



TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARITIMINA YÖNELİK YEŞİL NESİL BİR ARITIM UYGULAMASI

Fatih DENİZ 

Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Bozova Meslek Yüksekokulu, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye

ÖZET

Zostera marina L., kuzey yarım kürenin kıyı bölgelerinde bulunan en yaygın deniz çayıru türüdür. *Z. marina* L. çayırlık alanları, birçok ekonomik ve ekolojik fonksiyonlara önemli katkılar sağlamaktadır. Diğer taraftan, bu çayırlık alanlardan kaynaklanan yapraklı atıklar, kıyı şeridi boyunca büyük miktarlarda birikerek, estetik, sosyoekonomik, hijyenik ve çevresel problemlere neden olmaktadır. Bu çalışmada, bu atık biyomateryaller, kimyasal olarak modifiye edilmiş ve yeşil nesil arıtım uygulamaları bağlamında tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasına yönelik olarak ilk kez kullanılmıştır. Bazık kırmızı 46, renkli tekstil endüstrisi atıksuyunu simüle etmek için tipik bir model tekstil boyası olarak kullanılmıştır. Biyosorbent arıtım özellikleri, izoterm, kinetik ve karakterizasyon çalışmaları ile incelenmiştir. Arıtma işlemi, çevresel koşullardan önemli ölçüde etkilenmiştir ve boya arıtımı için en uygun koşullar, biyosorbent miktarı, 10 mg, temas süresi, 40 dakika, pH, 8 ve boya konsantrasyonu, 30 mg L⁻¹ olarak elde edilmiştir. Yalancı ikinci mertebe kinetik modeli, deneysel verilere en iyi uyumu sağlarken, denge verileri, en iyi Freundlich izotermi ile tanımlanmıştır. Langmuir modeline göre biyosorbent maksimum tek tabaka boya giderim potansiyeli, 142,191 mg g⁻¹ olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, tekstil endüstrisi atık sularına yönelik gelecek vaat eden yeşil nesil bir arıtım uygulamasını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Yeşil nesil arıtım, Tekstil endüstrisi atıksuları, *Zostera marina* L.

A GREEN GENERATION TREATMENT APPLICATION FOR TREATMENT OF TEXTILE INDUSTRY WASTEWATERS

ABSTRACT

Zostera marina L. is the most extensive seagrass species in coastal areas of the northern hemisphere. *Z. marina* L. meadows provide important contributions to many economic and ecological functions. On the other hand, leafy residues originating from these meadows largely accumulate along coastline and cause aesthetic, socioeconomic, hygienic and environmental problems. In this study, these waste biomaterials were chemically modified and used for the first time in the treatment of textile industry wastewaters in the context of green generation treatment applications. Basic red 46 was used as a typical model textile dye in order to simulate colored textile industry wastewater. The treatment properties of biosorbent was investigated by the isotherm, kinetic and characterization studies. The treatment process was significantly influenced by the environmental conditions and the optimum conditions for the dye treatment were obtained as the amount of biosorbent, 10 mg, contact time, 40 min, pH, 8 and dye concentration, 30 mg L⁻¹. The pseudo-second-order kinetic model provided the best fit to the experimental data while the equilibrium data were best described by Freundlich isotherm. The maximum monolayer dye removal potential of biosorbent was found to be 142.191 mg g⁻¹ according to Langmuir model. The obtained results revealed a promising green generation treatment application for textile industry wastewaters.

Keywords: Green generation treatment, Textile industry wastewaters, *Zostera marina* L.

1. GİRİŞ

Sentetik boyalar, başta tekstil endüstrisi olmak üzere birçok endüstriyel işlemlerde son ürünler için renklendirici ajan olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Boyama işlemi sırasında, proses sularında önemli oranlarda (% 10-15) bağlanmamış formda boya kaldığı tahmin edilmektedir ve bu yüzden de büyük hacimlerde renkli endüstriyel atıksu oluşturulmaktadır. Boyalar, genellikle sentetik orjinli kompleks aromatik moleküler yapıya sahip organik bileşiklerdir ve hem biyota hem de çevre sağlığına

ciddi zararlı etkileri olan ana kararlı kirletici kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedirler [1, 2]. Bu nedenle, boya kullanan endüstriler için bu renklendirici maddelerin alıcı su sistemlerine deşarj edilmeden önce atıksulardan arındırılması oldukça önemli bir konudur. Biyosorpsiyon teknolojisi, yüksek performansı, düşük işletme maliyeti ve tasarım ve işletim kolaylığı nedeniyle renkli atıksular için en başarılı arıtım yaklaşımı olarak kabul edilmektedir. Geliştirilmiş gözenek yapısı ve geniş yüzey alanı gibi mükemmel yapısal özellikleri nedeniyle aktif karbon, bu arıtım teknolojisinde dünyanın en yaygın kullanılan materyalidir. Bununla birlikte, yüksek üretim maliyeti ve düşük rejenerasyon kapasitesi, geniş çaplı arıtım uygulamalarında kullanımını kısıtlamaktadır [3, 4]. Aktif karbon kullanımındaki bu tür problemler, bilim insanlarını alternatif biyosorbent materyali geliştirmeye yönlendirmiştir [5, 6].

Deniz çayırlarından olan *Zostera marina* L. bitkisi kuzey yarım kürenin kıyı bölgelerinde bulunan en yaygın çayır türüdür. *Z. marina* L. deniz çayırı ekosistemleri, hem insanlar hem de diğer canlılar için birçok ekolojik ve ekonomik fonksiyona önemli katkılar sağlamaktadır [7, 8]. Diğer taraftan, *Z. marina* L. çayırılık alanlarından kaynaklanan yapraksı atıklar, kıyı şeridi boyunca büyük miktarlarda birikerek, çevresel, estetik, hijyenik ve sosyoekonomik problemlere neden olmaktadır. Bu nedenle, bu bitkisel atıklar, genellikle toplanmakta ve yakılmaktadır ki bu da önemli ölçüde kaynak kaybına ve potansiyel çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu çalışmada, *Z. marina* L. atıkları, kimyasal olarak modifiye edilerek yeşil nesil arıtım uygulamaları bağlamında tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasına yönelik olarak ilk kez kullanılmıştır. Biyosorbentin boya arıtım özellikleri, kinetik, izoterm ve karakterizasyon çalışmaları ile araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Deney Materyallerinin Hazırlanması

Z. marina L. yapraksı atıkları, Sinop kıyı şeridinden toplanmıştır. Üzerlerindeki yabancı maddelerin uzaklaştırılması için önce musluk suyuyla, ardından da birkaç kez distile su ile yıkanmıştır. Daha sonra 70 °C'de 24 saat fırında kurutulmuştur. Bir laboratuvar öğütücüsü kullanılarak parçalanmış ve 0,5 mm'lik standart bir elekten geçirilmiştir. Elde edilen örnekten 1 g alınarak, 0,3 M NaOH (100 mL) çözeltisi içine konulmuş ve bir manyetik karıştırıcı üzerinde 24 saat boyunca yavaş bir şekilde karıştırılmıştır. Bu işlem sonunda fazla kimyasal maddenin giderilmesi için örnek, distile su ile iyice yıkanmış ve tekrar kurutulmuştur. Elde edilen ürün, boya arıtım analizleri için bir cam şişede muhafaza edilmiştir.

Bazik kırmızı 46, lokal bir tekstil fabrikasından (Gaziantep) temin edilmiş ve renkli tekstil endüstrisi atıksuyunu simüle etmek için tipik bir model tekstil boyası olarak kullanılmıştır. Distile su kullanılarak bir stok boya çözeltisi (1 g L⁻¹) hazırlanmış ve karanlık bir ortamda muhafaza edilmiştir. Deney çözeltileri, stok solüsyonun dilüsyonuyla hazırlanmıştır. Her bir test çözeltisinin başlangıç pH'sı, hidroklorik asit ve sodyum hidroksit çözeltileri (0,1 mol L⁻¹) kullanılarak istenen değerlere ayarlanmıştır. Kullanılan tüm kimyasallar, analitik saflığa sahiptir.

2.2. Boya Arıtım Deneyleri

Biyosorpsiyon çalışmaları, kesikli deney tekniğiyle 100 mL bazik kırmızı 46 solüsyonu içeren bir seri konik deney şişesi ile gerçekleştirilmiştir. Şişeler, oda sıcaklığında istenen temas süreleri için bir orbital çalkalayıcı kullanılarak 150 rpm'lik sabit bir hızla çalkalanmıştır. Daha sonra, deney ortamından yaklaşık 1-2 mL numune alınmış ve santrifüjlenmiştir. Numunelerdeki boya konsantrasyonu, 530 nm dalga boyunda bir UV-vis spektrofotometre yardımıyla belirlenmiştir. Biyosorbent tarafından tutulan boya miktarı (q_t ve q_e , mg g⁻¹), aşağıda belirtilen kütle denkliği eşitlikleri kullanılarak belirlenmiştir:

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{M} \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{M} \quad (2)$$

Burada, C_0 , C_t ve C_e (mg L^{-1}), sırası ile başlangıçta, herhangi bir t zamanında ve denge durumundaki boya konsantrasyonlarını, V (L), solüsyon hacmini ve M (g), biyosorbent kütlesini göstermektedir.

2.3. Kinetik Modelleme Çalışması

Biyosorpsiyon sisteminin dinamik hareket tarzının modellenmesi için yalancı birinci merteye [9], yalancı ikinci merteye [10], Elovich [11] ve parçacık içi difüzyon [12] kinetik modelleri kullanılmıştır. Bu modellerin matematiksel formları sırası ile şöyledir:

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad (3)$$

$$q_t = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e t} \quad (4)$$

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(1 + \alpha \beta t) \quad (5)$$

$$q_t = k_p t^{1/2} + C \quad (6)$$

Burada, k_1 (dk^{-1}), k_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{dk}^{-1}$) ve k_p ($\text{mg g}^{-1} \text{dk}^{-1/2}$), sırasıyla yalancı birinci merteye, yalancı ikinci merteye ve parçacık içi difüzyon modellerinin biyosorpsiyon hız sabitlerini, α ($\text{mg g}^{-1} \text{dk}^{-1}$), başlangıç biyosorpsiyon hızını, β (g mg^{-1}) desorpsiyon sabitini ve C (mg g^{-1}), sınır tabaka kalınlığı ile ilgili bir sabiti ifade etmektedir.

2.4. İzoterm Modelleme Çalışması

Biyosorpsiyon denge verileri, Freundlich [13], Langmuir [14] ve Dubinin-Radushkevich [15] izoterm modelleri kullanılarak modellenmiştir. Kullanılan modellerin matematiksel ifadeleri sırası ile aşağıdaki gibidir:

$$q_e = K_F C_e^{1/n_F} \quad (7)$$

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (8)$$

$$q_e = q_m e^{-B \epsilon^2} \quad (9)$$

Burada, K_F ($\text{mg g}^{-1} (\text{L mg}^{-1})^{1/n_F}$) ve n_F (-), sırasıyla biyosorpsiyon kapasitesi ve yoğunluğu ile ilgili Freundlich model sabitlerini, q_m (mg g^{-1}), biyosorbentin maksimum boya biyosorpsiyon kapasitesini, K_L

(L mg⁻¹), biyosorpsiyon enerjisi ile ilgili Langmuir denge sabitini, B (mol² kJ⁻²), biyosorpsiyon ortalama serbest enerjisi ile ilgili bir sabiti, \mathcal{E} , $RT \ln (1 + (1/C_0))$ 'ye eşit olan Polanyi potansiyelini, R (J mol⁻¹ K⁻¹), evrensel gaz sabitini ve T (K), mutlak sıcaklığı göstermektedir.

2.5. Karakterizasyon Analizi

Biyosorpsiyon prosesinde görev alan başlıca fonksiyonel grupları belirlemek için Fourier transform infrared (FTIR) spektroskopi analizi yapılmıştır. Doğal ve boya yüklü biyosorbent örneklerinin spektrumları, 4000-400 cm⁻¹ dalga boyu aralığında çalıştırılan bir FTIR cihazı yardımıyla elde edilmiştir. Biyosorbent materyalinin boya biyosorpsiyonundan önce ve sonra sahip olduğu yüzey özellikleri, Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile karakterize edilmiştir.

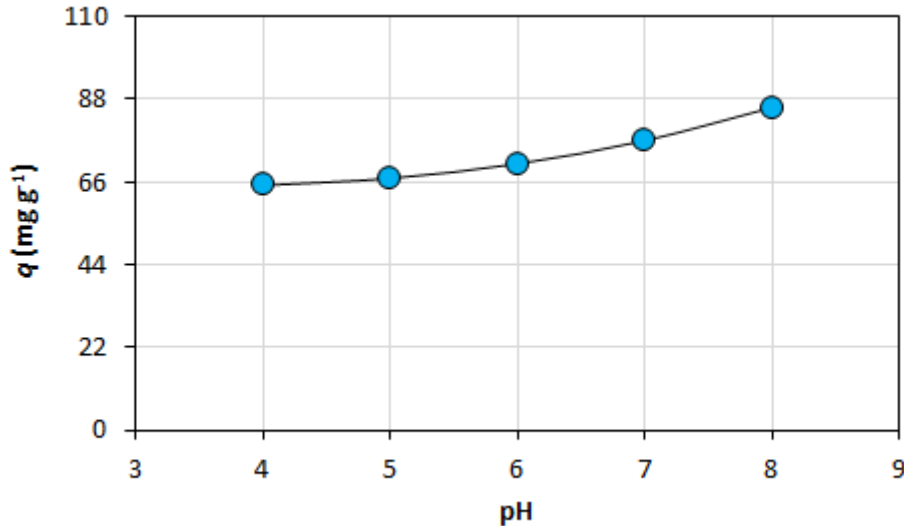
2.6. Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi

Biyosorpsiyon deneyleri, iki kez yapılmış ve elde edilen ortalama değerler kullanılmıştır. Biyosorpsiyon sistemi matematik modelleme çalışmaları, SigmaPlot yazılım paketi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan modellerin, deneysel verilere uygunluk derecesini belirlemek için determinasyon katsayısı (R^2) ve standart hata (SE) analizleri kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

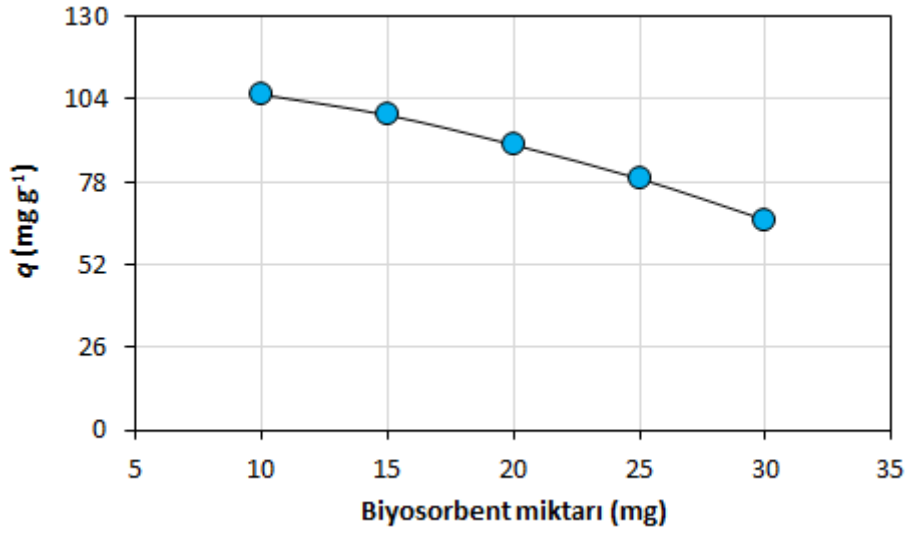
3.1. İşletme Değişkenlerin Biyosorpsiyon Prosesi Üzerine Etkileri

Şekil 1, pH'nın biyosorpsiyon süreci üzerine etkisini göstermektedir. pH, boya biyosorpsiyonunda önemli bir role sahiptir ve maksimum boya giderimi, pH 8 seviyesinde gözlenmiştir. Bu etki, biyosorbent negatif yüklü biyosorpsiyon alanları ile pozitif yüklü boya molekülleri arasındaki elektrostatik çekim ile açıklanmaktadır. pH arttıkça, biyosorbent yüzeyindeki pozitif yük azalmakta ve negatif yüklü bölgelerin sayısı artmaktadır. Bu durum, elektrostatik çekim gücüne bağlı olarak biyosorbent, boya biyosorpsiyon potansiyelini artırmaktadır [16].



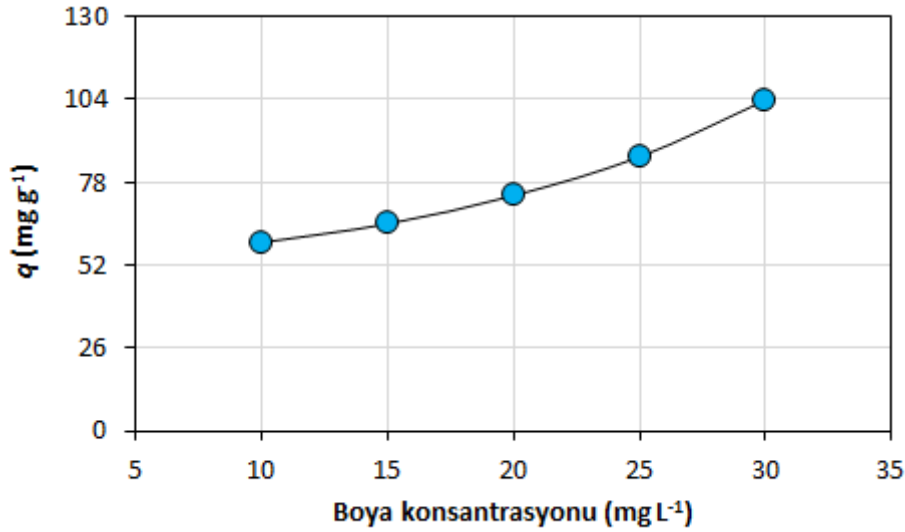
Şekil 1. pH etkisi

Biyosorbent materyalinin miktarının bir fonksiyonu olarak boya biyosorpsiyon verimi, Şekil 2'de gösterilmiştir. Sonuçlar, biyosorpsiyon kapasitesinin, artan biyosorbent miktarı ile azaldığını göstermiştir. Biyosorbent boya giderim potansiyelindeki azalma, biyosorpsiyon bölgelerinin doymamasına ve/veya partikül agregasyonuna bağlanmaktadır [1, 17].



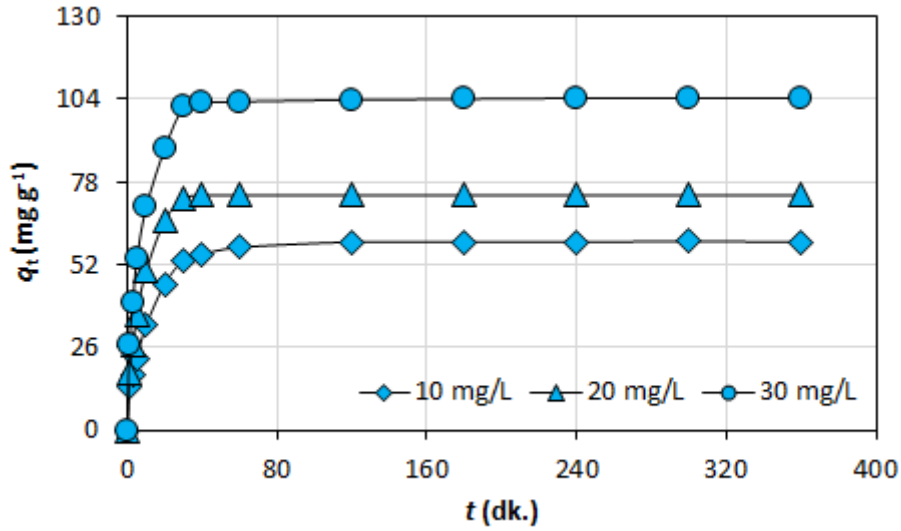
Şekil 2. Biyosorbent miktarın etkisi

Şekil 3'te görüldüğü gibi, biyosorbentın boya giderim potansiyeli, artan boya konsantrasyonu ile artmıştır. Bunun nedeni, yüksek boya konsantrasyonunun, biyosorpsiyon ortamı ile biyosorbent arasındaki boya moleküllerinin kütle transfer direncinin üstesinden gelmek için daha büyük bir itici güç sağlamasıdır [18].



Şekil 3. Boya konsantrasyonunun etkisi

Şekil 4, boya biyosorpsiyon süreci üzerine temas süresinin etkisini göstermektedir. Biyosorbentın boya biyosorpsiyon kapasitesi, zamanla artmış ve daha sonra hemen hemen sabit kalmıştır. İlk aşamalarda, yüksek boya biyosorpsiyonu, yüksek konsantrasyon gradientinin varlığı ve biyosorbent yüzeyinde bulunan çok sayıda boş alanın yüksek erişilebilirliği ile açıklanmaktadır. Son aşamalarda, düşük biyosorpsiyon hızı, aktif bölgelerin doygunluğuna ve biyosorbent üzerinde ve biyosorpsiyon ortamında bulunan boya molekülleri arasındaki itici kuvvetlerin artışına bağlanmaktadır [3, 19]. Böylece, optimum temas süresi, yaklaşık 40 dk. olarak belirlenmiştir.



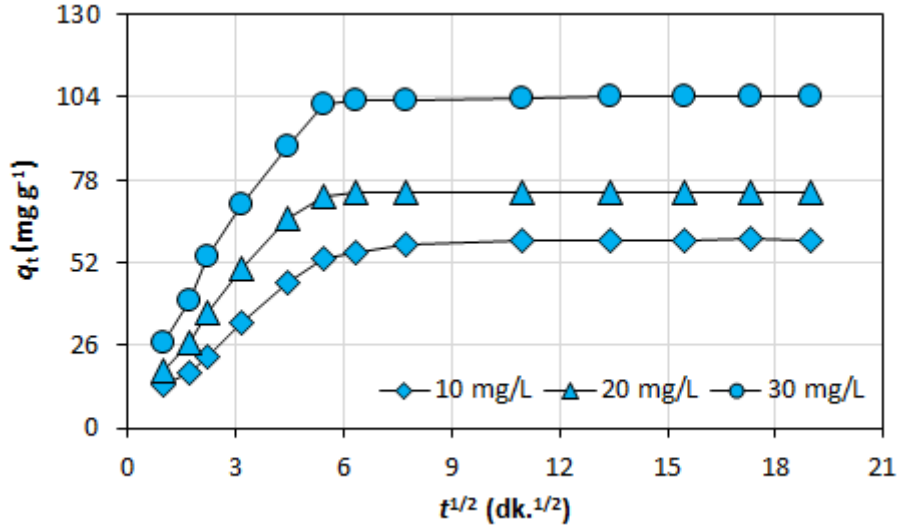
Şekil 4. Temas süresinin etkisi

3.2. Kinetik Modelleme Çalışması

Boya biyosorpsiyon işleminin mekanizmasını ortaya koymak için kinetik veriler, yalnızca birinci mertebe, yalnızca ikinci mertebe, Elovich ve parçacık içi difüzyon kinetik modelleri kullanılarak modellenmiştir. Bu modellerin parametreleri ve istatistiksel veriler, Tablo 1'de sunulmuştur. Yüksek R^2 değeri ve düşük SE değeri göz önünde bulundurulduğunda, yalnızca ikinci mertebe modeli, boya biyosorpsiyonu deneysel verilerine en iyi uygunluğu sağlamıştır. Bu model, biyosorbent yüzeyi ile boya molekülleri arasında elektronların paylaşımı veya değişimi ile değerlik kuvvetlerini kapsayan kimyasal bir proses öne sürmektedir [19, 20]. Boya biyosorpsiyon prosesi üzerine difüzyonun etkisini araştırmak için parçacık içi kütle transfer modeli de kullanılmıştır. Bu modelin teorisi, deneysel verileri kullanarak, q_t ile $t^{1/2}$ arasında çizilen şeklin doğrusal olması ve elde edilen bu doğrunun orijinden geçmesi durumunda, partikül içi difüzyonun, tek hız kontrol basamağı olmasıdır. Şekil 5'te görüldüğü gibi, bu çalışma için elde edilen şekiller, düz değildir ve orijinden geçmemiştir. Bu sonuçlar, biyosorpsiyon prosesinin, çok basamaklı mekanizmalar tarafından yönetilebileceğini göstermiştir [3, 5].

Tablo 1. Kinetik modelleme verileri

Model	Parametre	Değer
Yalancı birinci mertebe	q_e (mg g ⁻¹)	102,836
	k_1 (dk. ⁻¹)	0,139
	R^2	0,9792
	SE	5,285
Yalancı ikinci mertebe	q_e (mg g ⁻¹)	108,422
	k_2 (g mg ⁻¹ dk. ⁻¹)	0,002032
	R^2	0,9874
	SE	4,119
Elovich	α (mg g ⁻¹ dk. ⁻¹)	13,671
	β (g mg ⁻¹)	0,073
	R^2	0,9120
	SE	10,879
Parçacık içi difüzyon	C (mg g ⁻¹)	47,007
	k_p (mg g ⁻¹ dk. ^{-1/2})	4,156
	R^2	0,5684
	SE	24,091



Şekil 5. Partikül içi difüzyon modeli

3.3. Denge Modelleme Çalışması

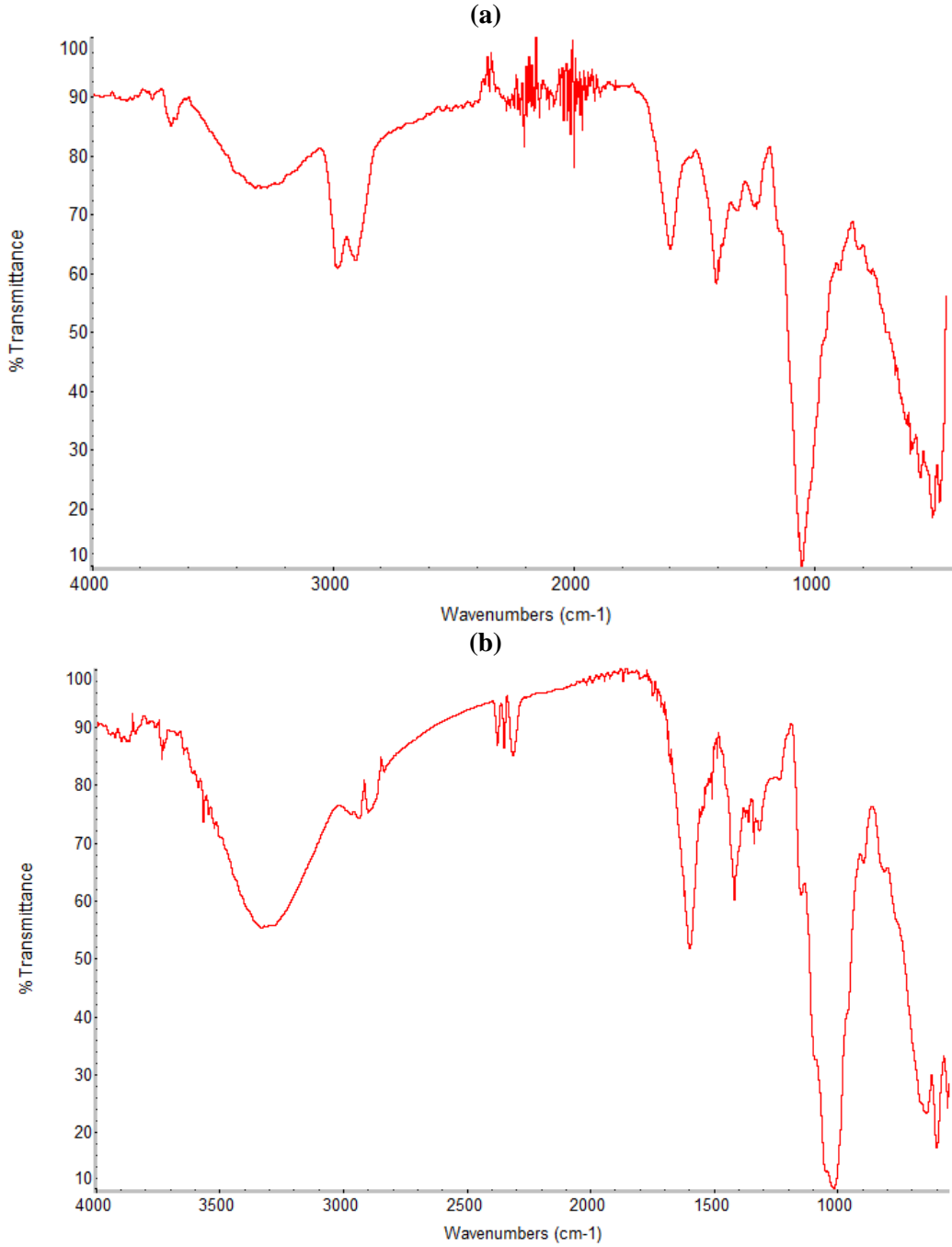
Boya biyosorpsiyon işleminin doğasını ortaya koymak için deneysel biyosorpsiyon denge verileri, Freundlich, Langmuir ve Dubinin-Radushkevich izoterm modelleri ile modellenmiştir. Bu izoterm modellerinin parametreleri ve R^2 ve SE değerleri, Tablo 2'de gösterilmektedir. İstatistiksel değerlendirme sonuçlarına göre, Freundlich modeli, boya biyosorpsiyonu denge verilerine en iyi uygunluğu göstermiştir. Freundlich izoterm modeli, boya biyosorpsiyonunun, biyosorbent heterojen yüzeyinde gerçekleştiğini ve boya arıtımının, çok basamaklı bir biyosorpsiyon işleminden kaynaklandığını ifade etmektedir [20, 21]. n_F ve R_L (separasyon faktörü) değerleri, sırasıyla 2,179 ve 0,114 olarak bulunmuştur. 1 ile 10 aralığındaki n_F değerleri ve 0 ile 1 aralığındaki R_L değerleri, bu boya biyosorpsiyon sisteminin, uygun bir arıtım prosesi olduğunu göstermiştir [1, 19]. Diğer taraftan, E değeri, 0,416 kJ mol⁻¹ olarak hesaplanmıştır. 8 kJ mol⁻¹'den küçük E (biyosorpsiyon serbest enerjisi) değeri, biyosorpsiyon sürecinin, fiziksel mekanizmalar vasıtasıyla kontrol edilebileceğini göstermektedir [1, 22].

Tablo 2. İzoterm modelleme verileri

Model	Parametre	Değer
Freundlich	K_F (mg g ⁻¹ (L mg ⁻¹) ^{1/n_F})	25,376
	n_F (-)	2,179
	R^2	0,9680
	SE	6,077
	Langmuir	q_m (mg g ⁻¹)
	K_L (L mg ⁻¹)	0,114
	R_L (-)	0,226-0,467
	R^2	0,9184
	SE	9,710
Dubinin-Radushkevich	q_m (mg g ⁻¹)	96,960
	E (kJ mol ⁻¹)	0,416
	R^2	0,7743
	SE	16,150

3.4. FTIR Analizi

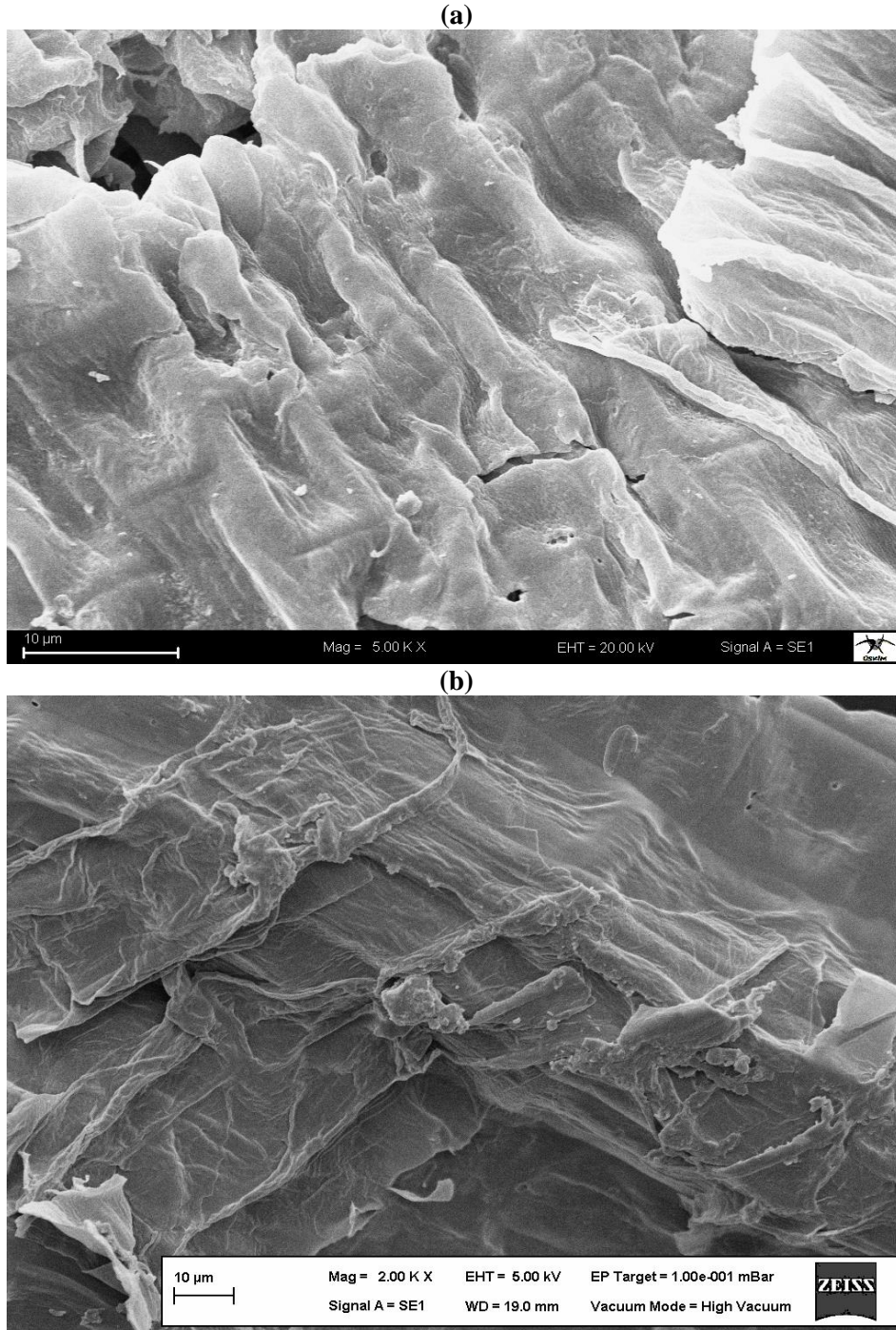
Şekil 6, biyosorbent materyalinin, biyosorpsiyon işlemi öncesine ve sonrasına ait FTIR spektrumunu göstermektedir. Biyosorbentın başlıca karakteristik FTIR pikleri, 3674, 3323, 2980, 2905, 1599, 1408, 1322, 1241, 1052, 894 ve 810 cm^{-1} olarak bulunmuştur (Şekil 6a). Biyosorbent yüzeyine boya biyosorpsiyonundan sonra bu piklerin pozisyonlarında ve yoğunluklarında çeşitli değişiklikler gözlemlenmiştir (Şekil 6b). Bu sonuçlar, biyosorbent yüzeyinde bulunan O-H, N-H, C-H, C=O, C=C, C-N ve C-O gibi farklı fonksiyonel grupların, elektrostatik çekim mekanizması yoluyla su ortamından boya moleküllerinin gideriminde önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir [4, 18, 21].



Şekil 6. Biyosorpsiyon işlemi öncesi (a) ve sonrası (b) FTIR spektrumu

3.5. SEM Analizi

Boya biyosorpsiyonu öncesi ve sonrası biyosorbentin morfolojik yapısı, SEM analizi ile karakterize edilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü gibi, biyosorbent, heterojen ve gözenekli bir yüzey morfolojisine sahiptir (Şekil 7a). Bu tür yapısal formlar, geniş bir yüzey alanı sağlayarak biyosorpsiyon işlemi etkin hale getirmektedir. Öte yandan, boya biyosorpsiyonundan sonra daha kompleks bir yüzey morfolojisi gözlenmiştir (Şekil 7b). Bu, biyosorbent yüzeyinin, boya molekülleri tarafından kaplanmasından kaynaklanmaktadır [5, 19].



Şekil 7. Biyosorpsiyon işlemi öncesi (a) ve sonrası (b) SEM görüntüsü

4. SONUÇ

Bu çalışmada, kimyasal olarak modifiye edilmiş *Z. marina* L. biyoatıkları, yeşil nesil arıtım uygulamaları kapsamında tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasına yönelik olarak ilk kez kullanılmıştır. Bazik kırmızı 46, renkli tekstil endüstrisi atıksuyunu simüle etmek için tipik bir model tekstil boyası olarak kullanılmıştır. Arıtma işlemi, çevresel koşullardan önemli ölçüde etkilenmiştir. Boya arıtımı için en uygun çalışma koşulları, biyosorbent miktarı, 10 mg, temas süresi, 40 dakika, pH, 8 ve boya konsantrasyonu, 30 mg L⁻¹ olarak belirlenmiştir. Yalancı ikinci mertebe kinetik modeli, deneysel verilere en iyi uyumu sağlarken denge verileri, en iyi Freundlich izotermi ile tanımlanmıştır. Biyosorbent malzemesinin maksimum tek tabaka boya biyosorpsiyon potansiyeli, 142,191 mg g⁻¹ olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, tekstil endüstrisi atık sularının arıtımına yönelik gelecek vaat eden yeşil nesil bir uygulamayı ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Rangabhashiyam S, Sujata L, Balasubramanian P. Biosorption characteristics of methylene blue and malachite green from simulated wastewater onto *Carica papaya* wood biosorbent. Surf Interfaces. 2018; 10: 197-215.
- [2] Santos SCR, Boaventura RAR. Adsorption of cationic and anionic azo dyes on sepiolite clay: Equilibrium and kinetic studies in batch mode. J Environ Chem Eng. 2016; 4: 1473-1483.
- [3] Li C, Wang X, Meng D, Zhou L. Facile synthesis of low-cost magnetic biosorbent from peach gum polysaccharide for selective and efficient removal of cationic dyes. Int J Biol Macromol. 2018; 107: 1871-1878.
- [4] Cardoso NF, Pinto RB, Lima EC, Calvete T, Amavisca CV, Royer B, et al. Removal of remazol black B textile dye from aqueous solution by adsorption. Desalination. 2011; 269: 92-103.
- [5] Albadarin AB, Solomon S, Daher MA, Walker G. Efficient removal of anionic and cationic dyes from aqueous systems using spent Yerba Mate "*Ilex paraguariensis*". J Taiwan Inst Chem Eng. 2018; 82: 144-155.
- [6] Nayak AK, Pal A. Rapid and high-performance adsorptive removal of hazardous acridine orange from aqueous environment using *Abelmoschus esculentus* seed powder: Single- and multi-parameter optimization studies. J Environ Manage. 2018; 217: 573-591.
- [7] Kuusemäe K, von Thenen M, Lange T, Rasmussen EK, Pothoff M, Sousa AI, et al. Agent Based Modelling (ABM) of eelgrass (*Zostera marina*) seedbank dynamics in a shallow Danish estuary. Ecol Model. 2018; 371: 60-75.
- [8] Sousa AI, Valdemarsen T, Lillebø AI, Jørgensen L, Flindt MR. A new marine measure enhancing *Zostera marina* seed germination and seedling survival. Ecol Eng. 2017; 104: 131-140.
- [9] Lagergren S. About the theory of so-called adsorption of soluble substances. K Sven Vetenskapsakad Handl. 1898; 24: 1-39.
- [10] Ho YS. Review of second-order models for adsorption systems. J Hazard Mater. 2006; 136: 681-689.
- [11] Chien S, Clayton W. Application of Elovich equation to the kinetics of phosphate release and sorption in soils. Soil Sci Soc Am J. 1980; 44: 265-268.

- [12] Weber WJ, Morris JC. Kinetics of adsorption on carbon from solution. J Sanit Eng Div Am Soc Civ Eng. 1963; 89: 31-60.
- [13] Freundlich HMF. Over the adsorption in solution. Z Phys Chem. 1906; 57: 385-470.
- [14] Langmuir I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. J Am Chem Soc. 1918; 40: 1361-1403.
- [15] Dubinin MM, Radushkevich LV. Equation of the characteristic curve of activated charcoal. Proc Acad Sci Phys Chem Sec USSR. 1947; 55: 331-333.
- [16] Konicki W, Hełminiak A, Arabczyk W, Mijowska E. Adsorption of cationic dyes onto Fe@graphite core-shell magnetic nanocomposite: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. Chem Eng Res Des. 2018; 129: 259-270.
- [17] dos Santos A, Viante MF, Pochapski DJ, Downs AJ, Almeida CAP. Enhanced removal of p-nitrophenol from aqueous media by montmorillonite clay modified with a cationic surfactant. J Hazard Mater. 2018; 355: 136-144.
- [18] Nayak AK, Pal A. Green and efficient biosorptive removal of methylene blue by *Abelmoschus esculentus* seed: Process optimization and multi-variate modeling. J Environ Manage. 2017; 200: 145-159.
- [19] Reck IM, Paixão RM, Bergamasco R, Vieira MF, Vieira AMS. Removal of tartrazine from aqueous solutions using adsorbents based on activated carbon and *Moringa oleifera* seeds. J Clean Prod. 2018; 171: 85-97.
- [20] Mokhtar N, Aziz EA, Aris A, Ishak WFW, Mohd Ali NS. Biosorption of azo-dye using marine macro-alga of *Euchema spinosum*. J Environ Chem Eng. 2017; 5: 5721-5731.
- [21] Guo H, Bi C, Zeng C, Ma W, Yan L, Li K, et al. *Camellia oleifera* seed shell carbon as an efficient renewable bio-adsorbent for the adsorption removal of hexavalent chromium and methylene blue from aqueous solution. J Mol Liq. 2018; 249: 629-636.
- [22] Agarwal S, Gupta VK, Ghasemi M, Azimi-Amin J. *Peganum harmala*-L Seeds adsorbent for the rapid removal of noxious brilliant green dyes from aqueous phase. J Mol Liq. 2017; 231: 296-305.