



Makale / Research Paper

**Sulu Çözüldüden Metilen Mavisinin Giderilmesi için $ARCFe_3O_4$
Nanokompozitlerinin Sentezlenmesi**

Kadriye BOZGEYİK^{1*}, Atakan TOPRAK²

^aBülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Zonguldak/TÜRKİYE

^bBülent Ecevit Üniversitesi, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Zonguldak/TÜRKİYE

^akbozgeyik@yahoo.com

Received/Geliş: 14.02.2020

Accepted/Kabul: 05.05.2020

Öz: Tek basamakta termal yöntem ile elde edilen manyetik (Fe_3O_4) kömür nanokompozitleri üzerine metilen mavisinin (MB) adsorpsiyonu incelenmiştir. $ARCFe_3O_4$ x kompozitleri $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 'ün dört farklı ($x = 0.5, 1, 2$ ve 3) oran olacak şekilde sentezlenmiştir. Nanokompozitler, taramalı elektron mikroskopu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) ve N_2 adsorpsiyonu ile karakterize edilmişlerdir. $ARCFe_3O_4$ x kompozitlerinin denge ve hız deneyleri kesikli sistemde gerçekleştirilmiştir. Deneysel denge verileri Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca nanokompozitlerin/MB pseudo-birinci ve ikinci derece kinetik modellere uygunluğu analiz edilmiştir. Tüm $ARCFe_3O_4$ x/MB sistemlerinin pseudo-birinci derece kinetik modeli ile uyumlu olduğu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Kömür; manyetik nanokompozit; adsorpsiyon izotermi.

**Synthesis of $ARCFe_3O_4$ Nanocomposites for Removal of Hazardous Dye
from Aqueous Media**

Abstract: Magnetic (Fe_3O_4) coal nanocomposites obtained using thermal method in one-step and the removal of methylene blue (MB) was investigated. $ARCFe_3O_4$ x composites were synthesized in four different ratios ($x = 0.5, 1, 2$ and 3) of $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$. The nanocomposites were characterized by scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD) and N_2 adsorption. Equilibrium and rate experiments of $ARCFe_3O_4$ x composites were carried out in batch system. Experimental equilibrium analysis was compared with Langmuir and Freundlich isotherm models. In addition, nanocomposite/MB system has been determined for pseudo-first and second degree kinetic models. It was found that all $ARCFe_3O_4$ x/MB systems are compatible with the pseudo-first order kinetic model.

Keywords: Coal; magnetic nanocomposite; adsorption isotherms.

1. Giriş

Sentetik boyalar sentezlenmeleri kolay ve ucuz olduğu için, tekstil, kâğıt, deri, gıda işlemleri, plastikler, kozmetik, kauçuk, baskı ve boya imalatı gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca sentetik boyalar ışığa, sıcaklığa, deterjan ve mikrobiyal etkilere karşı oldukça yüksek kararlılığa sahiptir. Bu sebeple atık sulardaki boyaaların çoğu parçalanamaz aromatik yapı içerir ve toksik, hatta kanserojen olarak kabul edilir. Bu da insan sağlığı ve ekolojik güvenlik üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır [1]. Bu boyalardan biri olan metilen mavisini (MB), katyonik bir boya olup pamuk, ahşap ve ipek boyamada yaygın olarak kullanılan bir bileşendir [2]. MB çok toksik bir boya olarak düşünülmemesine rağmen, insanlarda kusma, kalp atışında hızlanma, ishal, şok, siyanoz, sarılık,

Bu makaleye atıf yapmak için

Bozgeyik, K., Toprak, A., "Sulu Çözüldüden Metilen Mavisinin Giderilmesi için $ARCFe_3O_4$ Nanokompozitlerinin Sentezlenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7(2); 667-678.

How to cite this article

Bozgeyik, K., Toprak, A., "Synthesis of $ARCFe_3O_4$ Nanocomposites for Removal of Hazardous Dye from Aqueous Media" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7(2); 667-678.

kuadriparatik ve doku nekrozu benzeri bazı zararlı etkilere neden olabilmektedir [3]. Bu sebeple, sentetik boyaların atık sudan uzaklaştırılmak için, fotokatalitik bozundurma, elektrokimyasal oksidasyon, koagülasyon-flokülasyon, membran filtrasyonu, mikrobiyolojik bozundurma ve adsorpsiyon gibi yöntemler kullanılmaktadır [4].

Bu metotlar arasında adsorpsiyon teknolojisi, kolay kullanımı, uygun maliyetli, yüksek verimi ve tekrar kullanımından dolayı en etkili arıtma işlemlerinden biri olarak düşünülmektedir. Atık sudan boyar madde uzaklaştırılmasında aktif karbon, zeolite, nanoporous silica, grafit oksit ve uçucu kül gibi birçok türde adsorbent kullanılmaktadır. Boyar maddelerin atık sulardan giderilmesinde birçok adsorbent geliştirilmesine rağmen, adsorbentlerin çoğunun santrifüjleme ya da filtreleme ile sulu çözeltiden ayrılmasında zorluk çekilmektedir. Son yıllarda, ayırma işlemlerindeki zorlukları ortadan kaldırmak için adsorbentlere manyetik özellik kazandırılmaya başlanmıştır. Manyetik adsorbentler, bir manyetik alan yardımıyla sulu çözeltiden kolayca ayrılabilir [5].

Bu çalışmada, tek basamakta termal yöntem ile manyetik (Fe_3O_4) kömür kompozitleri ($ARCFe_3O_4$ x) elde edilmiştir. Sentezlenen manyetik özelliğe sahip kömürün kompozitleri üzerine, tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan metilen mavisinin adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. $ARCFe_3O_4$ x için MB'nun Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm ve hız parametrelerine uyduğu belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Metilen mavisi (Methylene blue, MB) ve diğer kimyasallar Sigma Aldrich'den satın alınmıştır.

2.2 Ham Kömürde Kül İçeriğinin Azaltılması

Zonguldak bölgesinden alınan kömür numunesi, ilk olarak toz (100-300 μ m) haline getirilmiştir. Ardından, kömür numunesindeki kirlilikleri ve inorganik madde (kül) içeriğini gidermek için % 20'lik (v/v) HCl ile 70°C'de geri soğutucu altında 4 saat reflaks edilmiştir. Reflaks sonrası kömür numunesi pH'ı 7 olana dek sıcak saf su ile yıkanmıştır. Son olarak, kömürdeki kül içeriğinin minimuma indirmek için %20'lik HF (v/v) ile de yukarıdaki işlemlerin aynısı tekrarlanmıştır [6]. Bu işlemler sonrası elde edilen külü giderilmiş kömür numunesi (ARC) ve ham kömür numunesinin proximate analizi ASTM 3174 ve 3175 standartlarına göre hesaplanarak Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kömür numunelerinin proximate analizi.

Proximate Analysis (dry basis, wt %)	Coal	ARC
Fixed carbon	63.1	67.43
Volatile matter	31.3	32
Ash	5.6	0.57

2.3 Manyetik $ARCFe_3O_4$ Nanokompozitlerin Sentezi

$ARCFe_3O_4$ nanokompozitleri tek basamakta ve kısa sürede üretilmiştir. ARC ve $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 'nun kütlece farklı oranlarında etanol içinde 40°C'de 2 saat muamele edilmiştir. Ardından $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ çözeltisi ARC içinde iyice dağılması için 60°C'de 1 saat sonikasyon yapılmıştır. Etüvde etanolü uçurularak kurutulan karışım, kapaklı krozeve alınarak fırında 800°C'ye (20°C/dak)

getirilip 10 dakika beklendikten sonra alınmıştır. Kompozit soğuduktan sonra saf su ile yıkama işlemi yapılarak manyetik ARCFe_3O_4 elde edilmiştir. Elde edilen kompozitler “ ARCFe_3O_4 x” olarak isimlendirilmiştir. Burada x (x = 0.5, 1, 2 ve 3), $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ’ün ARC’ye kütlece oranını göstermektedir.

2.4 Kesikli Denge Deneyleri

Metilen blue (MB) için adsorpsiyon denge ve hız deneyleri $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ’de yapılmıştır. Derişimi 2-10 mg/L olan MB çözeltilerinden 100’er mL içeren 250 mL’lik erlenlere ARCFe_3O_4 x=0.5 adsorbentinden 0.04 g eklenmiştir. Erlenler termostatlı su banyosuna yerleştirilerek dengeye geldiği 420 dak boyunca belli zaman aralıklarında ortamdan numune alınarak UV-visible spektrofotometresinde 665 nm dalga boyunda absorbans değerleri ölçülmüştür. ARCFe_3O_4 x=1, ARCFe_3O_4 x=2 ve ARCFe_3O_4 x=3 kompozitleri için bu işlemler tekrarlanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Manyetik Adsorbentlerin Fizikokimyasal Özellikleri

Şekil 1’de ARCFe_3O_4 numunelerinin 77 K’deki N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermi ve Şekil 2’de de gözenek dağılımları verilmiştir. Şekil 1’deki adsorbentlerin N_2 izotermi IUPAC’ın sınıflandırmasına göre tip IV izotermine uymaktadır [7]. Type IV izotermine göre, P/P_0 ’ın 0.99-0.4 aralığında adsorpsiyon ile desorpsiyonun çakışmadığı ve H4 tipi histeris olduğu görülmektedir. Histeris oluşumu mezo gözeneklere sahip malzemelerde N_2 gazının mezo boşluklara dolup boşalırken kapılar kondenzasyonuyla meydana gelir [8]. Şekil 2’deki manyetik adsorbentlerin gözenek dağılımında da mikro gözenek ($V_{mi} < 20 \text{ \AA}$) ve mezo gözenek ($20 < V_{me} < 500 \text{ \AA}$) hacimlerinin bulunduğu ispatlanmıştır. Ayrıca ARCFe_3O_4 numunelerinin 77 K’deki N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izoterminden hesaplanan BET yüzey alanı, gözenek hacimleri ve ortalama gözenek boyutları Tablo 2’de verilmiştir. ARCFe_3O_4 x=1 kompozitinin yüzey alanı $263.3 \text{ m}^2/\text{g}$ olarak en yüksek bulunmuştur. Ancak ARC: $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ oranı 1’den sonra 2 ve 3 katına çıkarıldığında yüzey alanı düzenli olarak düştüğü görülmektedir. Bunun sebebi olarak ARC’nin yüzeyinde biriken Fe_3O_4 parçacıklarının kümelenmesinin artması ile iç taraftaki gözeneklere erişimin azalması olarak gösterilebilir. Ayrıca ARCFe_3O_4 x=1 ‘den sonra, oranın artmasıyla mikro gözenek hacminin azaldığı ve mezo gözenek hacminin arttığı görülmektedir. Buda Fe_3O_4 ’ün mikro gözeneklere erişimin olduğu yüzeylerde biriktiğini ve mikro gözenek hacmini azalttığını göstermektedir.

ARCFe_3O_4 kompozitlerinin kristal yapılarının belirlenmesi için X-ışını kırınım yöntemi (XRD) Şekil 3’te uygulanmıştır. XRD’deki $30.3^\circ(220)$, $35.6^\circ(311)$, $43.4^\circ(400)$, $57.3^\circ(511)$, and $62.9^\circ(440)$ (JCPDS Card No. 98-015-8744) çıkan karakteristik pikler siyah kristalin Fe_3O_4 olduğunu ispatlamaktadır. Ayrıca ARCFe_3O_4 kompozitlerinin Debye–Scherrer [9] eşitliği kullanılarak kristal boyutları belirlenmiştir.

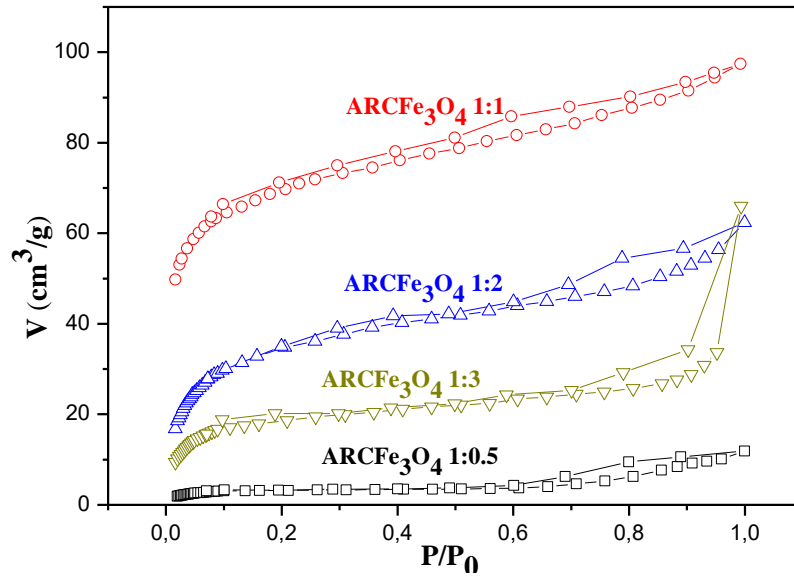
$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Burada D; tek kristalin parçacık boyutu (nm), k; kristal biçimine bağlı bir sabit (0.89), λ ; x ışın dalga boyu (0.15406 nm), θ ; the Bragg açısı ve β ; kırınım pikinin yarısındaki maksimum genişlik (radyan) olarak temsil etmektedir. XRD’deki ARCFe_3O_4 kompozitlerinin $2\theta = 30.3^\circ$, 35.6° , 43.4° , 57.3° ve 62.9° kristalin boyutları sırasıyla 33.6, 24.4, 19.4, 18.5 ve 21.1 nm olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre, ARC içinde bulunan Fe_3O_4 yapılarının nano boyutta olduğunu göstermektedir.

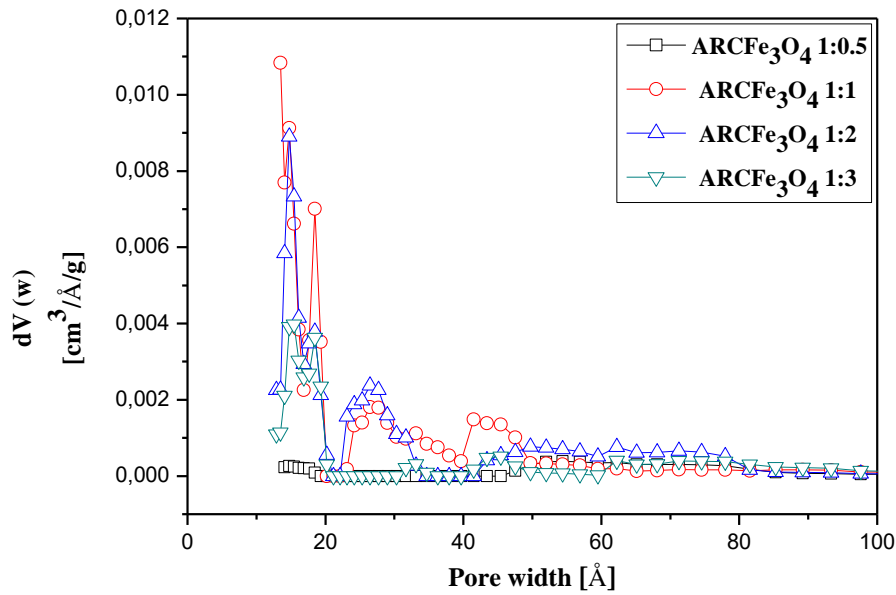
Şekil 4'te ARCFe_3O_4 kompozitlerinin SEM ile yüzey morfolojisi gözlenmiştir. Kompozitlerin yüzeyi düzensiz olarak dağılmış oyuklar ve farklı boyutta gözenekler bulunmaktadır. Fe_3O_4 parçacıkları yüksek sıcaklıkta (800°C) ARC'nin yüzeyinde ve gözeneklerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Manyetik adsorbentlerin yapısal karakteristikleri.

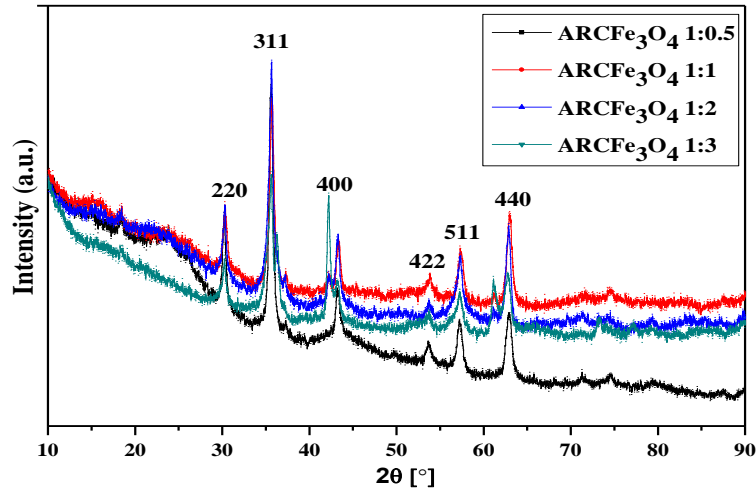
Adsorbentler	BET (m^2/g)	V_{micro} (cm^3/g)	V_{meso} (cm^3/g)	V_t (cm^3/g)	Average Poresize
ARCFe_3O_4 $x=0.5$	13.8	0.003	0.015	0.018	53.19
ARCFe_3O_4 $x=1$	263.3	0.11	0.041	0.150	22.96
ARCFe_3O_4 $x=2$	132.9	0.053	0.044	0.097	29.09
ARCFe_3O_4 $x=3$	75.4	0.010	0.092	0.102	53.84



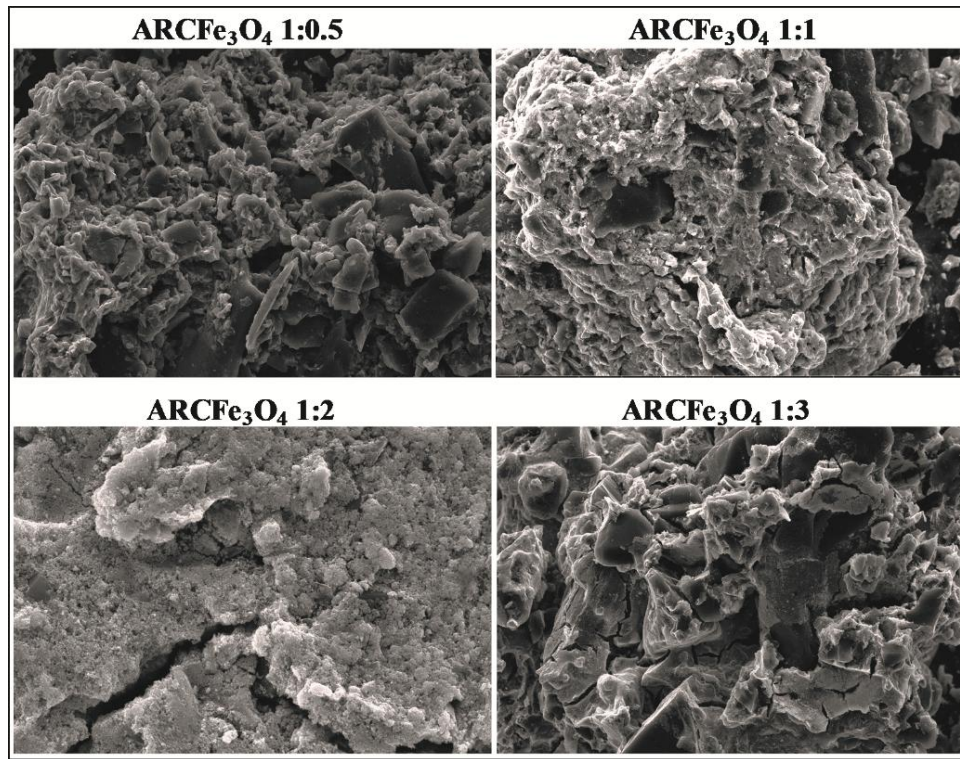
Şekil 1. Manyetik adsorbentlerin N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermeleri



Şekil 2. Manyetik adsorbentlerin 77 K 'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyonunda hesaplanan gözenek boyut dağılımları (NLDFT modeli)



Şekil 3. Manyetik adsorbentlerin XRD dağılımları

Şekil 4. ARCFE₃O₄ için SEM görüntüleri

3.2 Langmuir ve Freundlich İzoterm Modelleri

Adsorbent yüzeyinin heterojenliğini ve adsorpsiyon davranışlarını anlayabilmek için deneysel adsorpsiyon verileri Langmuir (Eşitlik (2)) [10] ve Freundlich (Eşitlik (3)) [11] modelleri ile karşılaştırılmıştır:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q_o} + \frac{1}{Q_o b C_e} \quad (2)$$

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (3)$$

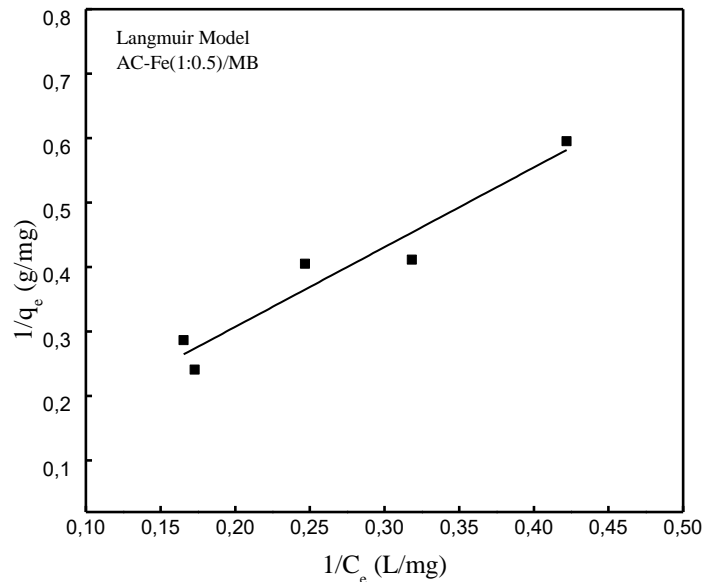
Burada q_e , dengede birim adsorbent ağırlığı üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g); C_e , dengedeki çözeltinin derişimi (mg/L); Q_o , yüzeyde tam bir tabaka oluşturmak için adsorbentin birim ağırlığında adsorplanan miktar yani maksimum adsorpsiyon kapasitesi (mg/g) ve b adsorpsiyon

enerjisi ile ilgili Langmuir denge sabitidir. K_f , adsorpsiyon kapasitesi ile ilgili Freundlich sabiti ve $1/n$ adsorpsiyon yoğunluğunu ifade eden bir parametredir. $1/n$ adsorpsiyon yoğunluğu ile ilgilidir ve 0-1 aralığında değerler alır. Yüzey ne kadar heterojense, $1/n$ değeri o kadar sıfıra yakın olur.

Şekil 5-12’de farklı oranlarda demir içeren aktif karbon kompozitleri üzerine adsorplanan MB’ya ait Langmuir ve Freundlich izotermi ile bu modellere ait parametreler Tablo 3’te verilmiştir. Tablo 3’te verilen korelasyon katsayıları (r^2) incelendiğinde, $ARCFe_3O_4$ $x=1$ adsorbenti Freundlich modeli ile, $ARCFe_3O_4$ $x=0.5$, $ARCFe_3O_4$ $x=2$ ve $ARCFe_3O_4$ $x=3$ nanokompozitlerin ise Langmuir modeli ile uyumlu olduğu görülmektedir. Maximum MB adsorplama kapasiteleri (Q_0), $ARCFe_3O_4$ $x=0.5$ için 16.7 mg/g, $ARCFe_3O_4$ $x=1$ için 130.4 mg/g, $ARCFe_3O_4$ $x=2$ için 63.73 mg/g, $ARCFe_3O_4$ $x=3$ için de 31.5 mg/g olarak bulunmuştur. En yüksek adsorplanmanın $ARCFe_3O_4$ $x=1$ de olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Langmuir and Freundlich model parametreleri.

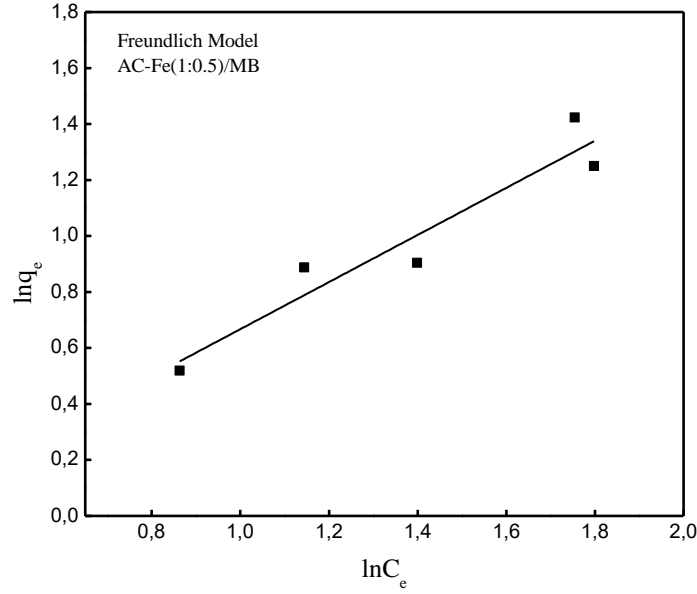
Adsorbent	$ARCFe_3O_4$ $x=0.5$	$ARCFe_3O_4$ $x=1$	$ARCFe_3O_4$ $x=2$	$ARCFe_3O_4$ $x=3$
Langmuir Modeli				
Q_0 (mg/g)	16.7	130.4	63.73	31.5
b	0.048	0.019	0.024	0.0074
r^2	0.83	0.92	0.87	0.83
Freundlich Modeli				
K_f	0.84	2.37	1.66	0.24
$1/n$	0.84	0.98	0.84	0.97
r^2	0.78	0.94	0.80	0.78



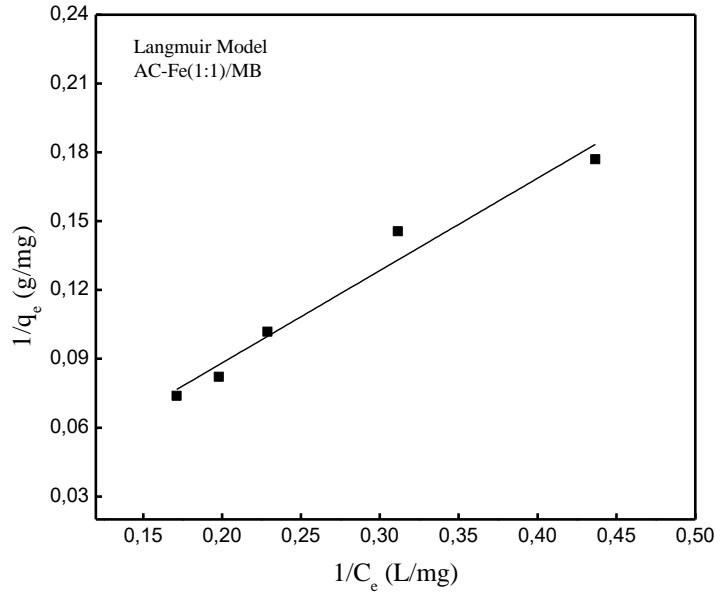
Şekil 5. $ARCFe_3O_4$ $x=0.5$ /MB adsorpsiyonu için çizilen Langmuir Model eğrisi

Elde edilen nanokompozitler içinde yüzey alanı $263.3 \text{ m}^2/\text{g}$ olarak en yüksek $ARCFe_3O_4$ $x=1$ ’in bulunmuştur. Yüzey alanının büyüklüğü ile orantılı olarak, boya adsorplama kapasitesi de daha fazla olmuştur. Ayıca, nanokompozitlerin yapısındaki demir oranının birebir olduğunda daha etkin

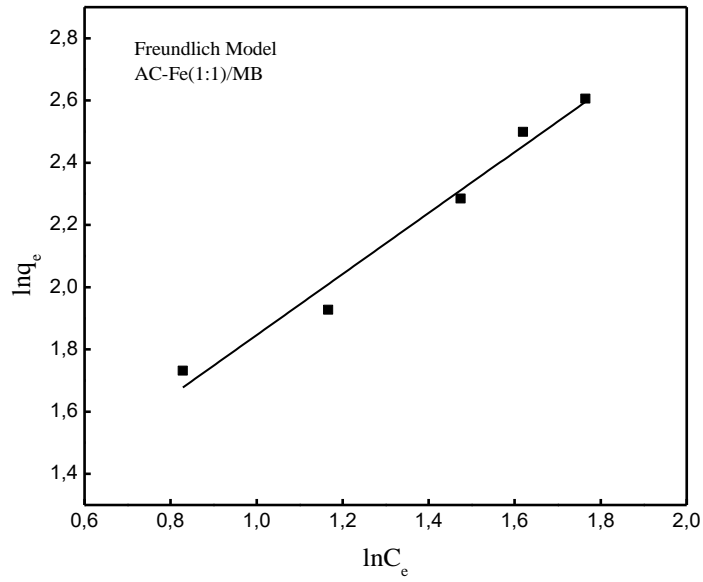
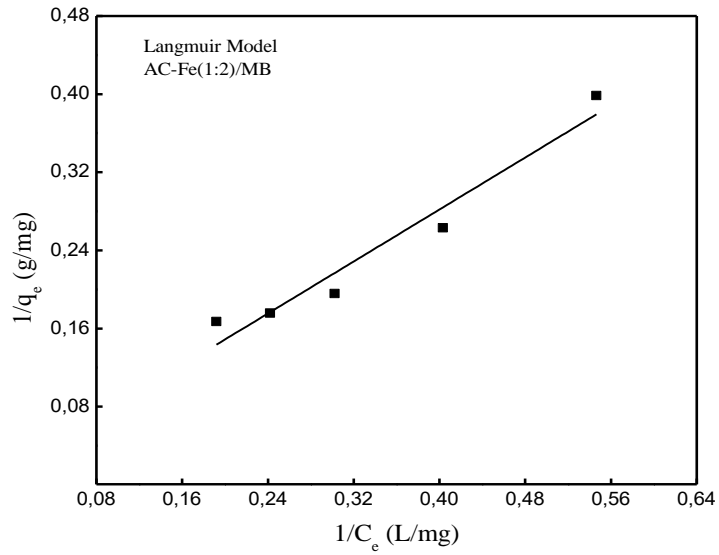
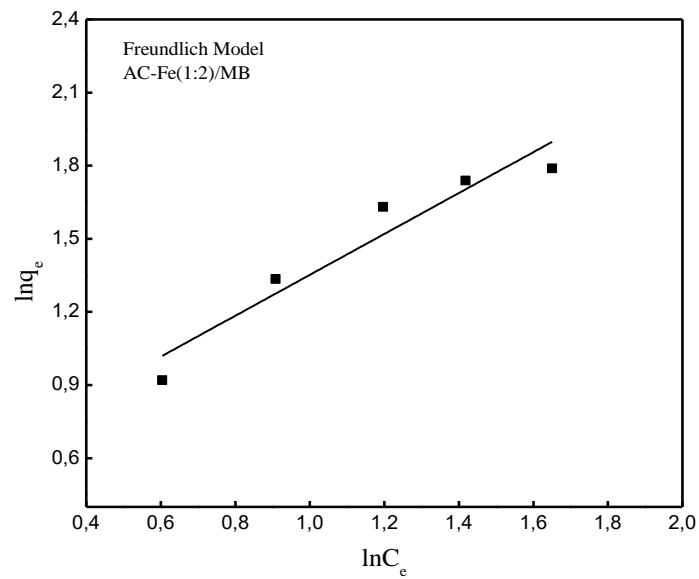
olduğunu demir oranı azaldıkça ya da arttıkça boya adsorplama etkinliğinin de azaldığı gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak Fe_3O_4 'ün mikro gözeneklere erişimin olduğu yüzeylerde biriktiğini ve mikro gözenek hacmini azalttığını gösterebiliriz. Literatürde, Yılmaz [12] ve ark. tarafından yapılan çalışmada nar kabuğundan elde edilen aktif karbonun metilene mavisini adsorplama kapasitesi 25°C 'de 30.12 mg/g olarak bulunmuştur. Bu değer, çalışmamızda elde edilen maksimum boya adsorplama kapasitesi ile karşılaştırıldığında $\text{ARCFe}_3\text{O}_4_{x=1}$ 'in daha fazla adsorpladığı görülmektedir.

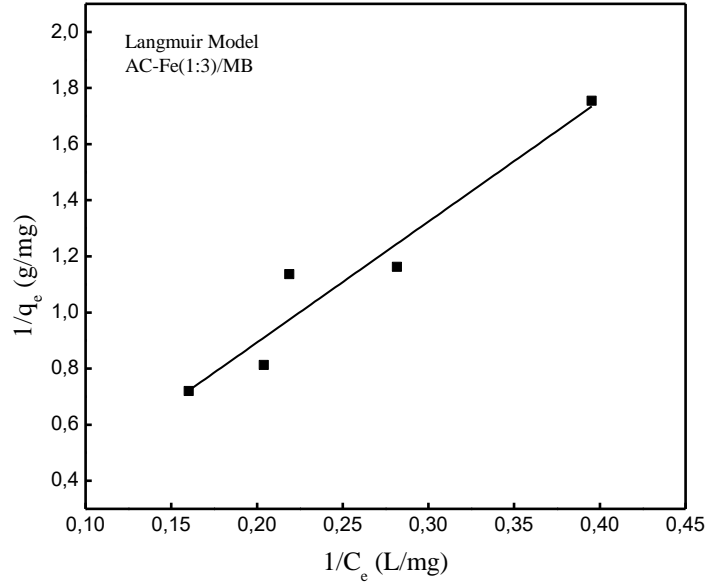


Şekil 6. $\text{ARCFe}_3\text{O}_4_{x=0.5}/\text{MB}$ adsorpsiyonu için çizilen Freundlich Model eğrisi

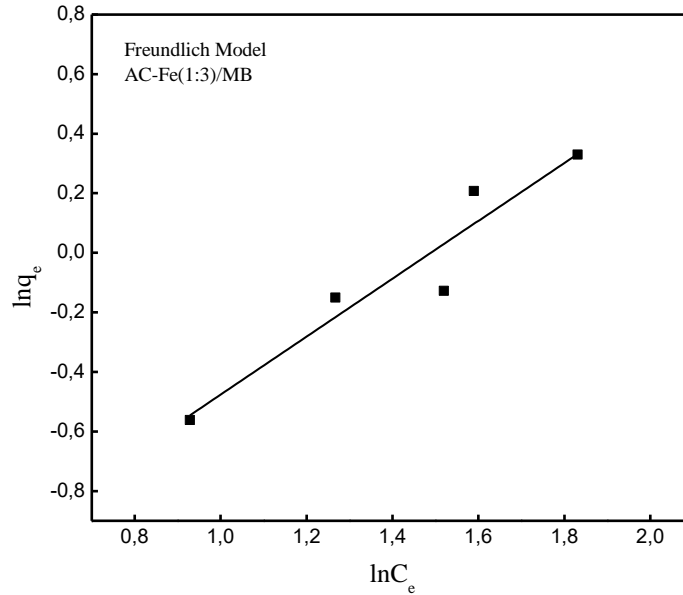


Şekil 7. $\text{ARCFe}_3\text{O}_4_{x=1}/\text{MB}$ adsorpsiyonu için çizilen Langmuir Model eğrisi

Şekil 8. $ARCFe_3O_4$ $x=1$ /MB adsorpsiyonu için çizilen Freundlich Model eğrisiŞekil 9. $ARCFe_3O_4$ $x=2$ /MB adsorpsiyonu için çizilen Langmuir Model eğrisiŞekil 10. $ARCFe_3O_4$ $x=2$ /MB adsorpsiyonu için çizilen Freundlich Model eğrisi



Şekil 11. ARCFe₃O_{4 x=3}/MB adsorpsiyonu için çizilen Langmuir Model eğrisi



Şekil 12. ARCFe₃O_{4 x=3}/MB adsorpsiyonu için çizilen Freundlich Model eğrisi

3.3 Adsorpsiyon Kinetiği

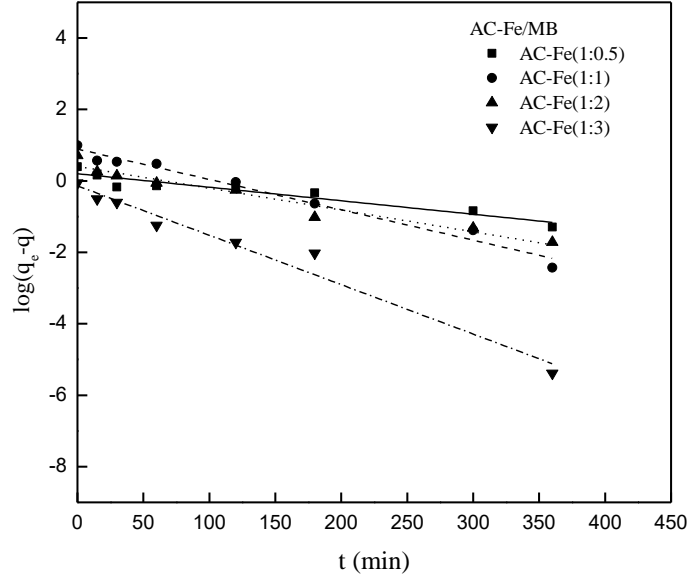
Adsorpsiyon prosesinin kontrol mekanizmasını incelemek için farklı oranlarda demir içeren aktif karbon örneklerinden elde edilen deneysel veriler Lagergren-birinci derece (Eşitlik (4)) [13] ve ikinci derece kinetik (Eşitlik (5)) [14] modelleri ile analiz edilmiştir:

$$\log(q_e - q) = \log q_e - \frac{k_1 t}{2.303} \quad (4)$$

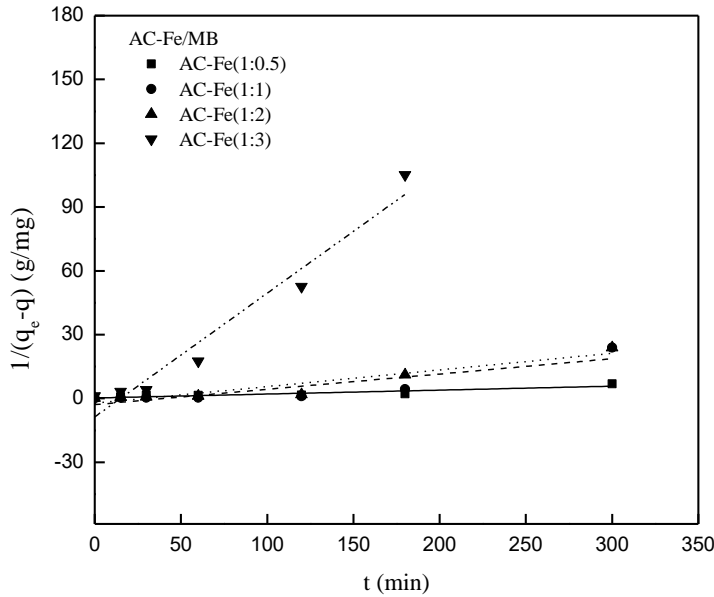
$$\frac{1}{(q_e - q)} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (5)$$

Burada q_e , dengede adsorplanan madde miktarı (mg/g); q , herhangi bir andaki adsorplanan madde miktarı (mg/g); k_1 , Lagergren-birinci derece kinetik modelinin hız sabitidir (1/dakika). k_2 , ikinci derece kinetik modeline ait hız sabitidir (g/mg dakika).

$\log(q_e - q)$ 'e karşı t grafiğinin çizilmesi ile elde edilen doğrunun (Şekil 13) eğiminden hesaplanan k_1 değerleri ve bu modellere uyumluluğu gösteren korelasyon katsayıları karesi (r^2) değerleri Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 13. ARCFe₃O₄/MB adsorpsiyonu için pseudo-birinci derece kinetik eğrileri



Şekil 14. ARCFe₃O₄/MB adsorpsiyonu için pseudo-ikinci derece kinetik eğrileri

Dört farklı adsorbent için elde edilen r^2 değerlerinin 0.81-0.94 aralığında olduğu görülmektedir. $1/(q_e - q)$ değerine karşı t değerlerinin grafiğe geçirilmesiyle elde edilen doğrunun (Şekil 14) eğiminden bulunan k_2 ve r^2 değerleri Tablo 4'tedir. ARCFe₃O₄ $x=0.5$, ARCFe₃O₄ $x=1$, ARCFe₃O₄ $x=2$ ve ARCFe₃O₄ $x=3$ için r^2 değerlerinin 0.55-0.90 aralığında olduğu bulunmuştur. r^2 değerleri karşılaştırıldığında, tüm adsorbentlerin boya adsorplama sistemlerinin pseudo-birinci-derece kinetik modeli ile daha uyumlu olduğu bulunmuştur. Ayrıca en yüksek adsorplama kapasitesine sahip olan ARCFe₃O₄ $x=1$ 'nin ($r^2 = 0.94$) pseudo-birinci-derece kinetik modeli ile uyumluluğunun diğer adsorbentlere göre daha da iyi olduğu görülmüştür.

Tablo 4. Pseudo-birinci ve -ikinci derece kinetik parametreleri.

Adsorbent	ARCF ₃ O ₄ x=0.5	ARCF ₃ O ₄ x=1	ARCF ₃ O ₄ x=2	ARCF ₃ O ₄ x=3
Pseudo-birinci derece				
k_1 (1/dak)	0.009	0.019	0.014	0.031
r^2	0.81	0.94	0.89	0.93
Pseudo-ikinci derece				
k_2 (g/mg dak)	0.019	0.072	0.078	0.581
r^2	0.66	0.55	0.78	0.90

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada çevresel ve endüstriyel atık sulardan metilen mavisinin giderilmesi amacıyla, tek basamakta termal yöntem ile elde edilen manyetik ARCF₃O₄ _{x=0.5}, ARCF₃O₄ _{x=1}, ARCF₃O₄ _{x=2} ve ARCF₃O₄ _{x=3} (x=Fe(NO₃)₃.9H₂O oranı) kompozitlerinin adsorplama etkinlikleri çalışılmıştır. Bu dört farklı adsorbente ait Langmuir izoterm modelinden elde edilen maksimum boya adsorplama kapasiteleri karşılaştırıldığında, ARCF₃O₄ _{x=1}'in (130.4 mg/g) en fazla olduğu bulunmuştur. Bunun sebebi ARCF₃O₄ _{x=1} 'den sonra, Fe₃O₄ oranının artmasıyla mikro gözenek hacminin azalmasıdır. Adsorpsiyon denge verileri kinetik modelleri ile analiz edildiğinde, birinci derece kinetik modeli en iyi uyumun olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar manyetik ARCF₃O₄ nanokompozitlerinin metilen mavisi gibi atıkların giderilmesinde çok etkili olduklarını göstermektedir.

Kaynaklar

- [1]. Deniz, F., Karaman, S., Removal of Basic Red 46 dye from aqueous solution by pine tree leaves, Chemical Engineering Journal, 2011, 170, 67–74.
- [2]. Deng, H., Lu, J., Li, G., Zhang, G., Wang, X., Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk, Chemical Engineering Journal, 2011, 172, 326– 334.
- [3]. Chen, L., Ramadan, A., Lü, L., Shao, W., Luo, F. and Chen J., Biosorption of methylene blue from aqueous solution using lawn grass modified with citric acid, Journal of Chemical & Engineering Data, 2011, 56, 3392–3399.
- [4]. Zarezadeh-Mehrizi, M., Badiei, A., Highly efficient removal of basic blue 41 with nanoporous silica, Water Resources and Industry, 2014, 5, 49-57.
- [5]. Ma, H., Li, J.B., Liu, W.W., Miao, M., Cheng, B.J., Zhu, S.W., Novel synthesis of a versatile magnetic adsorbent derived from corncob for dye removal, Bioresource technology, 2015, 190, 13-20.
- [6]. Kopac, T., and Toprak A., Preparation of activated carbons from Zonguldak region coals by physical and chemical activations for hydrogen sorption, International Journal of Hydrogen Energy, 2007, 32(18), 5005-5014.
- [7]. Gregg, S.J., and Sing, K. S.W., Adsorption, surface area, and porosity, 2nd Ed., London, UK: Academic Press, 1991.
- [8]. Sing, K., The use of nitrogen adsorption for the characterisation of porous materials, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2001, 187, 3-9.
- [9]. Chaki, S.H., Malek, T.J., Chaudhary, M.D., Tailor, J.P., Deshpande, M.P., Magnetite Fe₃O₄ nanoparticles synthesis by wet chemical reduction and their characterization, Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology, 2015, 6(3), 035009.

- [10]. Al-Degs, Y.S., El-Barghouthi, M.I., El-Sheikh, A.H., Walker, G.M., Effect of solution pH, ionic strength, and temperature on adsorption behavior of reactive dyes on activated carbon, *Dyes and Pigments*, 2007, 77, 16-23.
- [11]. Saroyan, H.S., Giannakoudakis, D.A., Sarafidis, C.S., Lazaridis, N.K., and Deliyanni E.A., Effective impregnation for the preparation of magnetic mesoporous carbon: application to dye adsorption, *J Chem Technol Biotechnol.*, 2017, 92(8), 1899-1911.
- [12]. Yılmaz, N., Alagöz, O., Nar Kabuklarından Kimyasal Aktivasyon ile Hazırlanan Aktif Karbon Üzerinde Metilen Mavisinin Adsorpsiyonu, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2019, 6(3), 817-829.
- [13]. Liu, T., Li Y., Du, Q., Suna, J., Jiao Y., Yanga, G., Wang, Z., Xia, Y., Zhang, W., Wang, K., Zhu, H., Wu, D., Adsorption of methylene blue from aqueous solution by graphene, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2012, 90, 197-203.
- [14]. Ho, Y.S., McKay G., Pseudo-second order model for sorption processes, *Process Biochemistry*, 1999, 34, 451–465.