsorbent olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler:Kitosan, Adsorpsiyon, İzoterm, Kinetik, Acid Blue 29.

COLOR REMOVAL BY ADSORPTION PROCESSES OF TEXTILE INDUSTRY WASTEWATER CONTAINING ACIDIC DYES

ABSTRACT

In this study, chitosan material as an alternative adsorbent to the commonly used materials with high removal efficiency were used for the removal of dye from wastewater. In the adsorption of Acid Blue 29(AB 29) dye onto chitosan, the adsorption parameters such as pH, adsorbent concentration, initial dye concentration and temperature were investigated and the optimum conditions for the adsorption process were determined. From the experimental results, it was observed that adsorption reached to the equilibrium in 15-20 minutes. The highest removal yield in the equilibrium process was obtained at pH=4, X=1.0 g/L (adsorbent concentration) values and T=35 °C. When the fitting of the adsorption data to Langmuir and Freundlich isotherm models were investigated, the best fitting was observed to Langmuir model with the highest regression coefficients.

For the analysis of adsorption kinetics of AB 29 dye onto chitosan, pseudo-first order and pseudo-second order kinetic models were applied to the experimental data. Because of the all correlation coefficients were greater than 0.99 and the experimental and theoretical values very close to each other, the pseudo second-order kinetic model was determined as the best kinetic model. When the system was thermodynamically analyzed, the negative ΔG° values obtained for the adsorption process showed that there was no an energy barrier for this system. As a result of this study on dye removal, adsorbent chitosan can be considered as an alternative material to the other adsorbents.

Keywords:Chitosan, Adsorption, Isotherm, Kinetic, Acid Blue 29.

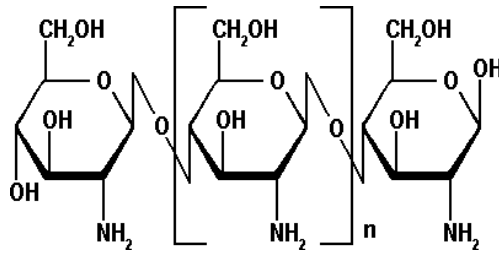
1. GİRİŞ

Teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte endüstriyel faaliyetlerin de hızlı bir şekilde artış göstermesi ürün yelpazesinin hızla genişlemesine, yeni sentezlenmiş ve kompleks yapıdaki maddelerin çeşitliliğinin artmasına neden olmuştur. Özellikle endüstriyel nitelikli atıksuların miktarlarındaki artış ve yapısındaki karmaşıklık alıcı su ortamlarında çözümü imkansız olan istenmeyen durumlar ortaya çıkarmaktadır. Tekstil endüstrisi atıksuları boyarmaddeler ve ağartıcılar gibi biyolojik ya da kimyasal olarak kolay arıtilamayan, önemli oranda zararlı madde içeren pekçok bileşiği birarada içermektedir (Perez et al. 2002; Eren et al. 2004). Tekstil endüstrisi atıksularının içeriğinde bulunan boyarmaddeler alıcı ortamlardaki ışık geçirgenliğini azaltıp bu ortamlardaki bitkilerin fotosentez hızlarını ve dolayısıyla doğal yoldan oksijen üretimini düşürürler (Eren et al. 2004; Mishra andTripathy, 1993). Düşük konsantrasyona sahip boyarmaddeler bile sucul hayatı ve besin zincirini olumsuz yönde etkilemektedir. Boya moleküllerinin içeriğindeki organik özellikteki yapılar ve boyarmaddenin kararlılığı, sıklıkla kullanılan fizikokimyasal ve biyolojik arıtım metotlarının etkisiz kalmasına neden olmuştur. Adsorpsiyon prosesi atıksulardan renk gideriminde kullanılan etkili yöntemlerden bir tanesi olup, tam bir boyarmadde giderimi sağlamada diğer metotlardan daha avantajlıdır (Eren et al. 2004; Mishra andTripathy 1993). Son yıllarda yapılan çalışmalar gözden geçirildiğinde, farklı ve alternatif adsorbent maddeler kullanılarak atıksulardan renk ve farklı özelliklere sahip çeşitli organik kirleticilerin giderildiği göze çarpmaktadır.

Bu çalışmada, bir deniz ürünü atığı olan kitosanın sulu çözeltilerden Acid Blue 29(AB 29) boyarmaddesinin gideriminde adsorbent olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda AB 29 boyarmaddesinin seçilmesinin nedeni Türk tekstil endüstrisinde özellikle yün, ipek, poliamit (nylon), akrilik elyaf ve deri boyanmasında sıklıkla kullanılan bir boyarmadde olmasıdır. Yapılan deneysel çalışmalarda boyarmadde gideriminde başlangıç boyarmadde konsantrasyonu, sıcaklık, pH ve adsorbent miktarı gibi ortam parametrelerinin adsorpsiyona etkisi kesikli sistemde incelenmiştir.

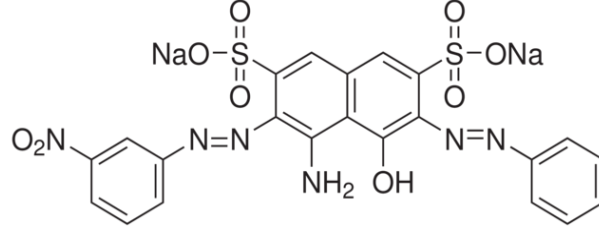
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneylerde adsorbent olarak kullanılmak üzere düşük molekül ağırlıklı (MW=340) kitosan Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. Kitosan, deneylerde kullanılmadan önce elek analizine tabi tutulmuş, boyut aralığı 300 μm ve altı olarak belirlenmiştir. Kitosanın kimyasal yapısı, poli-[[β -(1,4)-2-amino-2-deoksi- β -D-glukopiranoz] sekinde olup açık formülü Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Adsorbent olarak kullanılan kitosanın açık formülü

Deney setlerinde kullanılan stok boyarmadde çözeltisi, 1g/L olacak şekilde Sigma Aldrich firmasından temin edilen AB 29 boyarmaddesinden hazırlanmış, farklı başlangıç derişimlerine sahip boyarmadde çözeltileri, stok çözeltilerden belirlenen oranda seyreltmeler yapılarak hazırlanmıştır. Çalışmalarda kullanılan AB 29 boyarmaddesinin kimyasal yapısı $C_{22}H_{14}N_6Na_2O_9S_2$ şeklinde olup açık formülü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan AB 29 boyarmaddesinin açık formülü

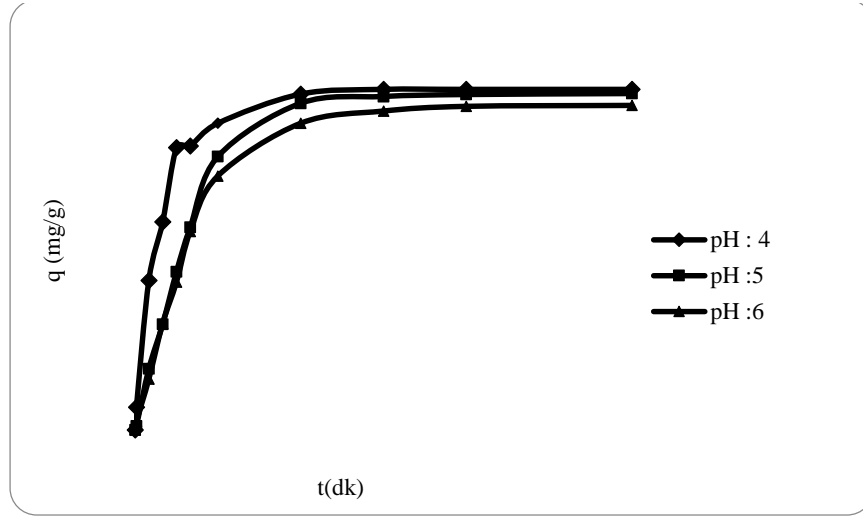
Kesikli sistemde adsorpsiyon çalışmalarının yürütülmesinde sabit sıcaklık ve çalkalama hızında çalışan bir çalkalayıcı ve 150 mL çalışma hacimli 250 mL’lik erlenler kullanılmıştır. Her bir deney başlangıcında istenilen derişimde AB 29 ve kitosan hazırlanarak; başlangıç pH’sı derişik ve seyreltik H₂SO₄ ve NaOH ile istenilen değere ayarlanmıştır. Sonrasında, t=0 anında tartılan adsorbent, boya içeren erlenlere eklenerek 4000 rpm hızda çalışan çalkalayıcıda çalkalanmıştır. Deney sırasında belirlenen zaman aralıklarında alınan örnekler santrifüjlenerek katı kısım sıvı kısımdan tamamen ayrılmış; sıvı fazda adsorplanmadan kalan boyarmadde derişimi yapılan dalga boyu taraması sonucunda optimum olarak bulunan 663 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak tayin edilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Adsorpsiyon İçin Optimum Ortam Koşullarının Belirlenmesi

AB 29 boyarmaddesinin kitosana adsorpsiyonunda başlangıç pH’sının etkisinin incelenmesi amacıyla pH 2-6 aralığında bir seri deney yapılmış dengede birim adsorbent kütlelerinde adsorplanan boyarmaddelerin miktarlarının değışimi Şekil 3’de verilmiştir. Çalışılan pH aralığının 2-6 olarak seçilmesinin nedeni, tekstil endüstrisinde asidik boyarmaddelerin boyama işlemi sırasında düşük pH’larda kullanılması (Önalın F, 2013), dolayısıyla atıksuyun alıcı ortama verildiği pH değerinde arıtma işleminin gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceğinin incelenmesidir. Şekilden 3’den görüldüğü gibi en yüksek giderimler başlangıç pH’sının 4.0 olduğu durumda elde edilirken, daha düşük pH’larda dengede birim adsorbent kütlelerinde adsorplanan miktarlarda azalma gözlenmiştir. Yine aynı şekilden boyarmaddenin kitosan üzerine adsorpsiyonunun ilk 15-20 dakika içinde gerçekleştiği ve dengeye ulaşmaya başladığı saptanmıştır.

AB 29 boyarmaddesinin adsorpsiyonu üzerine adsorbent derişimi etkisi adsorbent derişimlerinin 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 g ve 4.0 g/L değerlerinde değıştirilmesi ile incelendiğinde birim adsorbent kütlelerinde giderilen AB 29 miktarı 1 g/L adsorbent derişiminde 102.94 mg/g dan, 4 g/L adsorbent derişiminde 25.66 mg/g’ a azalmıştır. Sıcaklık ve başlangıç boyarmadde derişiminin AB 29 boyarmaddesinin adsorpsiyonu üzerine etkisi ise sırasıyla 25-45 °C ve 25-200 mg/L aralığında incelenmiş, elde edilen boyarmadde giderim miktarları ve giderim yüzdeleri Çizelge 1’de sunulmuştur. Çizelge 1’ e göre dengede adsorplanan madde miktarı ve giderim yüzdeleri 35 °C’de en yüksek değerine ulaşmıştır.



Şekil 3. Acid Blue 29 boyarmaddesinin kitosana adsorpsiyonunda, farklı pH değerlerinde, birim adsorbent kütlelerinde adsorplanan boyarmadde miktarının zamanla değişimi (X: 1 g/L; C₀: 100 mg/L; T: 25 °C)

Çizelge 1. Acid Blue 29 boyarmaddesinin kitosana adsorpsiyonunda farklı sıcaklık ve farklı başlangıç boyarmadde derişimlerinde elde edilen birim adsorbent kütle başına adsorplanan boyarmadde miktarları ve % giderim değerleri

25 °C			35 °C			45 °C		
Co(mg/L)	q _d (mg/g)	% giderim	Co(mg/L)	q _d (mg/g)	% giderim	Co(mg/L)	q _d (mg/g)	% giderim
23.23	21.47	92.42	23.82	23.23	97.52	26.17	24.7	94.38
49.7	45.88	92.31	48.53	47.64	98.16	51.47	49.11	95.41
76.17	71.47	93.83	78.53	77.06	98.12	77.35	71.47	92.39
103.23	101.47	98.29	105.29	103.82	98.60	103.82	96.76	93.19
135.29	127.05	93.90	142.64	138.82	97.32	137.64	119.11	86.53
159.11	150.88	94.82	157.64	150.29	95.33	159.41	142.06	89.11

3.2. İzoterm Modellerinin Uygulanması ve Model Sabitlerinin Bulunması

Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Modeli: AB 29 boyarmaddesinin kitosana adsorpsiyonunda dengede birim adsorbent kütlelerinde adsorplanan boyarmadde miktarıyla (q_d) çözeltide adsorplanmadan kalan boyarmadde miktarı (C_d) arasındaki ilişkiyi tanımlamak amacıyla Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri kullanılmıştır. Farklı sıcaklıklarda elde edilen deneysel q_d ve C_d değerleri kullanılarak her bir modele ait izoterm sabitleri regresyon katsayıları ile birlikte bulunmuştur. (Önalın F, 2012).

Adsorpsiyonun tek tabaka halinde gerçekleştiği varsayımına dayanan Langmuir Modeli eşitliği:

$$q_d = \frac{Q_m b C_d}{1 + b C_d} \quad (1)$$

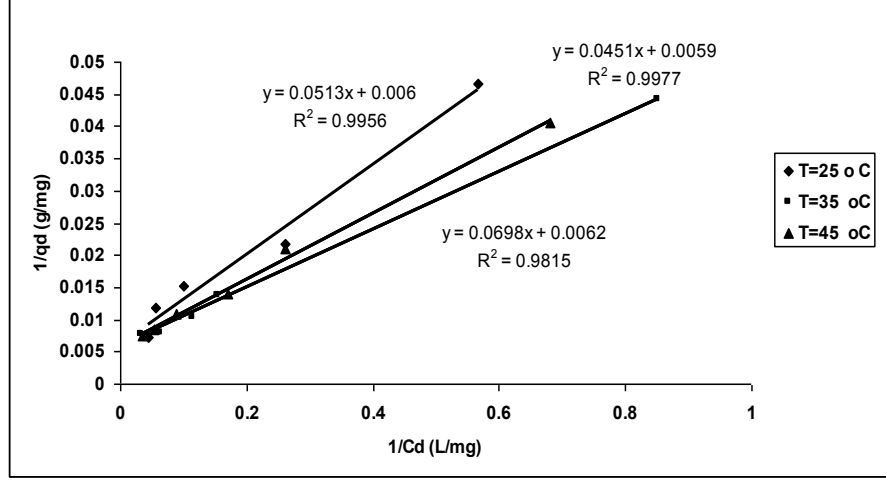
q_d= Dengede adsorbent birim kütle başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)

Q_m: Dengede adsorbent birim kütle başına maksimum adsorplanan madde miktarı (mg/g)

b: Adsorpsiyon denge sabiti (L/mg)

C_d= Dengede çözeltide adsorplanmadan kalan çözelti derişimi (mg/L)

AB 29 boyarmaddesinin kitosana adsorpsiyonunda pH4.0' te farklı sıcaklıklarda elde edilmiş Langmuir adsorpsiyon izoterm grafiği Şekil 4'de, farklı sıcaklıklarda elde edilen model sabitleri ve korelasyon katsayıları ise Çizelge 2'de sunulmuştur.



Şekil 4. Acid Blue 29 boyarmaddesinin kitosana adsorpsiyonunda doğrusal Langmuir izotermi (X: 1 g/L, pH: 4.0)

Çizelge 2. Acid Blue 29 boyarmaddesinin kitosana adsorpsiyonunda kullanılan Langmuir izoterm modeline ait sabitler

T °C	Q _m (mg/g)	b(L/mg)	R ²
25	161.30	0.08	0.982
35	169.50	0.13	0.997
45	166.50	0.11	0.995

Freundlich Adsorpsiyon İzoterm Modeli: Heterojen yüzeylerin adsorpsiyonu için tanımlanan Freundlich izoterm modeline ait eşitlik ise aşağıda verilmiştir (Önalın F, 2012):

$$q_d = K_F C_d^{1/n} \quad (2)$$

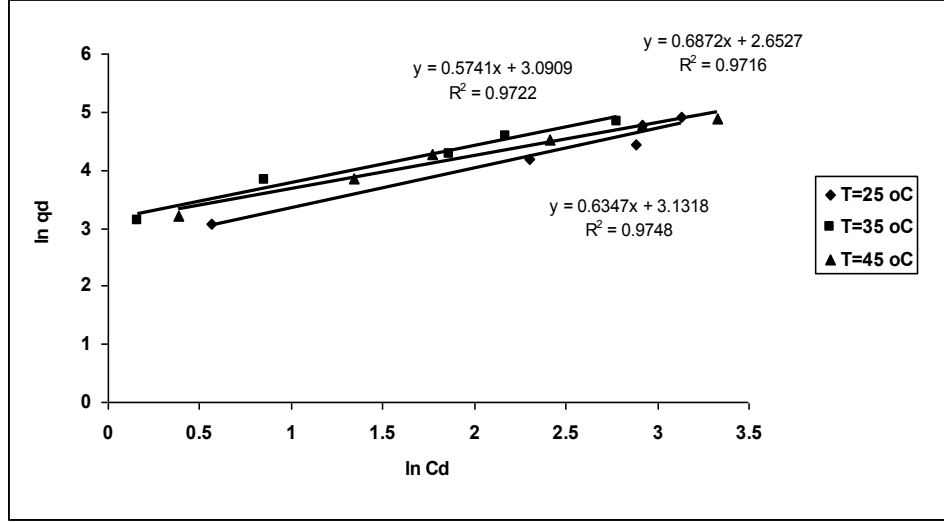
q_d= Dengede adsorbentin birim kütlesi başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)

K_F: Adsorpsiyon kapasitesi (L/mg)

C_d= Dengede çözeltide adsorplanmadan kalan çözelti derişimi (mg/L)

1/n: Adsorpsiyon şiddetinin ölçüsü

AB 29 boyarmaddesinin kitosan üzerine adsorpsiyonunda pH 4 değerinde, farklı sıcaklıklarda elde edilmiş Freundlich izoterm grafiği Şekil 5, farklı sıcaklıklarda elde edilen model sabitleri ve korelasyon katsayıları ise Çizelge 3' de sunulmuştur.



Şekil 5. Acid Blue 29 boyarmaddesinin kitosanaadsorpsiyonunda doğrusal Freundlich izotermi (X: 1 g/L, pH: 4.0)

Çizelge 3. Acid Blue 29 boyarmaddesinin kitosanaadsorpsiyonunda kullanılan Freundlich izoterm modeline ait sabitler

T °C	$K_F(L/mg)$	N	R^2
25	14.18	1.47	0.972
35	22.92	1.58	0.975
45	21.97	1.75	0.972

Çizelge2 ve 3' den görülebileceği gibi gerçekleştirilen adsorpsiyon çalışmalarında denge verileri her iki adsorpsiyon modeline uyum sağlamakla birlikte, en iyi uyumun en yüksek regresyon katsayılarının elde edildiği Langmuir izoterm modelinde gerçekleştiği gözlenmiştir.

3.3. Adsorpsiyona Ait Kinetik Parametrelerin Belirlenmesi

AB 29 boyarmaddesinin kitosan üzerine adsorpsiyonunun kinetik analizi amacıyla kullanılan birinci derece kinetik model eşitliği aşağıda verilmiştir (Önalın F, 2013).

$$dq / dt = k_1.(q_d - q) \quad (3)$$

Sınır koşulları uygulanıp Eşitlik 3 integre edilirse;

$$q = q_d(1 - \exp(-kt)) \quad (4)$$

AB 29 boyarmaddesinin kitosana adsorpsiyonunun kinetik analizinde kullanılan ikinci derece kinetik model eşitliği ise aşağıda sunulmuştur.

$$dq / dt = k_2.(q_d - q)^2 \quad (5)$$

Sınır koşulları uygulanıp Eşitlik 5 integre edilirse;

$$t/q = 1/(k_2 . q_d^2) + (1/q_d).t \quad (6)$$

İfadesi elde edilir. Bu kinetik modelin uygulanabilmesi için t/q' ya karşı $1/q$ grafiğe geçirilmiştir. Elde edilen doğrunun eğiminden q_d ve y eksenini kesim noktasından k_2 sabitleri bulunmuştur.

k_1 : Lagergren adsorpsiyon hız sabiti (dk^{-1})

k_2 : Yalancı ikinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti ($g/mg.dk$)

q_d : Denge meydana geldiği zaman adsorbe edilen madde miktarı (mg/g)

q : Herhangi bir zamandaki adsorbe edilmiş olan madde miktarı (mg/g)

AB 29 boyarmaddesinin kitosana adsorpsiyonunun kinetik analizinde deneysel verilere Yalancı-birinci derece ve Yalancı-ikinci derece kinetik model eşitlikleri uygulanmış, çalışılan tüm parametrelerde modele ait eşitlik için elde edilen korelasyon katsayılarının oldukça düşük çıkması, yüksek regresyon değerleri bulunmasına karşın, deneysel ve hesaplanan q_d değerleri arasındaki uyumsuzluk deneysel verilerin yalancı-birinci derece kinetik modele uymadığını göstermiştir. Yalancı ikinci derece kinetik modelinin deneysel verilere uygulanması sonucunda ise tüm korelasyon katsayılarının 0.99' dan büyük olması, deneysel ve teorik q_d değerlerinin birbirine çok yakın bulunmasından dolayı adsorpsiyon kinetiğinin Yalancı ikinci dereceden kinetik modele uyumlu olduğunu ispatlamıştır.

Adsorpsiyon verilerinin yalancı-ikinci derece kinetik modele uygunluğunun araştırılması amacıyla t' ye karşı t/q_t değerleri grafiğe geçirilip, çalışılan bütün derişim ve sıcaklıklarda bulunan yalancı ikinci derece hız sabitleri ve hesaplanan denge değerleri korelasyon katsayılarıyla beraber Çizelge 4' de verilmiştir. Çizelgeden başlangıç boyarmadde derişiminin artmasıyla $k_{2,ad}$ değerlerinin azaldığı, q_{den} değerlerinin ise derişimle arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4. Acid Blue 29 boyarmaddesinin kitosana adsorpsiyonunda farklı AB 29 derişimlerinde elde edilen yalancı ikinci derece kinetik model sabitleri

Co (mg/L)	$q_{d,den}(mg/g)$	$k_{2,ad}(g/mg.dk)$	$q_{d,teo}(mg/g)$	R^2
25	22.94	0.006	23.04	0.992
50	48.53	0.0051	51.02	0.999
75	71.47	0.00298	78.74	0.999
100	97.06	0.0016	108.70	0.996
125	127.06	0.00195	138.81	0.999
150	150.88	0.001	166.66	0.997
175	173.24	0.00063	192.30	0.998
200	198.23	0.00045	222.22	0.995

3.4. Termodinamik Parametrelerin Belirlenmesi

Adsorpsiyon prosesi sırasında oluşan Gibbs serbest enerjisi (ΔG^o), entalpi (ΔH^o) ve entropi (ΔS) değişimi gibi termodinamik parametreler sıcaklıkla değişen denge sabitleri kullanılarak belirlenmiştir. Gibbs serbest enerji değişimi denge sabitine bağlı olarak aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Önalın F, 2013).

$$\Delta G^o = -RT \ln K_c \quad (7)$$

K_c : Adsorpsiyon denge sabiti

R : Evrensel gaz sabiti (8.314 J/mol)

T : Mutlak sıcaklık (K)

Gibbs serbest enerji değişimi ile adsorpsiyonun entalpi değişimi arasındaki ilişkiyi veren ifade (Önalın F, 2013):

$$\Delta G^o = \Delta H^o - T\Delta S \quad (8)$$

AB 29 boyarmaddesinin adsorpsiyonunda $1/T$ 'ye karşı $\ln K_c$ grafiğinden elde edilen doğruların eğiminden entalpi değişimi (ΔH°) ve kaymasından entropi değişimi (ΔS°) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan termodinamik parametrelerin değerleri Çizelge 5' de verilmiştir. Elde edilen negatif ΔG° değerleri adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini, adsorpsiyonun gerçekleşmesi için bir enerji engelini olmadığını göstermektedir (Önalın F, 2013).

Çizelge 5. AB 29 boyarmaddesinin kitosana adsorpsiyonunda hesaplanan termodinamik parametreler

T (°C)	K _c	TΔS	ΔG°(kJ/mol)	ΔH°(kJ/mol)
25	4.75	67.16	-3.86	63.44
30	6.1	68.29	-4.55	63.44
35	10.93	-52.6	-6.12	-58.88
40	8.57	-53.46	-5.59	-58.88
45	5.3	-54.31	-4.38	-58.88

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

AB 29 boyarmaddesinin kitosana adsorpsiyonunda en yüksek boyarmadde gideriminin pH 4 değerinde gerçekleştiği gözlenmiştir. Sıcaklık ve başlangıç boyarmadde derişiminin AB 29 boyarmaddesinin adsorpsiyonu üzerine etkisinin incelenmesi sonucunda ise 35 °C, 100 mg/L başlangıç boyarmadde derişimi optimum değerler olarak belirlenmiştir. Adsorpsiyon için optimum adsorbent derişimi 1 g/L olarak elde edilmiş, boyarmaddenin kitosan üzerine adsorpsiyonunun ilk 15-20 dakika içinde gerçekleştiği ve dengeye ulaşmaya başladığı saptanmıştır. Adsorpsiyon denge verilerinin Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uyumluluk durumu araştırıldığında, en iyi uyumun en yüksek regresyon katsayılarının elde edildiği Langmuir modelinde gerçekleştiği gözlenmiştir. Adsorpsiyonun kinetik analizi amacıyla deneysel verilere yalancı birinci ve ikinci derece kinetik model uygulanmış, tüm korelasyon katsayılarının 0.99' dan büyük olması, deneysel ve teorik değerlerin birbirine çok yakın çıkmasından dolayı adsorpsiyon kinetiğinin ikinci derece kinetik modele oldukça iyi uyum sağladığı belirlenmiştir. Sistemin termodinamik analizi yapıldığında ise, adsorpsiyonda elde edilen negatif ΔG° değerleri adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini göstermiştir.

2004 yılında Wong ve arkadaşları, benzer bir çalışma yaparak kitosanın sulu çözeltiden asit boyarmaddeleri adsorplama kapasitesini araştırmışlardır. Deneysel sonuçlardan, beş farklı asit boyanın (Acid Green 25, Acid Orange 10, Acid Orange 12, Acid Red 18 ve Acid Red 73) kitosan üzerine adsorpsiyonunda denge izoterm modelleri oluşturulmuştur. Acid Green 25, Acid Red 18, Acid Red 73, Acid Orange 12 boyarmaddeleri için adsorpsiyon dengesinin Langmuir modeli ile Acid Orange 10 boyarmaddesi için ise Freundlich izoterm modeli ile ifade edilebileceği belirtilmiştir (Wong et al. 2004). 2004 yılında Prado ve arkadaşları da benzer şekilde sulu çözeltiden İndigo Carmine boyarmaddesinin kitin ve kitosan üzerine adsorpsiyonu ile giderimini incelemişlerdir. Araştırmacılar, deneysel denge verilerine modifiye Langmuir izoterm modelini uygulamıştır. Kitosan ile adsorpsiyon prosesinde Gibbs serbest enerjisinin değerini negatif olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlardan 298.15 °K sıcaklıkta kitosan adsorpsiyonunun bu makalede sunulan çalışmaya benzer şekilde kendiliğinden gerçekleştiği tespit edilmiştir (Prado et al. 2004).

Yapılan bu çalışmayla, tekstil endüstrisi atıksularında sıklıkla karşılaşılan AB 29 boyarmaddesinin bir deniz ürünü atığı olan kitosan adsorbentine adsorpsiyonunun başarıyla gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Tekstil atıksularından boyarmadde ve buna bağlı olarak rengin giderilmesinde adsorpsiyon prosesi son yıllarda üzerinde sıkça çalışılan bir konu haline gelmiştir. Ancak adsorbent olarak seçilen malzemelerin maliyeti ve giderim verimi araştırmacıları alternatif adsorbent arayışları içerisine itmiştir. Çalışmalarda kullanılan kitosanın boyarmaddelerin gideriminde diğer pahalı adsorbentlere göre kısmen daha ekonomik ve yüksek giderim verimini sağlayabilecek potansiyele sahip olması nedeniyle iyi bir alternatif olabileceği düşünülebilir.

TEŞEKKÜR

Bu makalede sunulan deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesinde BAP-FBE KM(FÖ)202-1 YL No'lu proje kapsamında maddi destek sağlayan Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Eren, Z.and Acar F.N. (2004). Uçucu Kül Adsorpsiyonu ile Reaktif Boya Giderimi, *Mühendislik Bilimleri Dergisi* 10: 253-258.
- Mishra, G. And Tripathy M. (1993). A Critical Review of The Treatment For Decolorization of Dye Wastewater. *Biotechnol. Adv.* 9: 613-622.
- Önalın, F (2013). Çeşitli Boyarmaddelerin Kitosana Adsorpsiyonunun Kesikli Sistemde Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin, Türkiye: Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Perez M., Torrades F., Domenech X. And Peral J. (2002). Fenton and Photo-Fenton Oxidation of Textile Effluents, *Water Research* 36: 2703-2710.
- Prado A.G.S., Torres J.D., Faria E.A. and Dias S.C.L. (2004). Comparative Adsorption Studies Of İndigo Carmine Dye on Chitin And Chitosan, *Journal of Colloid and Interface Science* 277: 43-47.
- Wong Y.C., Szeto Y.S., Cheung W.H. and McKay G. (2004). Adsorption Of Acid Dyes On Chitosan-Equilibrium Isotherm Analyses, *Process Biochemistry* 39: 693-702.

