

Basic Blue 41 ve Basic Red 46 Boyar Maddelerinin Çözeltiden Anyonik Polimer Membran ile Giderilmesi

*¹Reyhan Ozdogan, ¹Mithat Celebi

¹ Mühendislik Fakültesi, Polimer Mühendisliği Bölümü, Yalova Üniversitesi, Türkiye
 mithat.celebi@yalova.edu.tr

Geliş Tarihi: 2017-02-06 Kabul Tarihi: 2018-01-31

Öz

Endüstriyel atık sular içerisinde tekstil atık suları çok çeşitli kimyasallar ve boyar maddeler içermelerinden dolayı dikkat çekmektedirler. Bu boyar maddeleri su kaynaklarına, ırmaklara ve denizlere arıtılmadan bırakıldıklarında suda yaşayan canlılar ve besin zinciri olumsuz etkilenmektedir. Bu zararlı etkilerin en aza indirilmesi için endüstriyel atık suların arıtılması canlılar için hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada, akrilik elyafların boyanmasında kullanılan iki farklı bazik karakterdeki tekstil boyar maddesi (Basic Blue 41-BB41 and Basic Red 46-BR46) farklı pH, süre, sıcaklık ve başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında sülfonik asit esaslı polimerik membran ile çözelti ortamından % 75 ile % 100 aralığında boyar madde giderme yüzdesi ile giderildi. Gibbs serbest enerjisi (ΔG) değerleri BB41 ve BR46 boyar maddeleri için 318 K'de sırası ile -5.2 kJ/mol ve -5,52 kJ/mol olarak bulundu. Adsorpsiyon izotermeleri incelendiğinde her iki boyar maddenin polimer membranına adsorpsiyonunun Freundlich izotermine uyduğu tespit edildi.

Anahtar kelimeler: adsorpsiyon, akrilik elyaf, atık su, bazik boyar madde, Nafion® membran

Elimination of Basic Blue 41 ve Basic Red 46 Dyestuffs from Solution by Anionic Polymer Membrane

*¹Reyhan Ozdogan, ¹Mithat Celebi

¹Faculty of Engineering, Department of Polymer Engineering, Yalova University, Turkey
 mithat.celebi@yalova.edu.tr

Abstract

Textile wastewaters in industrial wastewaters are attracting attention because of containing a various chemicals and dyestuffs. When these dyestuffs are discharge to water resources, rivers and seas, the aquatic life and food chain without any treatment are adversely affected. The treatment of industrial wastewater is vital for all living creatures to minimize these harmful effects. Two different basic dyestuffs (Basic Blue 41-BB41 and Basic Red 46-BR46), which are used to dyeing of acrylic fibers were removed from the solution with a sulfonic acid based polymeric membrane adsorbent at different pH, time, temperature and initial dyestuff concentration with 75% to 100% removal percentage range values in this study. The Gibbs free energy (ΔG) values were found to be -5.2 kJ/mol and -5.52 kJ/mol for the BB41 and BR 46 dyes, respectively, at 318 K. According to the adsorption isotherms, the adsorption of both dyestuffs on the polymer membrane were fit to the Freundlich isotherm.

Keywords: acrylic fiber, adsorption, basic dyestuff, Nafion® membrane, wastewater

1. GİRİŞ

Sentetik boyar maddeler yılda 0,7-0,8 milyon tondan fazla dünya çapında üretilerek endüstride değişik sektörlerde kullanılmaktadır. Yaklaşık 10.000 farklı boya ve pigment endüstriyel olarak kullanılmaktadır. Tekstil, kağıt, gıda, plastik ve kozmetik gibi çeşitli sektörlerden renkli atık su deşarjı ile ilgili sorunlar hükümetlerin ve bilim insanlarının dikkatini çekmektedir [1]. Tekstil endüstrisinde boyama işlemleri sırasında genellikle renkli, yüksek kimyasal ve biyolojik oksijen ihtiyacı, kullanılan işleme ve boyar madde türüne göre farklı pH'larda atık sular meydana gelmektedir. Atık suların ekosistem için doğrudan risk oluşturmaları nedeniyle arıtmaları önemlidir [2]. Boyar maddelerin bir kısmı kanserojen olduklarından ve suda oluşturdukları renk nedeniyle güneş ışığı engellemeleri, fotosentezi azaltması ve görünümü kirliliği oluşturduklarından dolayı atık sulardan bertaraf edilmeleri gerekmektedir [3].

Organik moleküller olarak bilinen boyar maddelerin çoğu suda çözünürken (katyonik-bazik, asid, metal kompleks, direk ve reaktif boyar maddeler), sadece dispers boyalar suda dispersiyon halinde bulunurlar. Boyar maddeler yaygın olarak iki farklı şekilde kimyasal yapılarına ve kullanım amacına göre sınıflandırılırlar. Endüstride boyar maddeler daha çok kullanım amacına göre sınıflandırıldıkları isimleri ile bilinmektedir [4],[5]. Yaygın olarak kullanılan boyar maddelerin kimyasal yapısı ve oluşturdukları kirlilik Çizelge 1'de özetlenmektedir [6]. Moleküllerinde pozitif yük taşıyan boyar maddelere katyonik boyar maddeler veya bazik boyar maddeler adı verilir [7]. Bazik boyar maddeler genellikle asetik asit veya tannik asit yardımıyla 80-90 °C'de akrilik elyafını hızlı bir şekilde boyarlar ve kumaşa güçlü bir şekilde bağlanırlar. Bazik boyar maddeler tekstil endüstrisinde özellikle akrilik elyafların boyanmasında kullanılmaktadır. [3], [8].

Tablo 1. Boyar maddelerin sınıfları, kimyasal grupları ve oluşan kirlilik

Atık	10	Özellikleri	Kimyasal Grupları	Oluşan Kirlilik
Asit		Suda çözünür	Azo, nitro, nitrozo, trifenilmetan, ksanten	Renk, organik asitler, bağlanmayan boyar madde
Bazik		Suda çözünür, yüksek parlaklık	azo, triarilmetan, akridin, oksazin, antrakinin	Renk, bağlanmayan boyar madde
Direkt		Suda çözünür, elyafa doğrudan uygulanır	Azo, fitalosiyanın, oksazin	Renk, tuz, bağlanmayan boyar madde, yüzey aktif maddeler
Dispers		Suda çözünmez	Azo, antrakinin, nitro	Renk, organik asitler, fosfatlar, köpük kırıcılar, ağartıcılar, dispersantlar
Reaktif		Suda çözünür, en geniş boyar madde sınıfı	Azo, antrakinin, fitalosiyanın, formazon, oksazin	Renk, tuz, alkalinite, bağlanmayan boyar madde, yüzey aktif maddeler, köpük kırıcılar

sulardan boyar maddelerin giderilmesinde ana başlıklar halinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler içerisinde polielektrolitler ile flokulasyon ve koagülasyon, oksidasyon, ozonlama, membran ile ayırma, değişik fonksiyonel gruplar içeren tasarlanmış polimerlere zehirli ve renkli kimyasalların adsorpsiyonu ve anaerobik arıtma gibi yöntemler ayrı olarak veya birden fazla yöntemin birbirinin ardı sıra kullanılması atık suyun karakterizasyonuna göre tercih edilmektedir [2], [9]–[12]. Tekstil endüstrisi kaynaklı renkli atık suların gideriminde polimerler polielektrolit veya adsorban olarak kullanılmaktadır. Adsorban materyalinin tekrar kullanılabilmesi

ekonomik olması açısından önemlidir. Aktif karbon, kitosan, zeolitler, killer, bazı endüstriyel atıklar ve tarımsal atıklar boyar maddelerin giderilmesinde sıklıkla kullanılan adsorbanlar arasında yer almaktadır [11], [13]–[16]. Literatürde perfluorosülfonik asit esaslı polimerik membran (Nafion®) ile bazik boyar maddelerin giderilmesine ait herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, perfluorosülfonik asit esaslı polimerik membran adsorban materyali olarak kullanılarak iki farklı bazik boyar maddenin (Basic Blue 41 ve Basic Red 46) farklı koşullarda (pH, sıcaklık, başlangıç boyar madde konsantrasyonu) giderilmesi incelendi.

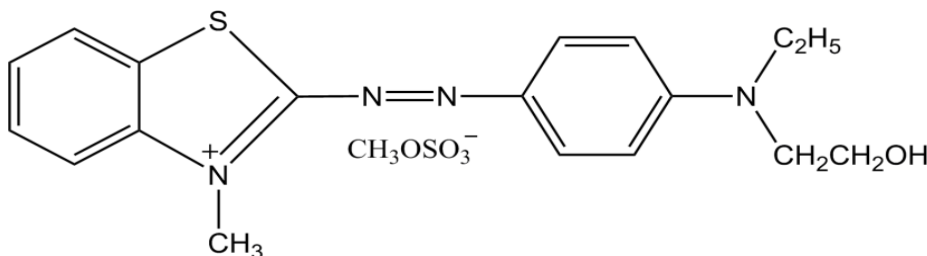
2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan bazik boyar maddeleri akrilik elyaf fabrikasından temin edildi. Kullanılan boyar maddelerin özellikleri Çizelge 2’de gösterildi. Adsorban materyali olarak Nafion® N-117 ticari isimli membran Alfa Aesar firmasından satın alındı. Bu membran genel olarak yakıt pillerinde kullanılmaktadır. Membranın kalınlığı: 0,180 mm ve

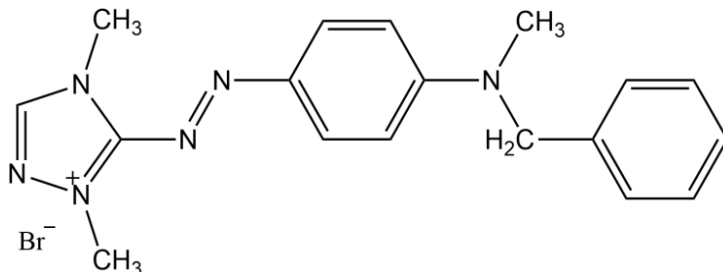
iyon değiştirme kapasitesi ise $\geq 0,9$ meq/g’dir. Ultra saf su Millipore MilliQ sisteminden elde edildi. Asetik asit (Fluka), sodyum fosfat dibazik (Riedel-de Haen), monobazik fosfat (Riedel-de Haen), disodyum sitrat tamponu (0,05 M, pH:3,0), fosfat tamponu (0,1 M, pH: 7,0), sodyum asetat tamponu (0,05 M, pH:5,0) boyar madde giderme çalışmalarında kullanıldı.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan bazik boyar maddelerin özellikleri

Boyar madde	Molekül ağırlığı (g/mol)	Maksimum absorban dalgaboyu (λ_{max})
Basic Blue 41 (BB41)	482,57	609
Basic Red 46 (BR 46)	403,32	530



Şekil 1. Basic Blue 41 Boyar maddesi



Şekil 2. Basic Red 46 Boyar maddesi

2.1. Boyar Madde Çözeltilerinin Hazırlanması ve Giderilmesi

Boyar madde çözeltileri (Basic Blue 41 ve Basic Red 46) 1000 mg/L konsantrasyonda destile su ile hazırlandı. İstenen konsantrasyonlar bu boyar madde çözeltisi seyreltilerek hazırlandı. Hazırlanan boyar madde çözeltilerinin maksimum dalga boyları UV-Vis.’de 200-800 nm arasında spektrum alınarak belirlendi. Maksimum dalga boyunda okunan absorban değerleri 1,0’in üzerinde olduğunda daha hassas absorban değeri okunması için boyar madde çözeltileri destile su seyreltildi. Maksimum absorban değerinde okunan absorban değerleri seyreltme faktörü ile çarpılarak boyar madde

çözeltilerinin başlangıç absorpsiyon değerleri hesaplandı. Hazırlanan çözeltilerin pH’ları 1N NaOH veya 1N HCl kullanılarak ayarlandı. 60 mg anyonik polimer sentetik boyar madde çözeltilerine ilave edilip 250 rpm’de bir saat karıştırıldı. Boyar maddelerin başlangıç boyar madde konsantrasyonu 60 mg/L’dır. Boyar maddelerin giderimi boyaların maksimum dalga boyundaki azalmanın UV-Vis. Spektrofotometre (Shimadzu, UV-1800) incelenmesi ile belirlendi. Boyar maddelerin yüzde giderimi değerleri Eşitlik 1’e göre hesaplandı.

$$\text{Boyar madde giderme (\%)} = \frac{(Abs(i) - Abs(e))}{Abs(i)} \times 100 \quad \text{Eşitlik 1.}$$

Abs (i): boyar maddenin maksimum dalga boyunda gösterdiği absorpsiyon değeri

Abs (t): Boyar maddeye adsorban ilavesinden sonra geçen sürenin sonunda maksimum dalga boyundaki absorpsiyon değeri.

2.2. Adsorpsiyon Kinetiklerinin Hesaplanması ve Termodinamik Çalışmaları

Lugmuir İzotermi

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m} \quad \text{Eşitlik 2.}$$

q_e : adsorpsiyon kapasitesi (mg/g); C_0 : boyar maddenin başlangıç konsantrasyonu (mg/L); C_e : çözeltideki boyar maddenin konsantrasyonu (mg/L); V : Çözelti hacmi (L); m : adsorban ağırlığı (g); q_m : adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesi; K_L : Langmuir adsorpsiyon sabiti.

Eşitlik 2. kullanılarak adsorbanın adsorpsiyon kapasitesi mg/g olarak hesaplandı.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m \cdot K_L} + \frac{1}{q_m} C_e \quad \text{Eşitlik 3.}$$

Eşitlik 3'e göre C_e 'ye karşı $\frac{C_e}{q_e}$ grafiğe geçirilirse doğrunun eğiminden q_m , kayma değerinden ise K_L sabiti hesaplandı.

Freundlich İzotermi

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad \text{Eşitlik 4.}$$

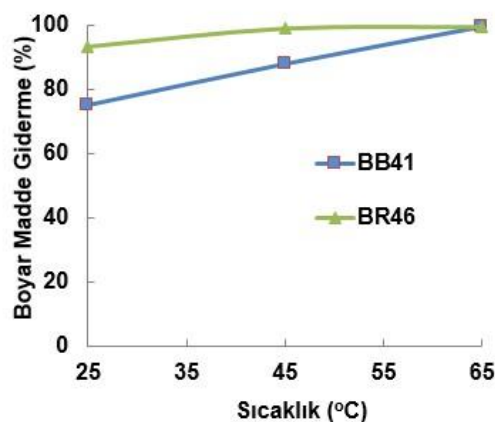
K_f : Freundlich sabiti; n : sabittir ($n > 1$). Eşitlik 4'e göre $\ln q_e$ 'ye karşı $\ln C_e$ grafiğe geçirildi ve doğrunun eğiminden n , kayma değerinden ise K_f sabiti hesaplandı.

3. BULGULAR

Bazik boyar maddelerin giderilmesinde literatürde son yıllarda kullanılan adsorbanlar arasında; bor ve atıkları [25], kitosan [13], [19], bazı endüstriyel atıklar [17] ve tarımsal atıklar [15], [16], [20] yer almaktadır. Gupta ve ark. (2016), bor ile zenginleştirilmiş atıkları ve melası Basic Blue 41 ve Basic Red 46 boyar maddelerinin giderilmesinde kullanmışlardır [17].

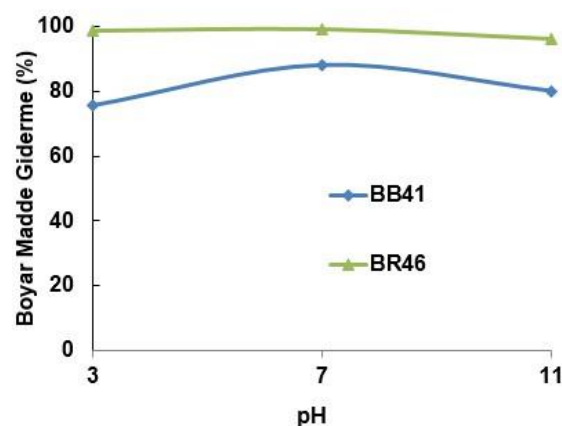
Bu çalışmada, Basic Blue 41 (BB41) ve Basic Red 46 (BR46) bazik boyar maddeleri farklı süre, sıcaklık, pH ve başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında perfluorosülfonik asit esaslı polimer ile giderildi. Şekil 3'te boyar madde giderme yüzdesi sıcaklığın artması ile arttığı görülmektedir. 45 oC ile 65 oC arasında boyar madde giderme yüzdesi birbirinden çok farklı olmadığı için bundan

sonraki deneyler daha fazla enerji kullanmamak için 45 oC'de yapıldı.

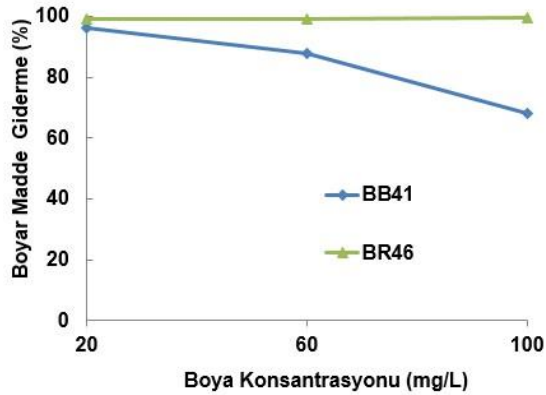


Şekil 3. Bazik boyar maddelerin pH:7,0 ve 60 dakika boyunca farklı sıcaklıklarda elde edilen yüzde boyar madde giderme değerleri

Sıcaklık arttıkça boyar maddenin adsorbana tutunması da artarak boyar madde giderme yüzdesi arttı (Şekil 3). Her iki boyar madde 60 dak. süre içerisinde 60 mg adsorban ile muamele edildi ve 65 °C'de yaklaşık % 100 boyar madde giderme değerleri elde edildi. Ayrıca, BR46 boyar maddesi BB41 boyar maddesine göre daha yüksek bir yüzde ile giderildi. BR46 boyar maddesinin molekül ağırlığının BB41 boyar maddesine göre daha küçük olması nedeniyle adsorbanın yüzeyinde daha yüksek konsantrasyonda tutulmasına ve dolayısıyla daha yüksek verimle giderilmesinde etkili olduğu düşünülmektedir (Çizelge 2). BB41 boyar maddesi pH:7.0'de en yüksek oranda giderildi. BR46 boyar maddesi ise tüm pH aralıklarında % 98 giderildi. Adsorbanın çalışılan tüm pH aralıklarında pozitif yüklü bazik boyalar etkileşebilecek özellikte iyon değiştirici bir membran olması nedeniyle yüksek yüzde ile boyar maddeleri giderebildiği düşünülmektedir (Şekil 4).



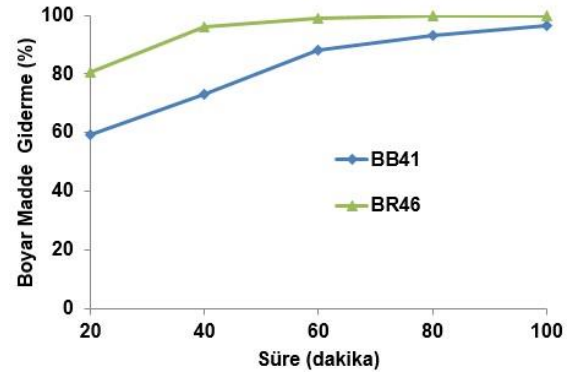
Şekil 4. Bazik boyar maddelerin 45 °C ve 60. dakikada farklı pH'larda elde edilen yüzde boyar madde giderme



Şekil 5. pH:7,0, 45 °C ve 60 dakika boyunca farklı başlangıç boya konsantrasyonlarında elde edilen yüzde boya giderme değerleri

Şekil 5'da BB41 boyar maddesi için artan başlangıç konsantrasyonu miktarı ile boyar madde giderimi yüzdesinde düşme gözlenirken BR 46 boyar maddesinin gideriminde başlangıç boya konsantrasyonun artması boyar maddenin giderilmesini olumsuz etkilenmedi. Şekil 6'da görüldüğü gibi adsorbanın boyar madde ile muamele

süresi arttıkça boyar madde giderme yüzdesi arttı. 80. dakikada maksimuma ulaşmış ve daha sonra boyar madde giderme değerleri sabit kaldı. Çalışmada kullanılan boyar maddelerin Çizelge 2'de gösterilen molekül ağırlıkları dikkate alındığında molekül ağırlığı küçüldükçe boya giderme yüzdesinin arttığı dikkat çekmektedir.



Şekil 6. pH:7,0, 45 °C ve 60 mg/L başlangıç boya konsantrasyonlarında farklı bekleme sürelerinde elde edilen % boyar madde giderme

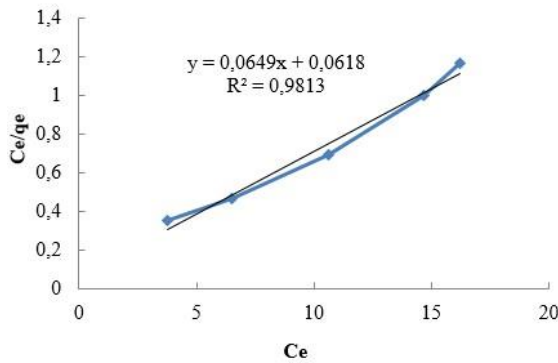
Çizelge 3'de çeşitli bazik boyar maddelerin giderilmesinde kullanılan yöntemler ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

Tablo 3. Bazik boyar maddelerin giderilmesinde kullanılan çeşitli yöntemler ve elde edilen yüzde boyar madde giderme değerleri

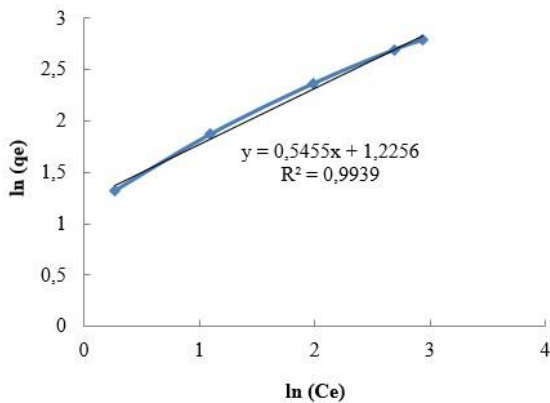
Boyar madde	Yöntem/Malzeme	% Giderim ve Ortam koşulları (süre, sıcaklık, pH)	Ref.
Basic Blue 41	Adsorpsiyon/ Nikel Demir Nanopartiküller	~% 85(pH:4 ve pH:8, süre: 60 dak., başlangıç boyar madde konsantrasyonu: 50 mg/L, sıcaklık: 25 °C, karıştırma hızı: 200 rpm, adsorban miktarı: 0,3 g.)	[21]
Basic Blue 41	Adsorpsiyon/Magnetik demir nanopartikül–alginat	% 60 (adsorban miktarı: 0,3 g; süre: 150 dak., maksimum adsorpsiyon pH'sı: 8,0)	[22]
Basic Blue 41	Enzimatik /Kloroperoksidaz	% 40 (enzim) % 15 (immobilize enzim, pH: 3, 25 °C)	[23]
Basic Red 46	Elektrokoagülasyon	% 95 (optimum pH: 8, başlangıç boyar madde konsantrasyonu: 50 mg/L, süre: 5 dak.)	[24]
Basic Red 46	Fotokatalitik/ immobilize TiO ₂ nanopartiküller	% 75 (pH: 11,1, başlangıç boyar madde konsantrasyonu: 17,5 mg/L, süre: 50 dak.)	[25]
Basic Red 46	Adsorpsiyon/ boron ile zenginleştirilmiş atıklar	maksimum pH: 9,0-12,0 optimum pH: 9,0	[17]
Basic Blue 41	Adsorpsiyon/ modifiye kitosan	% 87 (pH:11, süre:75 dak., sıcaklık: 40 °C)	[13]
Basic Red 18	Mikroorganizma/ <i>Trametes versicolor</i>	% 65 (pH:11, süre:75 dak., sıcaklık: 40 °C) % 90 (süre: 7 gün, pH:3,6 sıcaklık: 30 °C)	
Basic Blue 41	Adsorpsiyon/sülfonlanmış polimer	% 90 (300 rpm, oda sıcaklığı, pH: 9,0 süre: 120 dak.)	[8]
	Enzimatik/Horseradish Peroksidaz	% 30 (150 dak., pH: 7, 30 °C)	
Basic Blue 41 Basic Red 46	Adsorpsiyon/ Nafion®membran	~% 100 (süre: 60 dak, karıştırma hızı: 250 rpm, pH:7,0 sıcaklık: 45 °C, başlangıç boyar madde konsantrasyonu: 60 mg/L)	Bu çalışma

Çizelge 3'te gösterilen literatürdeki BB41 ve BR46 boyar maddelerinin giderme yüzdeleri % 15 ile % 95 arasında değiştiği görülmektedir. Bu çalışmada ise % 100 boyar madde giderme değerleri elde edildi. Bu adsorbanın maliyetli olmasına karşın onlar kez

rejenerlene olabildiği ve % 100 boyar madde giderme verimi nedeni ile bazik boyar maddelerin giderilmesinde alternatif olabileceği düşünülmektedir.



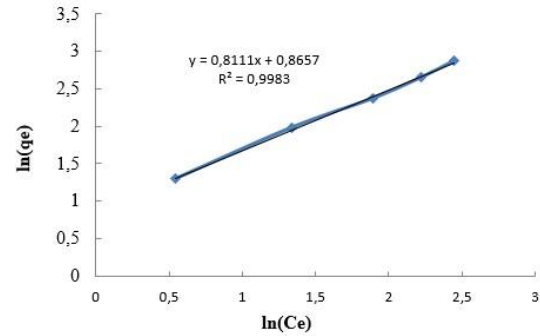
Şekil 7. Basic Blue 41 boyar maddesinin Langmuir İzotermi



Şekil 8. Basic Blue 41 boyar maddesinin Freundlich İzotermi

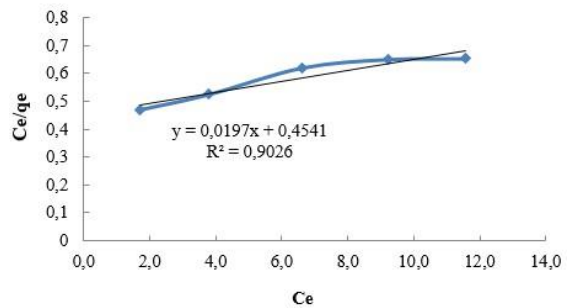
Doğrunun eğiminden BB41 boyar maddesi için adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesi, q_m : 15,63 mg/L olarak bulundu. Basic Blue 41 boyar maddesi için Freundlich izoterminde elde edilen denklem kullanılarak doğrunun eğiminden n : 1,83 ve K_f : 3,03 olarak bulundu

Adsorpsiyon Kinetikleri



Şekil 10. Basic Red 46 boyar maddesinin Freundlich İzotermi

Şekil 9'da elde edilen Langmuir izotermi doğrusunun eğiminden BB41 boyar maddesi için adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesi 52,63 mg/g olarak hesaplandı. Basic Red 46 boyar maddesi için doğrunun Şekil 10'da elde edilen Freundlich izotermi eğiminden n : 1,233 ve K_f ise 2,375 olarak bulundu. Nafion® membranı ile BB41 boyar madde adsorpsiyonuna ait termodinamik çalışmaları sonucunda elde edilen deneysel veriler kullanılarak hesaplanan Gibbs serbest enerjisi (ΔG) değerleri BB41 ve BR46 boyar maddeleri için 318 K sıcaklıkta sırası ile -5,2 kJ/mol ve -5,52 kJ/mol olarak bulundu. Bu sonuçlar her iki boyar maddenin de Nafion® membranına adsorpsiyonunun kendiliğinden meydana geldiğini göstermektedir. İzotermeler incelendiğinde her iki boyar maddenin polimer membranına adsorpsiyonunun Freundlich izotermine uyduğu tespit edildi.



Şekil 9. Basic Red 46 boyar maddesinin Langmuir izotermi

Tablo 4. BB41 ve BR46 boyar maddeleri için adsorpsiyon kinetiklerinin literatürdeki sonuçlar ile bu çalışmadan elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Adsorban	Langmuir Parametreleri		İzoterm	Freundlich Parametreleri		İzoterm	Deney Koşulları			Ref.
	K_L (L/mg)	q_{max} (mg/g)	r^2	K_f	1/n	r^2	Adsorb an (g/L)	Boyar madde (mg/L)	Süre, sıcaklık pH,	
Titanyum mikroküreler / BB41	0,776	142,86	0,966	59,85 7	0,237	0,814	0,6	60	90 dak. pH: 25 °C	[26]
Nafion® BB41	1,047	15,65	0,981	3,035	0,511	0,993	5	60	60 dak. pH: 7,0, 45 °C	Bu çalışma
Nafion® BR46	0,042	52,63	0,902	2,375	0,811	0,998	5	60	60 dak. pH: 7,0, 45 °C	Bu çalışma
Moroccan Clay for BR46	1.248	54	0.99	31.22	0.23	0.89	0,4	10	20 dak. pH: 6,0,30 dak. 25 °C	[27]
Raw fish bone for BB41	-	37.36	-	-	-	-	2.5	100	30 dak.	[28]
Boron waste for BR46	-	38	0.838	-	0.992	0.862	2.0	60	35 °C pH:9.0	[18]

Bu çalışmada, adsorpsiyon izotermelerinden elde edilen sonuçlarda Basic Blue 41 ve Basic Red 46 boyar maddeleri için sırası ile adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesi 15,65 mg/g ve 52, 63 mg/g olarak bulunmuştur (Çizelge 4). Boya giderme yüzdesinde de olduğu gibi adsorpsiyon kinetik çalışmalarını sonucunda adsorpsiyon izotermelerinden elde edilen sonuçlar Basic Red 46 boyar maddesinin Basic Blue 41 boyar maddesine göre daha yüksek bir konsantrasyonda adsorplandığı ortaya çıkmıştır. BR46 boyar maddesinin molekül ağırlığı BB41 boyar maddesinden daha küçük olduğu için adsorban yüzeyinde daha yüksek konsantrasyonda adsorplandığı düşünülmektedir.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada, akrilik elyaf boyanmasında kullanılan bazik boyar maddelerin kumaşa boyanma sonrası tutunmadan kalan boyar maddelerden oluşan rengin giderilerek çevreye zararsız hale getirilmesi amaçlandı. Bu amaca ulaşmak için perfluorosülfonik asit esaslı polimerik membran (Nafion®) kullanıldı. Bazik boyar maddeye göre farklı boya giderme yüzdeleri elde edildi. Boyar maddenin molekül büyüklüğünün küçülmesi adsorban polimerik membranın daha küçük gözeneklerine girmesine ve tutunmasına yol açtığı düşünülmektedir. Bu nedenle BR46 boyar maddesi diğer boyar maddelere göre daha yüksek boya giderme yüzdesi ile giderildi. Sıcaklığın artması boyar maddelerin boya giderme yüzdelerini belirgin bir şekilde arttırdı. Bu çalışmada kullanılan polimerik membranın maliyeti yüksektir. Rejenere olabildiği daha ucuz maliyetle üretilen polimerler adsorbanların üretilmesi bazik boyar

maddelerin daha ekonomik bir şekilde atık sulardan giderilmesine fayda sağlayacaktır.

Adsorban maliyetli olmasına karşı en az 20 kez rejenere olarak tekrar kullanılabilen bir adsorbandır. Ayrıca literatürde de bazik boyaların giderilmesinde kullanılmadığından, termal, mekanik dayanımı yüksek, esnek ve onlarca kez rejenere olabildiği bir adsorban olduğu için bu çalışmada tercih edildi.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Yalova Üniversitesi (Proje No: 2014/BAP/083) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] P. M. Roosta M, Ghaedi M, Daneshfar A, Darafarin S, Sahraei R, "Simultaneous ultrasound-assisted removal of sunset yellow and erythrosine by ZnS:Ni nanoparticles loaded on activated carbon: Optimization by central composite design," *Desalin. Water Treat.*, vol. 52, no. 2, pp. 193–202, 2014.
- [2] S. Song, J. Yao, Z. He, J. Qiu, and J. Chen, "Effect of operational parameters on the decolorization of C.I. Reactive Blue 19 in aqueous solution by ozone-enhanced electrocoagulation," *J. Hazard. Mater.*, vol. 152, no. 1, pp. 204–210, 2008.
- [3] M. Celebi, *Tekstil Atık Sularında Boyaların Biyobozunma ile Giderilmesi*. 2013.
- [4] Baser İnci İnanıcı Yusuf, *Boyar Madde Kimyası*. Teknik Eğitim Fakültesi Marmara Üniversitesi, 1990.
- [5] Q. Husain, "Potential Applications of the Oxidoreductive Enzymes in the Decolorization and Detoxification of Textile and Other Synthetic Dyes

- from Polluted Water: A Review,” *Crit. Rev. Biotechnol.*, vol. 26, no. 4, pp. 201–221, 2006.
- [6] M. Çelebi, *Tekstil Atık Sularında Boyaların Biyobozunma ile Giderilmesi, Kısaltılmış Doktora Tezi*. İstanbul Sanayi Odası Yayınları, 2013.
- [7] M. Celebi, M. Altikatoglu, Z. M. Akdeste, and H. Yildirim, “Determination of decolorization properties of Reactive Blue 19 dye using Horseradish Peroxidase enzyme,” *Horseradish Peroksidaz enzimi Kullan. React. Blue 19 boyasi{dotless}ni{dotless}n renk giderilmesinin belirlenmesi*, vol. 38, pp. 200–206, 2013.
- [8] M. Celebi, M. Arif, M. Altikatoglu, and H. Yildirim, “Removal of Cationic Dye from Textile Industry Wastewater with Using Enzyme , Fungus and Polymer,” vol. 3, no. 2, pp. 39–45, 2013.
- [9] S. H. Lin and C. S. Wang, “Treatment of high-strength phenolic wastewater by a new two-step method,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 90, no. 2, pp. 205–216, 2002.
- [10] M. Al-Aseeri, Q. Bu-Ali, S. Haji, and N. Al-Bastaki, “Removal of Acid Red and sodium chloride mixtures from aqueous solutions using nanofiltration,” *Desalination*, vol. 206, no. 1–3, pp. 407–413, 2007.
- [11] F. Harrelkas, A. Paulo, M. M. Alves, L. El Khadir, O. Zahraa, M. N. Pons, and F. P. van der Zee, “Photocatalytic and combined anaerobic-photocatalytic treatment of textile dyes,” *Chemosphere*, vol. 72, no. 11, pp. 1816–1822, 2008.
- [12] C. A. Basha, K. V. Selvakumar, H. J. Prabhu, P. Sivashanmugam, and C. W. Lee, “Degradation studies for textile reactive dye by combined electrochemical, microbial and photocatalytic methods,” *Sep. Purif. Technol.*, vol. 79, no. 3, pp. 303–309, 2011.
- [13] M. Sadeghi-Kiakhani, M. Arami, and K. Gharanjig, “Preparation of chitosan-ethyl acrylate as a biopolymer adsorbent for basic dyes removal from colored solutions,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 1, no. 3, pp. 406–415, 2013.
- [14] T. S. Anirudhan and M. Ramachandran, “Adsorptive removal of basic dyes from aqueous solutions by surfactant modified bentonite clay (organoclay): Kinetic and competitive adsorption isotherm,” *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 95, pp. 215–225, 2015.
- [15] B. H. Hameed and M. I. El-Khaiary, “Removal of basic dye from aqueous medium using a novel agricultural waste material: Pumpkin seed hull,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 155, no. 3, pp. 601–609, 2008.
- [16] B. H. Hameed, R. R. Krishni, and S. A. Sata, “A novel agricultural waste adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solutions,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 162, no. 1, pp. 305–311, 2009.
- [17] V. K. Gupta, S. Agarwal, A. Olgun, H. I. Demir, M. L. Yola, and N. Atar, “Adsorptive properties of molasses modified boron enrichment waste based nanoclay for removal of basic dyes,” *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 34, pp. 244–249, 2016.
- [18] A. Olgun and N. Atar, “Equilibrium and kinetic adsorption study of Basic Yellow 28 and Basic Red 46 by a boron industry waste,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 161, no. 1, pp. 148–156, 2009.
- [19] G. Z. Kyzas and N. K. Lazaridis, “Reactive and basic dyes removal by sorption onto chitosan derivatives,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 331, no. 1, pp. 32–39, 2009.
- [20] Y. Zhou, L. Zhang, and Z. Cheng, “Removal of organic pollutants from aqueous solution using agricultural wastes: A review,” *Journal of Molecular Liquids*, vol. 212, pp. 739–762, 2015.
- [21] N. M. Mahmoodi, “Nickel ferrite nanoparticle: Synthesis, modification by surfactant and dye removal ability,” *Water. Air. Soil Pollut.*, vol. 224, no. 2, 2013.
- [22] N. M. Mahmoodi, “Magnetic ferrite nanoparticle-alginate composite: Synthesis, characterization and binary system dye removal,” *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 44, no. 2, pp. 322–330, 2013.
- [23] E. Guerrero, P. Aburto, E. Terrés, O. Villegas, E. González, T. Zayas, F. Hernández, and E. Torres, “Improvement of catalytic efficiency of chloroperoxidase by its covalent immobilization on SBA-15 for azo dye oxidation,” *J. Porous Mater.*, vol. 20, no. 2, pp. 387–396, 2013.
- [24] N. Daneshvar, A. Oladegaragoze, and N. Djafarzadeh, “Decolorization of basic dye solutions by electrocoagulation: An investigation of the effect of operational parameters,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 129, no. 1–3, pp. 116–122, 2006.
- [25] A. R. Khataee, “Photocatalytic removal of CI Basic Red 46 on immobilized TiO₂ nanoparticles: Artificial neural network modelling,” *Environ. Technol.*, vol. 30, no. 11, pp. 1155–1168, 2009.
- [26] Y. Jiang, Y. Luo, F. Zhang, L. Guo, and L. Ni, “Equilibrium and kinetic studies of C.I. Basic Blue 41 adsorption onto N, F-codoped flower-like TiO₂ microspheres,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 273, pp. 448–456, 2013.
- [27] A. B. Karim, B. Mounir, M. Hachkar, M. Bakasse, and A. Yaacoubi, “Removal of Basic Red 46 dye from aqueous solution by adsorption onto Moroccan clay,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 168, no. 1, pp. 304–309, 2009.
- [28] A. Ebrahimi, M. Arami, H. Bahrami, and E. Pajootan, “Fish Bone as a Low-Cost Adsorbent for Dye Removal from Wastewater: Response Surface Methodology and Classical Method,” *Environ. Model. Assess.*, vol. 18, no. 6, pp. 661–670, 2013.