

Karışık Ürolitik Kültür ile Antrakinin Boyanın Kesikli Sistemde Biyosorpsiyonu, İzoterm ve Kinetik Çalışmaları

Hasan KOÇYİĞİT^{*1}, Esra MANAV¹

¹Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray

(Alınış / Received: 15.03.2018, Kabul / Accepted: 01.06.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 06.07.2018)

Anahtar Kelimeler

Antrakinin boya,
Karışık ürolitik kültür,
Biyosorpsiyon,
İzoterm

Özet: Bu çalışmada tekstil endüstri atıksularında yaygın olarak bulunan antrakinin yapısındaki bir reaktif boyar maddenin, Ürolitik Karışık Mikroorganizma Kültürünün (ÜKMK) kuru biyokütlesi kullanılarak biyosorpsiyon yöntemiyle giderimi ve optimum koşullarının araştırılması incelenmiştir. Ürolitik Karışık Mikroorganizma Kültürü sürekli karışım ve havalandırma sağlanan, zenginleştirilmiş içerikli bir ortamda yetiştirilmiştir. Başlangıç boyarmadde konsantrasyonu, biyokütle miktarı, sıcaklık, pH ve temas süresinin renk giderim verimine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan optimum koşullar 150 mg/L başlangıç boyar madde konsantrasyonunda, 0,2 g/L biyokütle ilavesiyle 150 rpm çalkalama hızı, 50 °C sıcaklık, pH 2 ve 20 dakikalık temas süresi olarak belirlenmiştir. Optimum koşullarda; giderim kapasitesi (q_e), 620 mg/g; giderim verimi de %82,67 olarak hesaplanmıştır. Antrakinin boyarmaddesinin ürolitik mikroorganizma kültürü biyokütlesi ile biyosorpsiyon kinetiğinin, ikinci dereceden adsorpsiyon kinetiğine ve Freundlich İzotermine uygunluk gösterdiği görülmüştür.

Biosorption of Anthraquinone Dye by Ureolytic Mixed Culture in a Batch System, Isotherms and Kinetics Studies

Keywords

Anthraquinone dye,
Ureolytic mixed culture,
Biosorption,
Isotherms

Abstract: In this study, the removal of reactive anthraquinone dyestuff which extensively used in textile industry, was investigated by dried mass of ureolytic mixed culture (UMC) as biosorbents and optimum adsorption conditions of dye stuff were tested. UMC was grown in a nutrient enriched medium with aerated agitation. The effects of operational parameters such as initial dye concentration, biosorbent-dosage, temperature, pH and contact time were examined on the efficiency of dye removal. The highest dye removal efficiency was found at the pH 2, initial dye concentration 150 mg /L, temperature 50 °C, and contact time 20 minute. The capacity of removal (q_e), and rate of adsorption were calculated as 620 mg/g; %82,67 respectively at optimal conditions. It was observed that the experimental adsorption features of anthraquinone dyestuff by ureolytic mixed culture were well fitted with the second-order adsorption kinetics and Freundlich isotherm.

1. Giriş

Modern toplumlarda artan tüketim ile birlikte, teknolojik gelişmelere bağlı olarak sentetik organik bileşenler hızla artmakta ve kullanım sonrasında doğaya bırakılmaktadır. Tekstil endüstrisi de çok miktarda su ve sentetik organik bazlı kimyasal kullanan endüstrilerin başında gelmektedir [1]. Günümüzde sentetik boyar maddeler, tekstil endüstrisinde çok yaygın olarak kullanılmakta olup bu endüstrilerin en önemli sorunlarından biri atıksularındaki renk olduğu bilinmektedir. Tekstil

endüstrisinden kaynaklanan KOİ, BOİ, pH, AKM vb. kirleticilerin uzaklaştırılmasının yanında renk arıtımının yapılması zorunluluğu teknolojik gelişmelere bağlı olarak ortaya çıkmıştır. Tekstil endüstrisindeki renkli çıkış suyu yoğunlukla boyama, baskı ve yıkama işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Renk derecesi ise kullanılan boyar maddenin yapısına ve boyar madde konsantrasyonuna bağlı olarak çok farklı değişiklikler göstermektedir [2]. Boyar maddeler sudaki çok düşük konsantrasyonlarda (1 ppm'den az) bile gözle görülebilmekte ve alıcı ortamlarda estetik görüntüyü bozmakta, suyun ışık

geçirgenliğini ve gazların çözünürlüklerini etkiledikleri de belirlenmiştir [3, 4, 5].

Atıksulardan boyar madde giderimi için çok farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım prosesleri kullanılabilir [6, 7]. Son yıllarda boyar maddeli atıksuları arıtmak için biyolojik sistemlere doğru hızlı bir eğilim görülmektedir. Biyolojik teknikler, bakteri ve mantar biyosorpsiyonu, aerobik, anaerobik, anoksik ve anaerobik/aerobik parçalanma mekanizmalarını içermektedir [8, 9, 10].

Kirletici maddelerin mikrobiyal biokütle tarafından adsorpsiyonu veya biokütlede birikimi biyosorpsiyon olarak ifade edilmektedir. Ölü bakteriler, maya ve mantarlar boyar madde atıksularından renk giderilmesinde kullanılmaktadır. Boyar madde içeren atıksular çok toksik olduğu durumlarda biyosorpsiyon avantajlı olmaktadır [7].

Ürolitik mikroorganizmalar; üreaz enzimi ile üreyi hidrolize eden bakteri grubudur. Evsel atıksularda ve çeşitli endüstrilerin çıkış suyunda bulunmaktadır. Üreaz, tabiatta oldukça yaygın bulunan bir enzimdir. Yüksek bitkiler ve hayvanlara ilaveten birçok bakteri ve küf neveleri de bu enzime sahiptirler [11].

Araştırmacılar; ürenin bakteri üreazı yardımı ile amonyak ve karbondioksite ayrıldığını ve bu amonyakın bakteriyel proteinlerin yapılmasında azot ihtiyacını karşıladığını göstermişlerdir. Birçok aerobik bakteri türü, aerobik koşullarda üreyi parçalama yeteneğine sahiptir; örneğin *Proteus*; *Morganella*; *Serratia*; *Pseudomonas*; *Clostridium*; *Fusobacterium*; *Ureaplasma*; *Providencia*; *Sarcina* vb. [12]’ e göre, mecburi anaerob bakterilerden sadece *Neisseria vulvovaginitis*, *Catenabacterium cantortum*, *Cillobacterium sylvestrus* ve *Clostridium sordelli* olmak üzere dört çeşit ürolitiktir.

Reaktif Red 198 boyar maddesinin *Trametes versicolor* ATCC 200801’in kuru biyokütlesi ile biyosorpsiyonu için yapılan çalışma sonucunda optimum koşullar; pH 2, biyokütle miktarı 0,4 g, başlangıç boyar madde konsantrasyonu 75 mg/L, temas süresi 20 dk, çalkalama hızı 100 rpm ve sıcaklık 35 °C olarak belirlenmiştir. Optimum koşullarda en yüksek giderim verimi %92,57 elde edilmiştir [13].

Reaktif boyaların (RB2, RY2) kuru aktif çamur üzerinde biyosorpsiyonu için yapılan çalışmada, biyosorbentın boya bağlama kapasitesi, başlangıç pH’ı, başlangıç boya konsantrasyonu ve boyanın tipinin bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir. Denge verileri Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon modellerinin her ikisine de uygunluk sağladığı ve her iki boyanın da adsorpsiyon süreçlerinin ikinci dereceden reaksiyon kinetiğine uygun olduğunu göstermiştir [14].

Reaktif Mavi 19 ile yapılan biyosorpsiyon çalışmasında boyar maddelerin mayalar tarafından yüksek miktarlarda adsorplandığı görülmüştür. RM 19 boyasının, *Candida Quilliermendi* tarafından 100 mg/L’lik çözeltide 102 mg/g, 300 mg/l’lik çözeltide ise 152 mg/g olduğunu bulmuşlardır. *Candida utilis* mayasının kullanılması ile de 100 mg/L’lik çözeltide 90 mg/g, 300 mg/L’lik çözeltide ise 113 mg/g olduğunu bulmuşlardır [15]. Çeşitli adsorbentlerle, farklı boyar maddelerinin giderim değerlerinin karşılaştırılması Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Adsorpsiyon ile boyar madde giderim verimlerinin karşılaştırılması

Adsorbent	q _e (mg/g)	Boyar madde	Kaynak
Chitosan hydrogel	1559,7	RS 5	[22]
Bengal Gram Tohum Kabuğu	41,66	Congo kırmızısı	[23]
Indian Jujube Seed	55,56	Congo kırmızısı	[24]
Chitosan powder (CP)	654,3	RS 5	[25]
Chitosan films (CF)	589,5	RS 5	[25]
Chitosan-pentamine Modified chitosan	614,5	RS 5	[26]
Kenaf core fiber	773,1	RS 5	[26]
Kenaf core fiber	303,03	Asit mavi-25	[27]
Kenaf core fiber	344,83	Asit yeşil-25	[27]
Badem kabuğu	131,58	Metilen mavisi	[28]
Kahve kalıntısı	198,98	Reaktif mavi	[29]
Metal hidroksit çamuru	600	DM 85	[30]
Pomelo peel	16,3	RM 114	[31]
ÜKMK	620	RM 19	Bu Çalışma

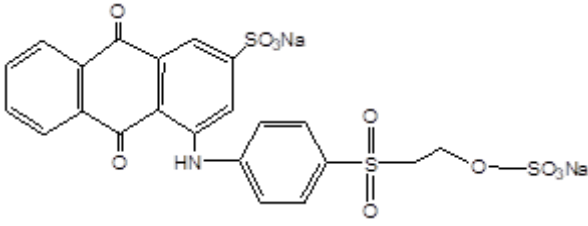
Bu çalışmada; *Ürolitik Karışık Mikroorganizma Kültürü* ile antrakinon yapıdaki Reaktif Mavi 19 (Remazol Brilliant Blue / RM 19) boyar maddesinin biyosorpsiyonunda; başlangıç boyar madde konsantrasyonu, biyosorbent miktarı, pH, sıcaklık ve temas süresinin etkisi araştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda, en iyi biyosorpsiyon verimini sağlayan optimum koşullar belirlenmiş ve deneysel veriler kullanılarak izoterm ve kinetik çalışmaları yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan antrakinon boyar madde (RM 19)

Ticari ismi Remazol Brilliant Blue R olarak adlandırılan antrakinon yapıdaki Reaktif Mavi 19 boyar maddenin, yarılanma ömrü pH 7’de ve 25 °C’da yaklaşık 46 yıldır [16]. Parlak renk sağlaması ve kumaşa etkin bir şekilde uygulanabildiği için tekstil endüstrisinde tercih edilmektedir. Kimyasal yapısı

Şekil 1.'de verilen RM 19' un molekül formülü $C_{22}H_{15}NNa_2O_{11}S_3$ ve molekül ağırlığı 611.53 gr' dır.

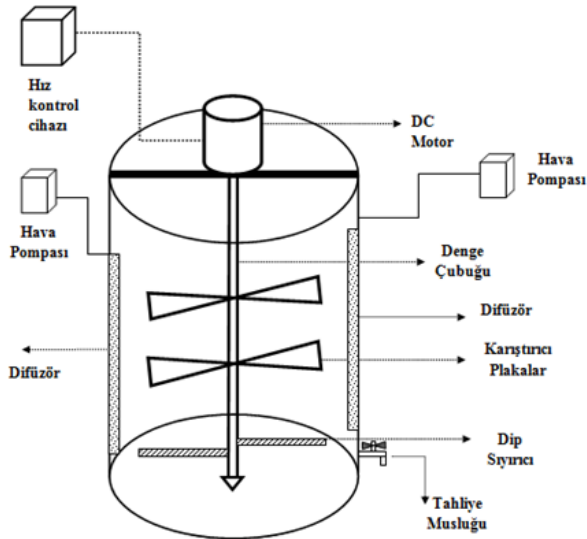


Şekil 1. Reaktif Mavi 19'un kimyasal yapısı

Farklı konsantrasyonlarda boyarmadde çözeltileri ile spektrofotometre de yapılmış olan absorpsiyon spektrumu taraması sonucu maksimum absorpsiyon verdiği dalga boyu 580 nm bulunmuştur.

2.2. Karışık ürolitik kültürün hazırlanması

Ürolitik mikroorganizma kültürü aerobik şartlarda; içeriğinde üre bulunan, mineral bileşim ile zenginleştirilmiş sentetik atıksu ortamında yetiştirilmiştir. Karıştırıcı hızı; hız kontrol cihazı yardımıyla, ortam oksijen miktarı hava pompaları ile sürekli, kompresör ile belli aralıklarla hava verilerek sağlanmıştır. ÜKMK üretimi yapılan tam karışımli aerobik reaktörün şematik görünümü Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. ÜKMK üretimi yapılan tam karışımli aerobik reaktör şematik gösterimi

Ortam şartları; sıcaklık 25 °C, pH=6-7 arasında orijinal ortam pH'ı, çözülmüş oksijen konsantrasyonu 2 mg/L ve karıştırıcı hızı 40 devir/dk olarak çalışılmıştır. Karışık ürolitik kültürün yetiştirildiği sentetik atıksu besi ortamı, Tablo 2'de verilmiş ve C: N: P oranı 100:32:1 olacak şekilde hazırlanmıştır.

Büyümenin 5-6. günü sonunda, 30 dk süresince imhoff hunilerinde çöktürülerek süzülen hücreler 3750 devir hızda 2 dk santrifüjlenmiştir. Daha sonra ultra saf su ile yıkanarak, etüvde 60 °C' da 24 saat

kurutularak önce granül sonra toz haline getirilmiştir. Üretilen karışık ürolitik mikroorganizma kültürünün görsel şekil 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Sentetik atıksu bileşimi [17]

Bileşik	Derişim mg/L	KOİ mg/L	N mg/L	P mg/L	CaCO ₃ mg/L
Glikoz	940	1000			
Nişasta	60	60			
Amonyum Asetat	160	160			
Maya Özü	80	80			
NH ₄ Cl	306		80		
Üre	856	200	400		
KH ₂ PO ₄	112			15	
NaHCO ₃	600				300
C: N: P		1500	480	15	
Eser Elementler		mg/L			mg metal/L
Cr(NO ₃) ₃ .9H ₂ O		0,770			0,100
CuCl ₂ .2H ₂ O		0,536			0,200
MnSO ₄ .H ₂ O		0,108			0,035
NiSO ₄ .6H ₂ O		0,336			0,075
PbCl ₂		0,100			0,075
ZnCl ₂		0,208			0,100



Şekil 3. Biyosorpsiyon çalışmalarında kullanılmak üzere üretilen Ürolitik Mikroorganizma Kültürü (1. İmhoff hunilerine süzülen ÜKMK; 2. Santrifüj sonrası ÜKMK; 3. Etüvde kurutulmuş ÜKMK; 4. Granül; 5. Toz haline getirilmiş ÜKMK)

2.3. Deneysel prosedür

Deneysel çalışmalar iki aşama halinde gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada farklı konsantrasyonlarda boyarmadde çözeltilerine, farklı biyokütle miktarları için dört seri olacak şekilde çalışma yapılmıştır. İlk aşama sonunda elde edilen sonuçlara göre; hesaplanan q_e değerlerinden, en fazla biyosorpsiyon verimi sağlanan boyarmadde konsantrasyonu, biyokütle miktarı ve temas süresi belirlenmiştir. İkinci aşamada ise; daha önce belirlenen optimum boyarmadde konsantrasyonunda sulu çözeltilere, belirlenen miktarda biyokütle ilavesi ile uygun temas süresince, pH-sıcaklık çalışması

yapılmıştır. Buradan uygun temas süresinde en uygun pH-sıcaklık değerleri belirlenmiştir.

Çalışmanın birinci aşamasında, 30, 50, 75, 100 ve 150 mg/L farklı başlangıç boyarmadde konsantrasyonlarında ve 1000 ml toplam hacimde gerçekleştirilmiştir. 0,2, 0,5, 1,0 ve 2,0 g/L biyosorbent konsantrasyonlarında; 1, 5, 10, 20, 30, 60 ve 120 dk temas sürelerinde numuneler alınarak 20 °C sıcaklık ve 150 rpm hızda inkübatörlü çalkalayıcıda karıştırılmıştır. Alınan numuneler 5 dk boyunca 3500 rpm hızda santrifüj edilerek, spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. Buradan, elde edilen sonuçlara göre; hesaplanan q_e değerlerinden, en fazla verim sağlanan boyar madde konsantrasyonu ve biyokütle miktarı belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise önceki aşamada belirlenen boyar madde konsantrasyonunda; 5 adet 500 ml'lik boyar madde çözeltisi hazırlanmıştır. Bu çözeltiler sırasıyla; pH 2, 3, 5, 7 ve 9' a ayarlanmıştır. Birinci aşamada belirlenen miktarda biyokütle ilave edilerek, sırasıyla; T=20 °C, T=35 °C, T=50 °C sıcaklıklarda, 1.dk, 5.dk, 10.dk, 20.dk, 30.dk, 60.dk ve 120.dk temas sürelerinde numuneler alınarak çalışılmıştır. Buradan boyar madde biyosorpsiyonu için optimum pH, sıcaklık ve gerekli temas süresi belirlenmiştir. Biyosorbentin, biyosorpsiyon kapasitesi q_e ve verimi aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmıştır.

$$q_e = \frac{(C_o - C_{son}) V}{m} \quad (1)$$

$$Verim (\%) = \frac{(C_o - C_{son})}{C_o} \cdot 100 \quad (2)$$

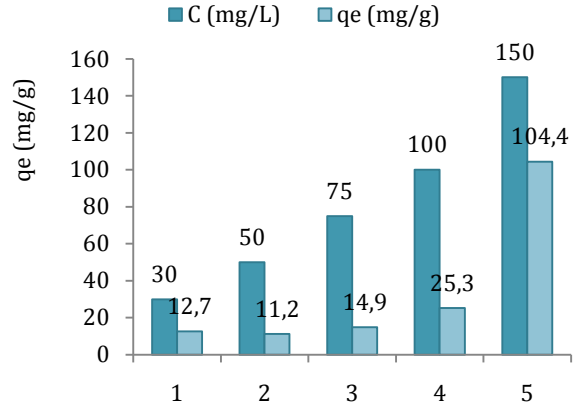
3. Bulgular

3.1. Boyarmadde konsantrasyonunun ve biyokütle miktarının etkisi

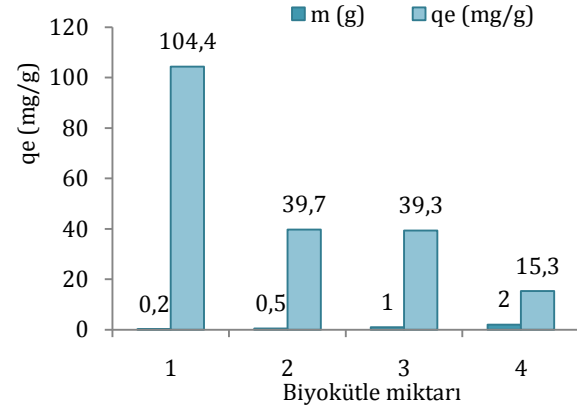
Biyosorpsiyon ile arıtımda başlangıç boyarmadde konsantrasyonunun etkisini araştırmak için biyokütle miktarı 0,2 g, temas süresi 120 dk. ve sıcaklık 20 °C'de sabit tutularak 30mg/L, 50mg/L, 75mg/L, 100mg/L, 150mg/L RM 19 konsantrasyonlarında deneysel çalışmalar yapılmış ve sonuçlar Şekil 4'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, biyokütle ağırlığı başına adsorplanan boyar madde miktarı 150 mg/L başlangıç boyar madde konsantrasyonunda en yüksek q_e (mg/g) değeri elde edilmiştir.

Karışık ürolitik kültür mikroorganizma miktarının biyosorpsiyondaki etkisini araştırmak için RM 19 konsantrasyonu 150mg/L, temas süresi 120 dk. ve sıcaklık 20 °C'de sabit tutularak 0,2 g, 0,5 g, 1,0 g, 2,0 g biyosorbent miktarlarında deneysel çalışmalar yapılmış ve sonuçlar Şekil 5'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, biyokütle ağırlığı başına adsorplanan boyar madde miktarı 0,2 g biyosorbent miktarında en yüksek 104,4 mg/g değeri elde edilmiştir.

Biyosorpsiyon sistemine eklenen fazla miktarda biyosorbent, ortam konsantrasyonunu değiştirebilmektedir. Buda giderim verimini olumsuz etkilediği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 4. Başlangıç boyarmadde konsantrasyonunun etkisi



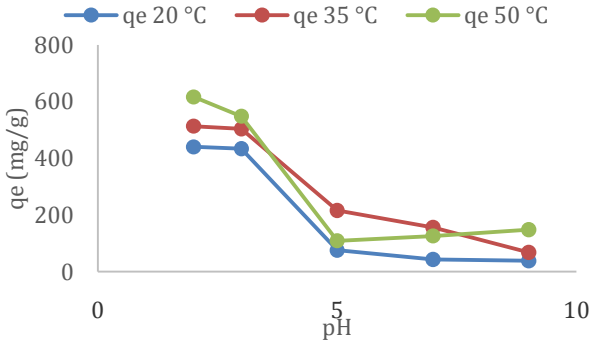
Şekil 5. Karışık ürolitik kültür mikroorganizma miktarının etkisi

3.2. pH, sıcaklık ve temas süresinin etkisi

Deneysel çalışmaların birinci aşamada belirlenen başlangıç boyarmadde derişimi ve biyokütle miktarları ile pH, sıcaklık ve temas süresinin biyosorpsiyona etkisi bu aşamada incelenmiştir.

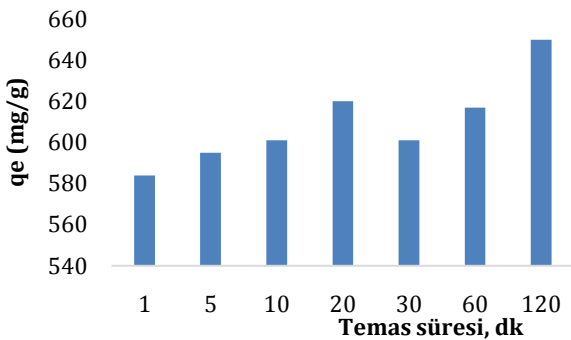
Biyosorpsiyon sistemlerinde; pH sadece biyosorpsiyon kapasitesini değil aynı zamanda boyarmadde çözeltisinin rengini ve bazı boyarmaddelerin çözünürlüğünü de etkilemektedir. Ayrıca pH'a bağlı olarak ortamın iyonik yükü ve adsorbentin yüzey yükünü etkilediğinden atıksu kirlilik yükünü de değiştirmektedir [18].

Çalışmalar, pH 2, 3, 5, 7 ve 9 için, T=20 °C, T=35 °C ve T=50 °C sıcaklıklarda, 1.dk, 5.dk, 10.dk, 20.dk, 30.dk, 60.dk ve 120.dk temas sürelerinde numuneler alınarak 150 rpm hızda inkübatörlü karıştırıcıda yürütülmüştür. Şekil 6' da pH 2-9 aralıklarında ve farklı sıcaklıklarda yapılan çalışmada en iyi q_e değerinin pH 2 yüksek sıcaklık değerlerinde alındığı görülmektedir.



Şekil 6. Sıcaklık ve pH değerinin etkisi (RM 19 konsantrasyonu 150 mg/L, biyosorbent miktarı 0,2 g, temas süresi 20 dk)

Farklı tekstil endüstrilerindeki boyarmadde içeren atıksular nispeten yüksek sıcaklıklarda olduğundan, sıcaklık, gelecekte biyokütle tarafından gerçek biyosorpsiyon uygulamalarında biyosorpsiyon kapasitesini etkileyecek önemli bir tasarım parametresi olacaktır [19, 20]. Bu nedenle yüksek sıcaklıkta da çalışmalar yürütülmüş ve biyosorpsiyonu olumlu etkilediği görülmüştür. 150 mg/L başlangıç konsantrasyonuna sahip RM 19 için; pH 2, sıcaklık 50 °C'da, 0,2 g biyokütle ilavesi ile yapılan biyosorpsiyon deneylerinde temas süresinin, biyosorpsiyon kapasitesine etkisi incelendi (Şekil 7). Temas süresi 20. dk'ya kadar q_e (mg/g) artarken, 20. dk'dan sonra q_e (mg/g) değeri azalma eğilimi göstermektedir. 60 ve 120 dk'lık temas sürelerinde biyosorpsiyon kapasitesi tekrar artmaktadır. 120. dk 'da $q_e=650$ (mg/g) olmasına karşın, en uygun biyosorpsiyon temas süresi 20 dk olmaktadır. Çünkü 2 saatlik biyosorpsiyon uygulaması pratikte çok kolay ve ucuz bir yöntem değildir. Bu yüzden verilen şartlarda RM 19 için 20 dk'lık temas süresi sonunda, biyosorpsiyon kapasitesi $q_e=620$ (mg/g) ve biyosorpsiyon verimi %82,67 elde edilmiştir.



Şekil 7. Temas süresinin etkisi

3.3. Adsorpsiyon kinetiğinin belirlenmesi

RM 19 için belirlenen optimum çalışma şartlarında, boyarmadde biyosorpsiyonunda reaksiyon derecesini belirlemek için zamana karşı değişimi incelenerek reaksiyon kinetiği çalışılmıştır. Kinetik çalışmalarında sıfırıncı, birinci ve ikinci dereceden reaksiyon grafikleri çizilerek k 'nın (hız sabiti) belirlenmesi için kullanılmıştır (Tablo 3).

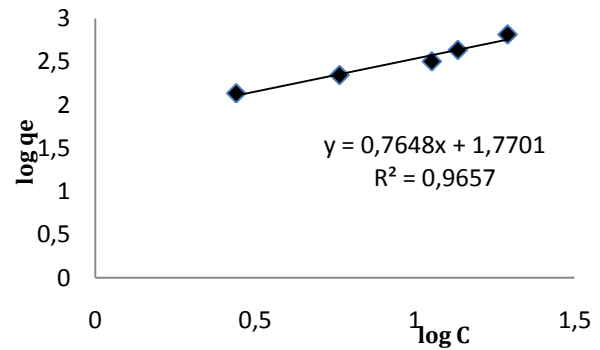
Tablo 3. Reaksiyon kinetiği çalışması sonuç değerleri

	Sıfırıncı derece	Birinci derece	İkinci derece
R^2	0,7509	0,8880	0,9169
k	28,282	3,3598	0,0341

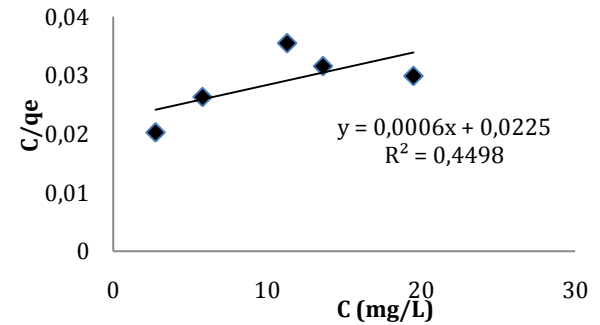
Sonuç olarak, biyosorpsiyon sisteminde RM19 için ikinci dereceden reaksiyon kinetiğine uygun olduğu görülmüştür.

3.4. Biyosorpsiyon izotermi

Adsorpsiyon izotermi veya kapasite çalışmaları, adsorpsiyon sistemlerinin tasarımında, artan kirletici konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak denge altındaki adsorbant ve sıvı fazlar arasında nasıl ayrıldıklarını gösterdiklerinden oldukça önemlidir [21]. Adsorpsiyon izotermi, yüzey özelliklerini, sorbentin benzerliklerini ve değişik boyarmadde için biyokütlenin adsorblama kapasitesini karşılaştıran belirli sabitlerle karakterize edilmektedir. Langmuir ve Freundlich denklemleri, atıksu uygulamalarında adsorpsiyon dengesi tanımlamada kullanımı yaygındır. Bu çalışmada, Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izotermi için çizilen grafikler sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9 da gösterilmektedir.



Şekil 8. Freundlich izoterm grafiği



Şekil 9. Langmuir izoterm grafiği

Bu grafiklere göre belirlenen adsorpsiyon izoterm katsayıları ve kinetik modellerin eşitlikleri ile yalnızca 1. ve 2. dereceden elde edilen birim başına adsorbent adsorpsiyon kapasitesi Tablo 4'de gösterilmektedir. Hesaplanan R^2 ve q_e değerlerine bakıldığında RM 19'un Ürolitik Karışık Mikroorganizma Kültürü ile biyosorpsiyonunun Freundlich izotermine uygunluk gösterdiği söylenebilir.

Tablo 4. Adsorpsiyon izoterm ve kinetik modellerinin optimum değerleri

Model	Denklemler	Faktör-1	Faktör-2	Factor-3	R ²
Langmuir	$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$	a= 1,667	b= 0,0267	q _m = 331,15	0.4498
Freundlich	$q_e = K_F \sqrt[n]{C_e}$	K _F = 58,898	n= 0,5449	q _e = 652,5	0.9657
Yalancı 1. Derece	$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$	k ₁ = 3,3598	-	q _e = 501,78	0,8880
Yalancı 2. Derece	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \times q_e^2} + \frac{1}{q_w}$	k ₂ = 0,0341	-	q _e = 628,51	0,9169

q_e Adsorbent adsorpsiyon kapasitesi (mg/g); k₁ (1/dk) ve k₂ (g/mg/dk) birinci ve ikinci dereceden reaksiyon hız sabitleri; q_m (mg/g) adsorbent maksimum adsorplama kapasitesi; K_L (L/mg) Langmuir adsorpsiyon sabiti; C_e (mg/L) Adsorbent denge anındaki konsantrasyonu; K_F (L/mg) Freundlich sabiti; n: sabittir (n > 1); a, b adsorbent molekülü başına ortalama adsorpsiyon

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma, karışık ürolitik kültür kullanılarak sulu çözeltilerden antrakinon yapıdaki RM 19'un giderimi, sorpsiyon işleminin denge ve kinetiğini detaylı bir çalışma sonuçlarını göstermektedir. RM 19 biyosorpsiyonu için optimum boyarmadde konsantrasyonu 150 mg/L, sıcaklık 50 °C, biyokütle miktarı 0,2 g/L, pH 2 ve temas süresi 20 dk olarak belirlenmiş ve bu şartlarda q_e değeri= 620 mg/g; giderim verimi ise %82,67 hesaplanmıştır.

Başlangıç boyarmadde konsantrasyonu ve sıcaklık arttıkça kurutulmuş aktif atıkların denge sorpsiyon kapasitesini artırdığı gözlenmiştir. Ortam pH'nın yükselmesi biyosorbent sulu çözeltilerden boyarmadde tutma kapasitesini düşürmekte olduğu ve asidik ortam koşullarında giderim verimi en yüksek değerleri verdiği saptanmıştır. Ürolitik karışık mikroorganizma kültürü biyokütlesi ile biyosorpsiyon kinetiği, ikinci dereceden adsorpsiyon kinetiğine ve Freundlich İzotermine uygunluk göstermektedir.

Ürolitik karışık mikroorganizma kültürü biyokütlesi, düşük fiyatlı, doğal, bol ve kolay elde edilebilir olduğundan, diğer daha pahalı yöntemlere alternatif olarak reaktif boyaların gideriminde kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi BAP 2013/78 no'lu proje ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1] Aksu, Z. 2004. Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review, *Process Biochemistry*, 40, 997-1026.
- [2] Adak, A., Bandyopadhyay, M., Psal, A., 2005. Removal of crystal Violet Dye from Wastewater by Surfactant-Modified Alumina, *Separation and Purification Technology*, 44, 139-144.
- [3] Banat, I. M., Nigam, P., Singh, D., Marchant, R.,

1996. Microbial decolorization of textile dye-containing effluents: a review. *Bioresource Technology*, 58, 217-227.

- [4] Daneshvar, N., Rabbani M., Modirshahla N., Behnajady M.A., 2004. Kinetic modelling of photocatalytic degradation of Acid Red 27 in UV/TiO₂. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry process*, 168, 39-45.
- [5] Aksu, A., Kocyiğit H., Murathan A., 2011. Reaktif Mavi 221'in Pomza ile Adsorpsiyonu ve Kinetiği. *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 26, 4, 807-812.
- [6] Correia, V.M., Stephenson T., Judd, S.J., 1994. Characterisation of Textile Wastewaters: A Review. *Environmental Technology*, 15, 917-929.
- [7] Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., Nigam, P., 2001. Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies With a Proposed Alternative. *Bioresource Technology*, 77, 247-255.
- [8] Kocyiğit H., Ugurlu A., 2015, Biological decolorization of reactive azo dye by Anaerobic/Aerobic-Sequencing Batch Reactor System, *Global NEST Journal*, 17, 210-219.
- [9] Van der Zee, F. P., Villaverde, S., 2005. Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes-A short review of bioreactor studies, *Water Research*, 39, 1425-1440.
- [10] Cirik, K., Kitis, M., Cinar, O., 2013. The effect of biological sulfate reduction on anaerobic color removal in anaerobic-aerobic sequencing batch reactors, *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 36, 579-589.
- [11] Gibbons, R. J., Doetsch, R. N., 1959. Physiological study of an obligately anaerobic ureolytic bacterium, *J. Bacteriol*, 77, 417-428.

- [12] Huet, M., Aladame, N., 1952. Recherches sur l'urease des bacteries anaerobies, Ann. Ins. Pasteur, 82, 766-767.
- [13] Güngörmedi, G., Şaşmaz, S., Aytar, P., Gedikli, S., Ünal, A., Çabuk, A., Kolankaya, N., 2009. Trametes Versicolor Biyokütlesi İle Reaktif Red 198 Boyar maddesinin Biyosorpsiyonu. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22, 247-264.
- [14] Aksu, Z., 2001. Biosorption of reactive dyes by dried activated sludge: equilibrium and kinetic modelling, Biochemical Engineering Journal, 7, 79-84.
- [15] Aksu, Z., Dönmez, G., 2003. A comparative study on the biosorption characteristics of some yeasts for Remazol Blue reactive dye, Chemosphere, 50, 1075-1083.
- [16] Santos, A.B., Cervantes, F.J., Lier, J.B., 2007. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology, Bioresource Technology, 98, 2369-2385.
- [17] Boeijs, G., Wagner, J., Koormann, F., Vanrolleghem, P.A., Feijtel, T., 1999. Spatially aggregated predicted environmental concentrations (PECs) for geo-referenced exposure assessment, In: Proceedings of the Ninth Annual Meeting of SETAC-Europe (Society of Environmental Toxicology and Chemistry). Leipzig, Germany, May 25-29.
- [18] Veli, S., Özbay, B., Özbay, İ., Arslan, A., Çebi, E., 2018. Elektrokoagülasyon Prosesi İle Gıda Endüstrisi Atıksuyunun Arıtımında Optimum Koşulların Belirlenmesi, Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences, DOI: 10.19113/sdufbed.28988
- [19] Banat, I. M., Nigam P., Singh D., Marchant R., 1996. Microbial decolourization of textile dye-containing effluents: a review. Bioresearch Technology, 58, 217-227.
- [20] Fu, Y., Viraraghavan, T., 2001, Fungal decolorization of dye wastewater: a review. Bioresearch Technology, 79, 251-262.
- [21] Şimşek, İ., Karataş, M., Baştürk, E., 2013. Cu(II) removal from aqueous solution by ureolytic mixed culture (UMC), Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 102, 479-483.
- [22] Józwiak, T., Filipkowska, U., Szymczyk, P., Zysk, M., 2017. Effect of the form and deacetylation degree of chitosan sorbents on sorption effectiveness of Reactive Black 5 from aqueous solutions, International Journal of Biological Macromolecules, 95, 1169-1178.
- [23] Somasekhara Reddy, M.C., Nirmala, V., Ashwini. C., 2017. Bengal Gram Seed Husk as an adsorbent for the removal of dye from aqueous solutions - Batch studies, Arabian Journal of Chemistry, 10, 2554-2566.
- [24] Somasekhara Reddy, M.C., Sivarama Krishna, L., Varada Reddy, A., 2012. The use of an agricultural waste material, Jujuba seeds for the removal of anionic dye (Congo red) from aqueous medium. J. Haz. Mats. 203-204, 118-127.
- [25] Jaqueline M.M., Dara D.R.G., Tito R.S.C., Guilherme L.D., Luiz A.A.P., 2016. Comparison of chitosan with different physical forms to remove Reactive Black 5 from aqueous solutions, Journal of Environmental Chemical Engineering, 4, 2259-2267.
- [26] Elwakeel, K.Z., 2009. Removal of Reactive Black 5 from aqueous solutions using magnetic chitosan resins, J. Hazard. Mater. 167, 383-392.
- [27] Intidhar, J.I., Luqman, C.A., Thomas, S.Y.C., Siti Nurul Ain B.M.J., 2018. Equilibrium, kinetics and thermodynamic adsorption studies of acid dyes on adsorbent developed from kenaf core fiber, Adsorption Science & Technology, 36, 694-712.
- [28] Coskun, R., Savci, S., Delibas, A., 2018. Adsorption properties of activated almond shells for methylene blue (MB), Environmental Research & Technology, 1, 31-38.
- [29] Kyzasa, G.Z., Lazaridis, N.K., Mitropoulos, A.C., 2012. Removal of dyes from aqueous solutions with untreated coffee residues as potential low-cost adsorbents: Equilibrium, reuse and thermodynamic approach, Chemical Engineering Journal, 189-190, 148-159.
- [30] Santos, S.C., Boaventura R.A., 2015. Treatment of a simulated textile wastewater in a sequencing batch reactor (SBR) with addition of a low-cost adsorbent. Journal of hazardous materials, 291, 74-82.
- [31] Argun, M.E., Güçlü, D., Karatas, M., 2014. Adsorption of Reactive Blue 114 dye by using a new adsorbent: Pomelo peel, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 20, 1079-1084.