

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

**Ahmet Bircan USLU¹, Onur Gürkan ELBAĞLI², Yakup ŞEN³ Deniz UZUNOĞLU⁴
Ayla ÖZER⁵**

ACID BLUE 121 BOYAR MADDESİNİN MUZ KABUĞUNA KESİKLİ SİSTEMDE ADSORBSİYONUNUN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Bu çalışmada, Acid Blue 121 (AB 121)'in tarımsal bir atık olan muz kabuğu (MK)'na adsorbsiyonuna başlangıç pH'sı, sıcaklık, başlangıç boyar madde derişimi ve adsorbent derişiminin etkisi kesikli bir sistemde araştırılmıştır. AB 121'in MK'na adsorbsiyonu denge verilerinin Langmuir izoterm modeline çok iyi uyduğu; MK'nun maksimum tek tabaka adsorpsiyon kapasitesinin 141 mg/g olduğu saptanmıştır. AB 121'nin MK'na adsorbsiyonu kinetiğinin yalancı ikinci merteye kinetik modeli ile temsil edilebileceği ayrıca giderimde tanecik içi ve tanecik dışı difüzyonunun etkili olduğu sonucuna varılmıştır. AB 121'in MK'na adsorbsiyonuna ait termodinamik parametreler belirlenmiş; çalışılan adsorpsiyon sisteminin ekzotermik ve kendiliğinden gerçekleştiği gözlenmiştir. MK'nun FTIR, SEM ve EDX analizleri ile karakterizasyonu çalışmaları da gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Acid Blue 121, Adsorpsiyon, Muz kabuğu, Tarımsal atık

THE INVESTIGATION OF THE ADSORPTION OF ACID BLUE 121 ON BANANA SHELL IN A BATCH SYSTEM

ABSTRACT

In this study, the effects of initial pH, temperature, initial dye concentration and adsorbent concentration to the adsorption of Acid Blue 121 (AB 121) on banana shell (MK), an agricultural waste, was investigated in a batch system. It was obtained that the equilibrium data of AB 121 adsorption on MK was well fitted to the Langmuir isotherm model and the maximum monolayer adsorption capacity of MK was to be 141 mg/g. It was concluded that the kinetic of AB 121 adsorption on MK could be described with the pseudo second order kinetic model, and also the external and intraparticle diffusion were effective in the actual adsorption process. The thermodynamic parameters of AB 121 adsorption on MK were determined and it was observed that the adsorption of AB 121 on MK was exothermic and spontaneous in nature. The characterization studies of adsorbent were carried out with FTIR, SEM and EDX analysis methods.

Keywords: Acid Blue 121, Adsorption, Banana shell, Agricultural waste

Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, 33160 Mersin

¹ E-posta: ahmet_faramir_92@hotmail.com

² E-posta: gurkanelbagli@gmail.com

³ E-posta: yakup.21@gmail.com

⁴ E-posta: denizuzunoglu4@gmail.com

⁵ E-posta: ayozer@mersin.edu.tr

Geliş: 30 Eylül 2014 **Düzelme:** 09 Ocak 2015 **Düzelme:** 18 Şubat 2015 **Düzelme:** 18 Mart 2015 **Kabul:** 19 Mart 2015

1. GİRİŞ

Su kirliliği; su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen ve doğrudan/dolaylı yoldan biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, balıkçılıkta, su kalitesinde ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında engelleyici bozulmalar yaratacak madde veya enerji atıklarının boşaltılmasını ifade etmektedir. Atık sularındaki kirleticilerin çeşitleri ve derişimleri su kaynağına bağlıdır. Türkiye’de hızla büyüyen endüstrilerden biri olan tekstil endüstrisi proseslerinde çok miktarda su kullanılmakta, kimyasal ve biyolojik ayrışmaya karşı dirençli boyar maddelerin kullanılması sonucu oluşan atık suları alıcı ortama verilerek çevre kirliliği oluşturmaktadır. Boyar madde içeren atık suların arıtımında rengin giderilmesinde biyolojik proseslerin yetersizliği nedeniyle koagülasyon-flokülasyon, oksidasyon, ozonlama vb. gibi daha yüksek verimli arıtma yöntemleri uygulanmaktadır. Arıtımda kullanılan bu yöntemlerin pahalı, yatırım ve işletme maliyeti yüksek, daha toksik kirlilikleri oluşturmaya gibi dezavantajları bulunurken, adsorpsiyon tekniği uygulanmasının kolay, rejenerasyona elverişli, ucuz ve etkili bir yöntem olması, adsorpsiyon prosesini son zamanlarda tercih edilen bir yöntem haline getirmiştir. Arıtımda maliyeti azaltmak için doğada bol ve ucuz bulunabilen endüstriyel ve tarımsal atıklar adsorbent olarak denenmekte ayrıca verimli yöntemler belirleme çalışmaları sürmektedir (Uzunoğlu, 2014). Literatürde boyar madde adsorpsiyonunda atık muz özü, elma posası, buğday kabuğu, pirinç kabuğu külü, portakal kabuğu, limon kabuğu, sarımsak kabuğu, nar kabuğu, patates kabuğu gibi birçok atık maddenin adsorbent olarak kullanıldığı çalışma mevcuttur. Bu çalışmada, özellikle Mersin’de kolay ve bol bulunabilen, düşük maliyetli ve çevre dostu tarımsal bir atık olan muz kabuğunun, hiçbir kimyasal işleme tabii tutulmadan asidik boyar madde gideriminde adsorbent olarak kullanımı araştırılmıştır.

2. MATERYAL - METOD

Adsorpsiyon çalışmaları; sabit sıcaklıkta ve karıştırma hızında çalışabilen çalkalayıcıda kesikli olarak gerçekleştirilmiştir. Muz kabukları, herhangi bir kimyasal işleme tabii tutulmadan kurutulmuş; öğütülmüş; istenilen tanecik boyutuna (<500 µm) getirilerek deneylerde kullanılmıştır. Adsorpsiyon çalışmaları için ilk olarak; stok boyar madde çözeltisinden (1,0 g/L) istenilen derişime seyreltilerek hazırlanan boyar madde çözeltisi çalışma hacmi 100 mL olacak şekilde 250 mL’lik erlenlere alınmış; çözelti pH’sı istenilen değere ayarlanmıştır. Daha sonra; istenilen miktardaki MK, hazırlanan boyar madde çözeltisi ile karıştırılarak sabit sıcaklık ve çalkalama hızında çalışabilen bir çalkalayıcıda 120 dakika süre ile çalkalanmıştır. Deneyler sırasında önceden belirlenen zamanlarda örnekler alınarak santrifüjleme ile sıvı kısım katı kısımdan ayrılmıştır. Ayrılan sıvı örneklerdeki adsorbandan kalan boyar madde derişimleri, spektrofotometrede 610 nm dalga boyunda absorbans okunarak belirlenmiştir. Deneyler; başlangıç pH’sı, sıcaklık, başlangıç boyar madde derişimi ve adsorbent derişimleri için tekrarlanmıştır. Ayrıca, MK’nun karakterizasyonu için Perkin Elmer Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrometresi ile 4000-400 cm⁻¹ yüzde geçirgenlik aralığında FTIR analizleri, Zeiss/Supra 55 Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu ile platin kaplanarak SEM ve EDX analizleri yapılmıştır.

3. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

3.1. Çevresel Koşulların Etkisi

Acid Blue 121 boyar maddesinin muz kabuğuna adsorpsiyonuna başlangıç pH’sı, sıcaklık, başlangıç boyar madde derişimi ve adsorbent derişiminin etkileri kesikli sistemde incelenmiştir.

AB 121’in MK’na adsorpsiyonuna başlangıç pH’sının etkisi diğer ortam koşulları sabit tutulup (C₀=100 mg/L; T=25 °C; X₀=1,0 g/L), başlangıç pH değerleri 2,0-5,0 arasında değiştirilerek araştırılmış; farklı başlangıç pH değerleri için birim adsorbent kütlelerinde adsorblanan AB 121 miktarlarının zamanla derişimi Şekil 1.(a)’da sunulmuştur. Sabit başlangıç pH değerinde zamanla adsorblanan AB 121 miktarlarının arttığı; başlangıç pH’sının 2,0 değerinde 30. dakikada dengeye ulaşıldığı daha yüksek başlangıç pH değerlerinde ise 60.dakikada adsorpsiyon dengesinin kurulduğu Şekil 1.(a)’dan görülmektedir. Şekil 1.(a)’ya göre, 120 dakikalık adsorpsiyon süresi boyunca başlangıç pH’sının 2,0 değerinde en yüksek giderimler elde edilmiş, daha yüksek pH değerlerinde ise adsorblanan miktarlarda azalma gözlenmiştir. Düşük başlangıç pH değerlerinde yüksek giderimlerin elde edilmesi, adsorbentin

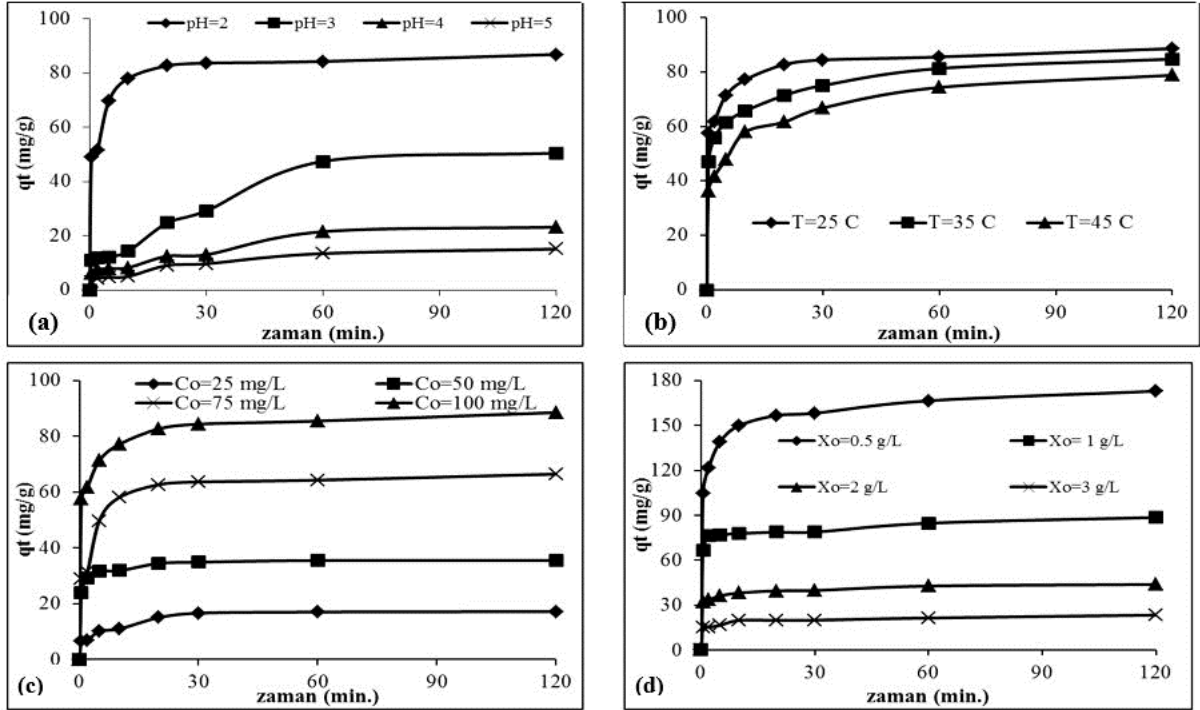
izoelektrik noktası ile açıklanabilir. Adsorbentin izoelektrik noktasının altındaki düşük pH değerlerinde adsorbent yüzeyinin pozitif yüklerle yüklenmesi ile anyonik yapılı asidik boyar maddenin elektrostatik etkileşimi sonucu giderimler artmaktadır. Sivaraç vd. (2001), acid violet 17 boyar maddesinin portakal kabuğuna adsorbsiyonu çalışmalarında başlangıç pH'sının 2,0 değerinde yüksek giderimler elde etmişlerdir.

AB 121'in MK'na adsorbsiyonuna sıcaklığın etkisi diğer ortam koşulları sabit tutulup (pH=2,0; $C_o=100$ mg/L; $X_o=1,0$ g/L), sıcaklıklar 25-45 °C arasında değiştirilerek araştırılmıştır. Farklı sıcaklıklar için birim adsorbent kütlelerinde adsorplanan boyar madde miktarlarının zaman ile değişimi Şekil 1.(b)'de sunulmuş; optimum sıcaklık 25 °C olarak belirlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda adsorplanan AB 121 miktarlarının yüksek oluşu adsorbsiyonun ekzotermik ve fiziksel karakteri ile açıklanabilir.

AB 121'in MK'na adsorbsiyonuna başlangıç AB 121 derişiminin etkisi diğer ortam koşulları sabit tutulup (pH=2,0; T=25 °C; $X_o=1,0$ g/L), başlangıç AB 121 derişimi 25-100 mg/L arasında değiştirilerek araştırılmıştır. Farklı başlangıç AB 121 derişimleri için birim adsorbent kütlelerinde adsorplanan boyar madde miktarlarının zaman ile değişimi Şekil 1.(c)'de sunulmuş; düşük başlangıç AB 121 derişimlerinden başlayarak AB 121 derişiminin artışı ile sürücü güç, ΔC 'nin artması sonucu adsorplanan miktarların arttığı gözlenmiştir. Başlangıç AB 121 derişiminin 100 mg/L değerinden daha yüksek derişimlerinde pH'ya bağlı olarak çökme gözlenmiş; bu nedenle daha yüksek derişimlerde çalışılmamıştır. Literatürdeki benzer adsorpsiyon çalışmalarında sürücü gücün artması ile adsorplanan miktarların arttığı gözlenmiştir (Hossain et al. 2012; Khaled et al. 2009; Hameed et al. 2009).

AB 121'in MK'na adsorbsiyonuna adsorbent derişiminin etkisi diğer ortam koşulları sabit tutulup (pH=2,0; T=25 °C; $C_o=100$ mg/L), adsorbent derişimi 0,5-3,0 g/L arasında değiştirilerek araştırılmıştır. Farklı adsorbent derişimleri için birim adsorbent kütlelerinde adsorplanan AB 121 miktarlarının zaman ile değişimi Şekil 1.(d)'de sunulmuş; 120 dakikalık adsorpsiyon süresi boyunca en yüksek birim adsorbent kütlelerinde adsorplanan AB 121 miktarları 0,5 g/L adsorbent derişiminde elde edilmiştir. Daha yüksek adsorbent derişimlerinde birim adsorbent kütlelerinde adsorplanan miktarların azalması, yüksek adsorbent derişimlerinde adsorbent birbiri ile temasının artışına paralel olarak yığın ve topaklaşmalar oluşması sonucu aktif yüzey alanının azalması ile açıklanabilir (Adebayo et al. 2014). Azhar vd. (2005), metil red boyar maddesinin şeker kamışına adsorbsiyonunda adsorbent derişiminin artışı ile birim adsorbent kütlelerinde adsorplanan miktarlarda azalma gözlediklerini kaydetmişlerdir.

AB 121'in MK'na adsorbsiyonunda farklı başlangıç pH'sı, başlangıç boyar madde derişimi, sıcaklık ve adsorbent derişimi için adsorbsiyona temas süresinin etkisi Şekil 1'de görülmektedir. Şekil 1'den, adsorplanan AB 121 miktarlarının zamanla arttığı belli bir süreden sonra ortam koşullarına bağlı olarak adsorbent yüzeyinin boyar madde anyonlarınca doygunluğa ulaşması sonucu giderilen miktarların yaklaşık sabitlendiği gözlenmektedir. AB 121'in MK'na adsorbsiyonu bulguları farklı çevresel koşullar için değerlendirilerek, 60 dakikalık süre denge temas süresi olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Çevresel koşulların AB 121'nin MK'na adsorbsiyonuna etkisi

3.2. Adsorpsiyon Dengesinin Modellenmesi

AB 121'in MK'na adsorbsiyonunda farklı sıcaklıklarda elde edilen deneysel denge verilerine, Langmuir $[(1/q_d)=(1/Q^\circ \cdot b \cdot C_d)+(1/Q^\circ)]$, Freundlich $[(\ln q_d)=\ln K_f+(1/n)(1/C_d)]$ ve Dubinin–Radushkevich $[\ln(q_d)=\ln(q_m)-\beta \cdot E^2]$ izoterm modelleri uygulanmış; izoterm sabitleri ile regresyon katsayıları (R^2) Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1'den, R^2 değerlerine göre deneysel denge verilerinin en iyi Langmuir izoterm modeline uyduğu ve adsorbsiyonun tek tabakalı olduğu sonucuna varılmıştır. AB 121'in MK'na adsorbsiyonunda maksimum tek tabaka adsorpsiyon kapasitesi optimum sıcaklıkta (25 °C) 141,1 mg/g olarak belirlenmiştir. 25 °C'den yüksek sıcaklıklarda MK'nun tek tabaka adsorpsiyon kapasitesinde azalma gözlenmiş olması optimum sıcaklık değerini doğrulamaktadır. Literatürde, meyve kabuğu ve çekirdeği gibi tarımsal atıkların adsorbent olarak kullanıldığı çeşitli adsorpsiyon çalışmaları bulunmaktadır ve çalışılan adsorpsiyon prosesleri için denge verilerinin Langmuir izoterm modeline uyduğu belirlenmiştir (Nemr et al. 2009; Hameed, 2009; Achak et al. 2009; Amin, 2009; El-Ashtoukhy et al. 2008).

AB 121'in MK'na adsorbsiyonunda denge verilerine D-R izoterm modeli uygulanmış; 25 °C sıcaklıkta adsorpsiyon enerjisi 750,7 J/mol olarak belirlenmiştir. Dubinin–Radushkevich (D-R) izoterm modeline göre adsorpsiyon enerjisinin çeşitli değerleri için adsorpsiyonda etkili çeşitli mekanizmalar önerilmiştir. Buna göre; $E=8,0-16$ kJ/mol ise adsorpsiyon “iyon değişimi”, $E<8,0$ kJ/mol ise adsorpsiyon “fiziksel”, $E>16$ kJ/mol ise adsorpsiyon “kimyasal”dır. Bu çalışmada elde edilen E değerinin 8,0 kJ/mol'den küçük olması nedeniyle AB 121'in MK'na bağlanmasının fiziksel adsorpsiyon ile olduğu sonucuna varılmıştır. Freundlich izoterm modelinden elde edilen $1/n$ değerlerinin 1,0'den küçük olması, AB 121'in MK ile gideriminin adsorpsiyon yöntemi ile olduğunun diğer bir göstergesidir (Salman et al. 2011). Azouaou vd. (2010), kadmiyum iyonlarının kahve taneciklerine adsorbsiyonunda; Nemr vd. (2009), portakal kabuğundan üretilen aktif karbona Direct Blue 86 boyar maddesinin adsorbsiyonunda; denge verilerine D-R modelini uyguladıklarını, adsorpsiyon enerjisini ($E=1,29$ kJ/mol) 8,0 kJ/mol'den daha düşük belirlediklerini, giderimin fiziksel adsorpsiyon ile olduğunu vurgulamışlardır.

Tablo 1. Deneysel denge verilerinin izoterm modellerine uygulanmasından hesaplanan izoterm sabitleri ve R² değerleri

T (°C)	Langmuir İzoterm Modeli			Freundlich İzoterm Modeli			Dubinin-Radushkevich İzoterm Modeli		
	Q ^o	b	R ²	K _f	1/n	R ²	q _m	E	R ²
25	141,1	0,0249	0,9901	1,0138	0,3464	0,9764	145,1	750,7	0,9942
35	137,2	0,0252	0,9916	4,1495	0,8135	0,9947	106,0	474,7	0,9927
45	132,8	0,0355	0,9954	6,4480	0,7197	0,9782	109,1	419,3	0,9984

Q^o(mg/g) ; b(L/mg); K_f(mg/g)(L/mg)^{1/n}; q_m(mg/g); E (J/mol)]

3.3. Kinetik Modelleme

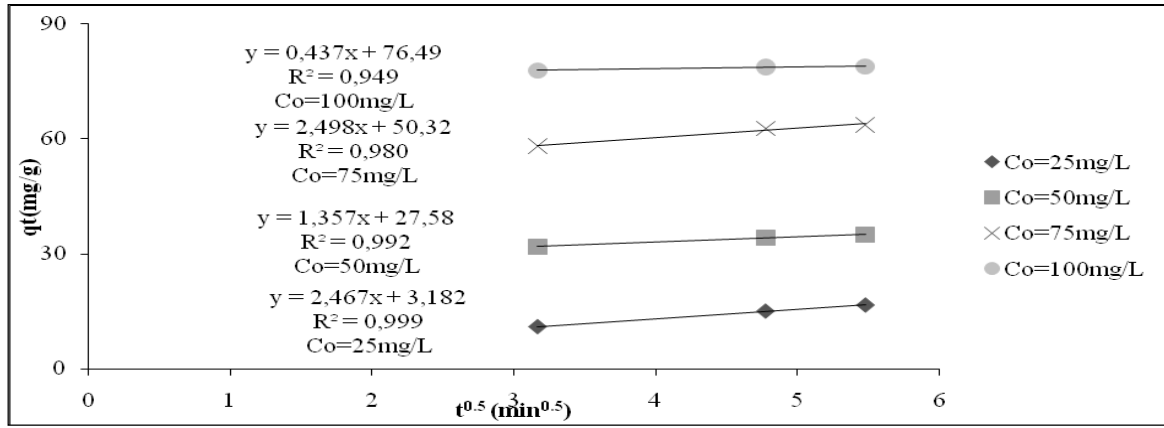
AB 121'in MK'na adsorpsiyonu kinetiğinin araştırılması amacıyla deneysel verilere yalancı birinci $[\log(q_d - q_t) = \log(q_d) - k_1 t / 2,303]$ ve yalancı ikinci merteye $[(t/q_t) = (1/q_d^2 \cdot k_2) + (t/q_d)]$ kinetik modelleri uygulanmış; başlangıç pH=2,0; C_o=100 mg/L; X_o=1,0 g/L olduğu koşullarda hesaplanan model sabitleri Tablo 2'de sunulmuştur. Tablo 2'den; yalancı birinci merteye kinetik modeli ile düşük R² değeri elde edilmiş; ayrıca modelden hesaplanan q_t değerleri ile deneysel q_t değerlerinin farklı olması nedeniyle yalancı birinci merteye kinetik modelinin AB 121'in MK'na adsorpsiyonu kinetiğini tanımlamadığı sonucuna varılmıştır. Yalancı ikinci merteye kinetik model değerlendirildiğinde; yüksek R² değeri elde edilmiş, deneysel ve hesaplanan q_t değerleri uyumlu bulunmuştur. Sonuç olarak, AB 121'in MK'na adsorpsiyonu kinetiğinin yalancı ikinci merteye kinetik modeline uygun olduğu belirlenmiştir. Literatürdeki benzer adsorpsiyon çalışmalarında, kinetik verilerin yalancı ikinci merteye kinetik modeli ile temsil edilebileceği vurgulanmıştır (Nemr et al. 2009; Hameed, 2009; Achak et al. 2009; Amin, 2009; El-Ashtoukhy et al. 2008).

Tablo 2. AB 121'nin MK'na adsorpsiyonunda kinetik modellerden hesaplanan sabitler

t (min)	Q _{t,deneysel} (mg/g)	k ₁ (1/min)	Q _{t,teorik} (mg/g)	k ₂ (g/mg.min)	Q _{t,teorik} (mg/g)
0	0	0,02211 (R ² =0,8364)	0	0,00981 (R ² =0,9988)	0
0,5	66,64		14,05		66,52
2	76,24		28,79		77,99
5	76,96		39,70		78,12
10	77,84		41,86		78,54
20	78,72		56,85		79,54
30	82,80		43,44		80,62
60	84,72		43,85		85,81
120	88,56		92,30		89,62

3.4. Weber-Morris (Tanecik İçi Difüzyon) Modeli

AB 121'in MK'na adsorbsiyonunda iç ve dış kütle aktarım etkilerinin belirlenmesi amacıyla verilere Weber-Morris tanecik içi difüzyon modeli [$q_t = K_i \cdot t^{0.5} + I$] uygulanmış; $t^{0.5}$ e karşı birim adsorbent kütlelerinde adsorblanan AB 121 miktarlarının grafiğe geçirilmesi ile elde edilen doğrular ve denklemleri Şekil 2'de sunulmuştur. Farklı başlangıç AB 121 derişimlerinde Weber-Morris modeline göre elde edilen doğruların denklemlerinde kayma değerlerinin bulunması, AB 121'nin MK'na adsorbsiyonunda tanecik içi difüzyonun yanı sıra dış film difüzyonunun da etkili olduğunu bir göstergesidir. Ayrıca; başlangıç AB 121 derişiminin artışı ile kayma değerlerinin artmış olması dış difüzyon direncinin azaldığını göstermektedir. Çeşitli tarımsal atıkların adsorbent olarak kullanıldığı birçok adsorpsiyon çalışmasında, adsorpsiyon kinetiğinin yalancı ikinci mertbe kinetik modeline uyduğu ve adsorbsiyonda tanecik içi ve dışı difüzyonunun da etkili olduğu belirlenmiştir (Nemr et al. 2009; Hameed, 2009; Achak et al. 2009; Amin, 2009; El-Ashtoukhy et al. 2008).



Şekil 2. Farklı başlangıç AB121 derişimlerinde elde edilen Weber-Morris grafikleri ve denklemleri (başlangıç pH=2,0; sıcaklık=25 °C; X₀=1,0 g/L)

3.5. Termodinamik Parametrelerin Belirlenmesi

AB 121'in MK'na adsorbsiyonunda sıcaklığın etkisinin ayrıntılı değerdendirilmesi amacı ile Gibbs serbest enerji değışımi (ΔG), entalpi değışımi (ΔH) ve entropi değışımi (ΔS) gibi termodinamik parametreler Van't Hoff eşitliği ($\ln(K_c) = (\Delta S/R) - (\Delta H/RT) = (\Delta G)$) yardımı ile belirlenmiş; sonuçlar Tablo 3'de sunulmuştur. Tablo 3'den; ΔG , ΔH ve ΔS değerdelerinin negatif olduğu; bu nedenle AB 121'in MK'na adsorbsiyonunun ekzotermik ($\Delta H < 0$), istemli ($\Delta G < 0$) ve katı/sıvı ara yüzeyinde yapısal değışıklık olmaksızın yürüyen stabil ($\Delta S < 0$) bir sistem olduğu sonucuna varılmıştır. Literatürde benzer adsorpsiyon proseslerinin ekzotermik ve istemli olarak gerçekteştiğini gösteren birçok çalışma mevcuttur (Chieng et al. 2015; Foo and Hameed, 2012; Bhatnagar et al. 2010a; Bhatnagar et al. 2010b).

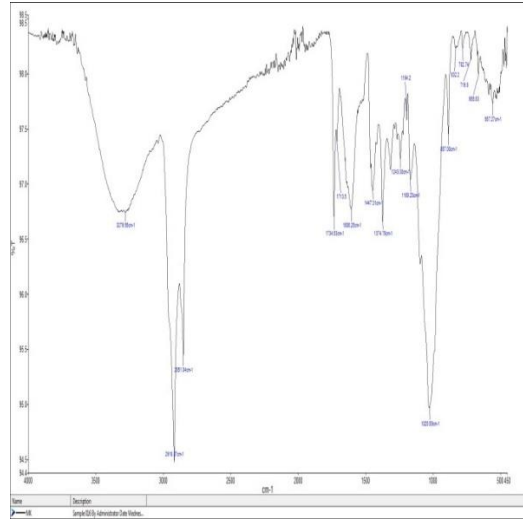
Tablo 3. AB 121'nin MK'na adsorbsiyonunda elde edilen termodinamik parametreler

T (°C)	ΔG (J/mol)	ΔH (J/mol)	ΔS (J/mol.K)
298	-4854,93	-11748,0	-23,10
303	-4648,43		
313	-4392,84		

3.6. Muz Kabuğunun Karakterizasyonu

Kullanılan belli tanecik boyutundaki muz kabuğunun içeriğindeki fonksiyonel grupların belirlenmesi FT-IR; yüzey özelliklerinin belirlenmesi SEM ve elementel bileşiminin belirlenmesi EDX analizi ile yapılmıştır. MK'na ait FT-IR spektrumu Şekil 3'de; piklerin detaylı gösterimi ise Tablo 4'de verilmiştir. Ayrıca; MK'nun SEM görüntüsü ve EDX spektrumu Şekil 4'de sunulmuştur.

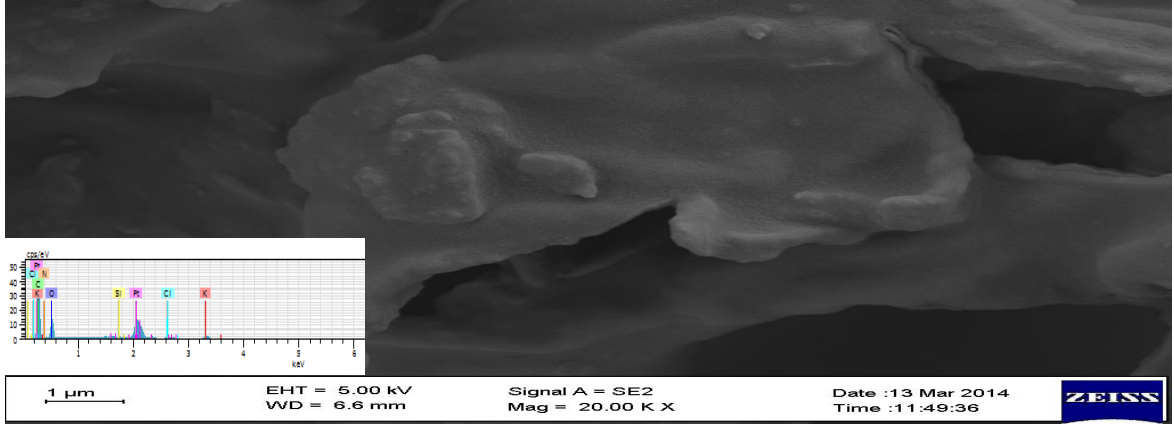
Şekil 3 ve Tablo 4'e göre; çalışılan muz kabuğunun (MK) amin, karbonil, fosfat ve alkan gruplarının yanı sıra C-H ve C-N bağlarını içerdiği belirlenmiştir. Ayrıca Şekil 4'e göre MK'nun gözenekli bir yapıya sahip olduğu, EDX analizi ile çalışılan MK'nun kütlece %68 C, %24 O, %3,0 K ve %3,0 N, ve %0,82 Cl ve %0,37 Si bileşiminde olduğu saptanmıştır.



Şekil 3. MK'na ait FT-IR spektrumu

Tablo 4. FT-IR piklerinin detaylı gösterimi

Frekans (cm ⁻¹)	Fonksiyonel Grup
3279,55	N-H
2918,87	-CHO'a ait C-H
2851,04	
1734,53	C=O
1713,60	
1505,25	=C-H
1447,31	C-H
1374,76	C-N
1243,00	C=O
1194,20	C-N
1169,20	
1025,59	
887,00	C-H
832,2	
782,74	
719,80	=C-H
557,27	PO ₄ ³⁻



Şekil 4. MK'na ait SEM görüntüsü ve EDX spektrumu

4. SONUÇLAR

AB 121'in MK'na adsorbsiyonunda optimum ortam koşulları olarak başlangıç pH'sı 2,0; sıcaklık 25 °C ve adsorbent derişimi 0,5 g/L belirlenmiştir. AB 121'in MK'na adsorbsiyonu dengesinin Langmuir izoterm modeline çok iyi uyduğu ve MK'nun AB 121'i maksimum tek tabaka adsorplama kapasitesinin 141 mg/g olduğu saptanmıştır. AB 121'in MK'na adsorbsiyonu kinetiğinin yalancı ikinci mertebe kinetik modeline uygun olduğu; çalışılan adsorpsiyon prosesinde tanecik içi ve dışı film difüzyonunun etkili olduğu belirlenmiştir. Gibbs serbest enerji değişimi (ΔG), entalpi değişimi (ΔH) ve entropi değişimi (ΔS) gibi termodinamik parametreler belirlenmiş; AB 121'nin MK'na adsorbsiyonunun ekzotermik, istemli ve katı/sıvı ara yüzeyinde yapısal değişiklik olmaksızın yürüyen stabil bir sistem olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışılan muz kabuğunun FT-IR analizi ile amin, karbonil, fosfat ve alkan gruplarının yanı sıra C-H ve C-N bağlarını içerdiği; EDX analizi ile kütlece %68 C, %24 O, %3,0 K ve %3,0 N, ve %0,82 Cl ve %0,37 Si bileşenlerine sahip olduğu saptanmıştır. Bu çalışma ile Mersin'de bol bulunabilen, ucuz ve çevre dostu tarımsal bir atık olan muz kabuğunun, asidik boyar madde içeren atık suların, adsorpsiyon yöntemi ile arıtımında etkin ve verimli bir adsorbent olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Simgeler ve Kısaltmalar

q_d	: Dengede adsorbentin birim kütlesinde adsorblanan boyar madde miktarı (mg/g),
$q_{d,den}$: Deneysel birim kütlesinde adsorblanan boyar madde miktarı (mg/g),
$q_{d,hes1}$: Yalancı birinci mertebe kinetik modeli kullanılarak hesaplanan birim kütlesinde adsorblanan boyar madde miktarı (mg/g),
$q_{d,hes2}$: Yalancı ikinci mertebe kinetik modeli kullanılarak hesaplanan birim kütlesinde adsorblanan boyar madde miktarı (mg/g),
C_d	: Dengede çözeltide adsorblanmadan kalan boyar madde derişimi (mg/L),
C_o	: Başlangıç boyar madde derişimi (mg/L),
Q^o	: Yüzeyde tam bir tabaka oluşturmak için, adsorbentin birim kütlesinde adsorblanan boyar madde miktarı (mg/g),
K_F	: Adsorbentin adsorplama kapasitesi (mg/g)(L/mg) ^{1/n} ,
q_m	: Adsorbentin maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g),
E	: Adsorpsiyon enerjisi (J/mol),
t	: Zaman (min),
K_i	: Tanecik içi difüzyon sabiti (mg/g.min ^{0.5}),
I	: Kayma değeri, dış kütle aktarımı ile ilgili sabit,
k_1	: Yalancı birinci mertebe hız sabiti (1/min),
k_2	: Yalancı ikinci mertebe hız sabiti (g/mg.min),
R	: İdeal gaz sabiti (J/mol.K),
R^2	: Regresyon katsayısı,
T	: Sıcaklık (K, °C),

K_c	: Adsorpsiyon denge sabiti,
ΔG	: Serbest Gibbs enerji değişimi (J/mol),
ΔH	: Entalpi değişimi (J/mol),
ΔS	: Entropi değişimi (J/mol),
X_o	: Adsorbent derişimi (g/L).

KAYNAKLAR

- Achak, M., Hafidi, A., Ouazzani, N., Sayadi, S. and Mandi, L. (2009). Low Cost Biosorbent "Banana Peel" for the Removal of Phenolic Compounds from Olive Mill Wastewater: Kinetic and Equilibrium Studies, *Journal of Hazardous Materials* 166.1, 117-125.
- Adebayo, M.A., Prola, L.D., Lima, E.C., Puchana-Rosero, M.J., Cataluņa, R. and Saucier, C. (2014). Adsorption of Procion Blue MX-R Dye from Aqueous Solutions by Lignin Chemically Modified with Aluminium and Manganese, *Journal of Hazardous Materials* 268, 43-50.
- Amin, N.K. (2009). Removal of Direct blue-106 Dye from Aqueous Solution using New Activated Carbons Developed from Pomegranate Peel: Adsorption Equilibrium and Kinetics, *Journal of Hazardous Materials* 165.1, 52-62.
- Azhar, S.S., Liew, A.G., Suhardy, D., Hafiz, K.F. and Hatim, M.I. (2005). Dye Removal from Aqueous Solution by using Adsorption on Treated Sugarcane Bagasse, *American Journal of Applied Sciences* 2.11, 1499.
- Azouaou, N., Sadaoui, Z., Djaafri, A. and Mokaddem, H. (2010). Adsorption of Cadmium from Aqueous Solution Onto Untreated Coffee Grounds: Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics, *Journal of Hazardous Materials* 184.1, 126-134.
- Bhatnagar, A. and Minocha, A.K. (2010). Assessment of the Biosorption Characteristics of Lychee (*Litchi chinensis*) Peel Waste for the Removal of Acid Blue 25 dye from Water, *Environmental Technology* 31.1, 97-105.
- Bhatnagar, A., Minocha, A.K. and Sillanpää, M. (2010). Adsorptive Removal of Cobalt from Aqueous Solution by Utilizing Lemon Peel as Biosorbent, *Biochemical Engineering Journal* 48.2, 181-186.
- Chieng, H.I., Lim, L.B. and Priyantha, N. (2015). Enhancing Adsorption Capacity of Toxic Malachite Green Dye Through Chemically Modified Breadnut Peel: Equilibrium, Thermodynamics, Kinetics and Regeneration Studies, *Environmental Technology* 36.1, 86-97.
- El-Ashtoukhy, E-SZ, Amin, N.K. and Abdelwahab, O. (2008). Removal of Lead (II) and Copper (II) from Aqueous Solution using Pomegranate Peel as a New Adsorbent, *Desalination* 223.1, 162-173.
- Foo, K.Y. and Hameed, B.H. (2012). Factors Affecting the Carbon Yield and Adsorption Capability of the Mangosteen Peel Activated Carbon Prepared by Microwave Assisted K_2CO_3 Activation, *Chemical Engineering Journal* 180, 66-74.
- Hameed, B.H. (2009). Evaluation of Papaya Seeds as a Novel Non-Conventional Low-cost Adsorbent for Removal of Methylene Blue, *Journal of Hazardous Materials* 162.2, 939-944.

- Hameed, B.H. and Ahmad, A.A. (2009). Batch Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution by Garlic Peel, an Agricultural Waste Biomass, *Journal of Hazardous Materials* 164.2, 870-875.
- Hossain, M.A., Ngo, H.H., Guo, W.S. and Nguyen, T.V. (2012). Removal of Copper from Water by Adsorption Onto Banana Peel as Bioadsorbent, *International Journal of Geomate* 2.2, 227-234.
- Khaled, A., Nemr, A.E., El-Sikaily, A. and Abdelwahab, O. (2009). Removal of Direct N Blue-106 from Artificial Textile Dye Effluent using Activated Carbon from Orange Peel: Adsorption Isotherm and Kinetic Studies, *Journal of Hazardous Materials* 165.1, 100-110.
- Nemr, A.E., Abdelwahab, O., El-Sikaily, A. and Khaled, A. (2009). Removal of Direct Blue-86 from Aqueous Solution by New Activated Carbon Developed from Orange Peel *Journal of hazardous materials* 161.1, 102-110.
- Salman, J.M., Njoku, V.O. and Hameed, B.H. (2011). Adsorption of Pesticides from Aqueous Solution Onto Banana Stalk Activated Carbon, *Chemical Engineering Journal* 174.1, 41-48.
- Sivaraj, R., Namasivayam, C. and Kadirvelu, K. (2001). Orange Peel as an Adsorbent in the Removal of Acid Violet 17 (acid dye) from Aqueous Solutions, *Waste Management* 21.1, 105-110.
- Uzunoglu, D. (2014). Levrek Balığı (*Dicentrarchus labrax*) Pulu ve Ticari Hidroksiapatit ile Acid Blue 121 Boyar Maddesinin Adsorbsiyonu. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.