


Siirt Koçpınar Karışık Tip Kil ile Ni (II) İyon Adsorpsiyonu İçin Pseudo-İkinci Kinetik Derece Modelinden Elde Edilen Lineerleştirilmiş 6 Tip Denklem ile Deneysel Verilerle Kinetik Model Doğrulaması

Nilgün Onursal

Siirt Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Temel Eğitim Bölümü, Siirt, Türkiye

nilgun.onursal@gmail.com 

Makale gönderme tarihi: 11.05.2022, Makale kabul tarihi: 15.08.2022

Öz

Bu çalışmadaki temel amaç Ni (II) iyonlarını sulu çözeltilerden uzaklaştırmaktır. Bunun için adsorplayıcı olarak karışık tip kil kullanılmıştır. Kilin karakterizasyonunu belirlemek için, SEM, XRD ve XRF analizleri yapılmıştır. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar, kilin karışık tipte olduğunu göstermiştir. Siirt ili Koçpınar bölgesinden alınan kilin yapılan SEM analizinde; doğal kilin genelde küresel şekilli ve amorf yapıda olduğu ve Ni(II) ile muamele edilen kilin dağınık morfolojiye sahip olduğu görülmüştür. Kullanılan kilin analiz sonuçlarına göre; Muskovit: %32, Plajiolklaz: %15, Kalsit: %15, Kuvars: %9, kil mineralleri: %29 oranında olduğu, detay kil analizinde ise; kil mineralinin bileşenleri: illit: %17, klorit: %62, montmorillonit: %21 oranında olduğu tespit edilmiştir. XRF analiz sonuçları literatüre yakın olmakla beraber, kil karışık tipte olduğu için mineral oranlarında kaymalar gözlenmiştir. CaO oranının yüksek olması SiO₂ oranını düşürmüştür.

Yalancı-ikinci dereceli (pseudo-second order) kinetik model, adsorplayıcı ve adsorplanan madde arasındaki adsorpsiyon mekanizmasını açıklamak için, yaygın olarak kinetik çalışmalardan elde edilen verilere uygulanmaktadır.

Bu çalışmada 298 K sıcaklığında yapılan deneyden elde edilen veriler, yalancı – ikinci dereceli kinetik modelinin 6 lineer tipine uygulanmıştır. Bu veriler ışığında grafikler oluşturularak, R², K₂ ve q_e değerleri hesaplanmıştır. Modele uyum sırasının Tip 2 = Tip 5 < Tip 3 = Tip 5 < Tip 1 < Tip 6 şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Tip 6, R² = 0.9985 değeri ile en yüksek uyumu göstermiştir. q_e değerleri ise; Tip 1 < Tip 2 < Tip 5 < Tip 3 = Tip 6 < Tip 4 şeklindedir. q_e değerleri sıralandığında, tip 4'e ait q_e değerinin 13.463 gm⁻¹ ile en yüksek kapasiteye sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, kil, kinetik, lineer denklem, yalancı-ikinci dereceli

Kinetic Model Validation With Experimental Data by Linearized 6 Types Equation Derived From Pseudo-Second Kinetic Order Model For Ni (II) İon Adsorption by Siirt Koçpınar Mixed Type Clay

Abstract

The primary purpose of this study is to remove Ni (II) ions from aqueous solutions. Thus, mixed-type clay was used as an adsorbent. SEM, XRD, and XRF analyzes were performed to determine the characterization of the clay. The results obtained from these analyzes showed that the clay was of mixed type. In the SEM analysis of the clay taken from the Koçpınar region of Siirt; It has been observed that natural clay is generally spherical in shape and amorphous in structure, and clay treated with Ni(II) has diffuse morphology. According to the analysis results of the clay used; Muscovite: 32%, Plagioclase: 15%, Calcite: 15%, Quartz: 9%, clay minerals: 29%. Components of clay mineral: Illite: 17%, chlorite: 62%, montmorillonite: 21%. Although XRF analysis results are close to the literature, shifts were observed in mineral ratios because the clay was of mixed type. The high CaO ratio has dropped the SiO₂ ratio.

The pseudo-second-order kinetic model is commonly applied to data from kinetic studies to explain the adsorption mechanism between the adsorbent and the adsorbed substance. In this study, the data obtained from the experiment at 298 K temperature were applied to 6 linear types of the pseudo-second-order kinetic model. R², K₂, and q_e values were calculated by plotting graphs in the light of these data. The order of fit with the model was determined as Type 2 = Type 5 < Type 3 = Type 5 < Type 1 < Type 6. Type 6 showed the highest fit with R² = 0.9985. q_e values are; Type 1 < Type 2 <

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1115512

Type 5 < Type 3 = Type 6 < Type4. When the q_e values are listed, it is seen that the q_e value of type 4 has the highest capacity with 13.463 mg^{-1} .

Keywords: Adsorption, clay, kinetics, linear equation, pseudo-second-order

GİRİŞ

Nüfus artışı tüm dünyada sanayinin ve teknolojinin gelişigüzel kullanılmasına bağlı olarak sınırsızca üretilen ürünler beraberinde yığınla sorun getirmektedir (EPA, 2004). Artan nüfusa bağlı olarak teknoloji ve sanayi, beraberinde ağır metal kullanımını neredeyse sınırsız bir şekilde arttırmakta ve buna bağlı olarak çevre sorunları, içinden çıkılmaz hale gelmektedir. (Dal, 2021)

Günümüzde atık sorunu uluslararası boyutta önem kazanmış en temel sorunlardan biri haline gelmiştir. İnsanları bu konuda araştırmaya ve çözüm bulmaya yöneltmiştir. Sanayi ve endüstriyel atıklar doğaya salındıklarında doğayı kirletmekle kalmayıp, besin zinciri aracılığı ile yaşamlarını sürdürmek isteyen tüm canlıları tehdit etmektedir (Sales, 2019). Bu temel sorunu çözmek için birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan biri de atık sularda bulunan ağır metallerin adsorpsiyon yöntemiyle giderimidir (Onursal, 2019).

Adsorpsiyon yüzeyde veya ara kesitte derişimin artması yani, maddenin birikmesidir. Adsorpsiyonun tercih edilme nedeni, kolay uygulanabilirliği ve maliyetinin düşük olmasıdır. Buna bağlı olarak kullanılan adsorplananın kolay temin edilmesi, bol miktarda bulunması ve uygun yüzey özelliklerine sahip olması gerekir. (Kul, 2021)

Bu çalışmada adsorplayıcı olarak kil kullanıldı. Türkiye’de killer toprak çeşitliliği açısından oldukça zengindir. Kil terimi hem kayaç anlamına gelmekte hem de tanecik boyutu 4 mikrondan daha az olan anlamına gelmektedir (Darweesh, 2016).

Ağır metal gideriminde pek çok biyosorbent (Altunkaynak, 2021) kullanılmasının yanısıra en çok tercih edilen adsorplayıcılardan biri de killerdir. Yüzey alanı geniş olan adsorplayıcılar daha çok tercih edilmektedir (Largitte, 2016). Kolay elde edilebilen, doğada oldukça fazla bulunan ve düşük maliyetli olan killer yüzey özellikleri bakımından da uygundur. Adsorpsiyon olayında kullanılan adsorplayıcılar

genellikle doğal halleriyle kullanılmaktadırlar. Bazı durumlarda da yüzey özellikleri değiştirilerek kullanılmaktadırlar.

Adsorpsiyonun oluşum mekanizmasını anlamak için birçok kinetik model mevcuttur. Bunların içerisinde en kullanışlı kinetik model yalancı-ikinci dereceli kinetik modelidir (Atalar, 2021), (Üner, 2021).

Literatürde yalancı-ikinci dereceli kinetik modelinin doğrusallaştırılmış 4 (Ho, 2006), 5 (Adnan, 2016) ve 6 (Onursal, 2021) modeli kıyaslanarak karşılaştırılmakta ve en küçük kare yöntemi aracılığıyla regresyon analizi yapılarak en uygun kinetik model bulunmaktadır (Aljeboree, 2017).

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada adsorplayıcı olarak kullanılan kil, Siirt ili Koçpınar beldesinden elde edilmiştir. Taşlaşmış kil Mertes marka LB-100 model çeneli kırıcıda kırılıp öğütülmüştür. Sonrasında (-100+120), (-120+140), (-140+170), (-170+200) ve (-200) mesh gözenek boyutundaki eleklerde elenmiştir. Elde edilen kil 110 °C de 24 saat süreyle Memmert UN55 model etüvde kurutulup, desikatörde soğutulmuştur.

XRD analizleri, Bruker (D8 Discover) model cihazda, SEM analizleri, Quanta FEG 250 model cihaz ile, XRF analizleri, Thermo ARL marka cihazı ile yapılmıştır. Deneyler Memmert marka WNB 14 model ısıtıcılı ve çalkalayıcılı su banyosunda yapılmıştır. Deneyler 298 K çalışma sıcaklığında ve dakikada 140 vuruş hızında gerçekleştirilmiştir. Nikel çözeltileri için Merck marka $\text{NiN}_2\text{O}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kimyasal maddesi kullanılmıştır.

Bu çalışmadaki adsorpsiyon deneyi için kullanılan adsorplayıcı, Siirt/Koçpınardan elde edilen karışık tipli kildir. Deneyde 0.1’er g’lık kilin üzerine 25 ml’lik Ni(II) çözeltisi bırakıldı. Yapılan deneysel çalışmada, Ni (II) iyonlarının doğal kilin

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1115512

adsorpsiyonu üzerindeki süre parametresinin etkisi incelenmiştir. Deney, zamanı gelen çözeltinin, filtrelenip adsorplayıcıdan ayrılması suretiyle sonlandırılmıştır. Çözeltilerin derişimleri (C_i) UNICAM 920 model atomik absorpsiyon cihazı (A.A.S.) ile ölçülmüştür. q_t miktarları eşitlik 1'deki gibi yapılmıştır:

$$q_t = \frac{(C_i - C_t)V}{m \cdot 1000} \quad (1)$$

Burada;

q_t ; t anındaki adsorban maddenin miktarını ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)

C_i ; Adsorplananın başlangıç derişimini ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

C_t ; Adsorplananın anlık derişimini ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

V; Çözeltinin hacmini (L)

m; Adsorplayıcının kütlesini (g) ifade etmektedir.

Buradan elde edilen q_t değerleri, Ho tarafından

geliştirilen yalancı-ikinci dereceli modele uygulandı.

Model eşitlik 2'deki gibi ifade edilir; (Ho, 1999)

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2 (q_e - q_t)^2 \quad (2)$$

Bu denklemde bulunan t (min) zamandaki adsorpsiyon miktarını, K_2 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dk}^{-1}$), yalancı-ikinci dereceli hız sabitini, q_e ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$), denge anındaki adsorpsiyon kapasitesini ifade etmektedir (Yavuz, 2007) (Onursal N. D., 2019)

Denklem 1'deki sınır koşulları $q_e = q_t$ olmak şartı ile ve $t=0$ dan, $t=t$ ye kadar ve denklem baştan düzenlenirse lineer olmayan eşitlik (3) yazılabilir.

$$q_t = \frac{K_2 q_e^2 t}{1 + K_2 q_e t} \quad (3)$$

Eşitlik (3) yeniden düzenlendiğinde aşağıdaki 6 tip doğrusal denklem elde edilmektedir. (Onursal, 2021). Bunlar;

Tip 1: yalancı- ikinci dereceli kinetik model;

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + K_2 \quad (4)$$

Tip 2: yalancı- ikinci dereceli kinetik model;

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{q_e} + \frac{1}{K_2 q_e^2 t} \quad (5)$$

Tip 3: yalancı- ikinci dereceli kinetik model;

$$q_t = q_e - \frac{1}{K_2 q_e} \frac{q_t}{t} \quad (6)$$

Tip 4: yalancı- ikinci dereceli kinetik model;

$$\frac{q_t}{t} = K_2 q_e^2 - K_2 q_e q_t \quad (7)$$

Tip 5: yalancı- ikinci dereceli kinetik model;

$$\frac{1}{t} = -K_2 q_e + K_2 q_e^2 \frac{1}{q_t} \quad (8)$$

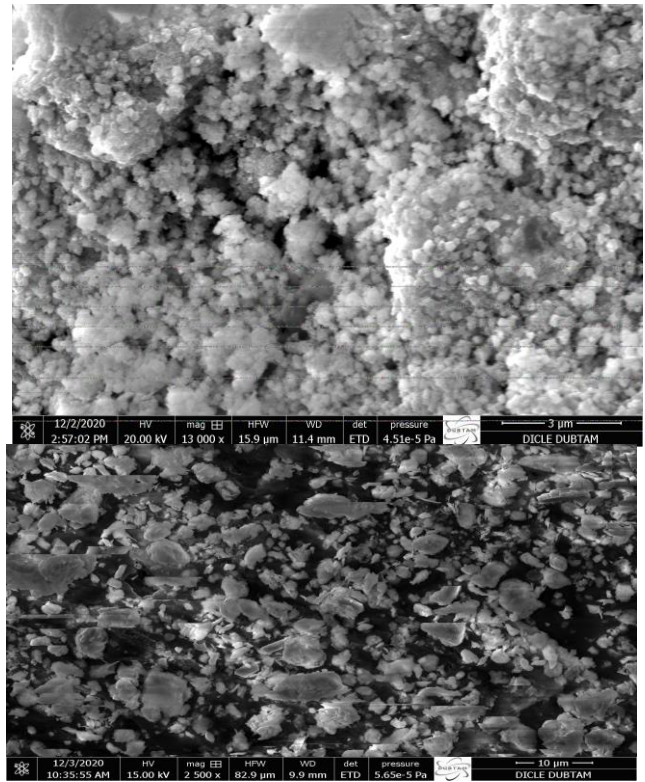
Tip 6: yalancı- ikinci dereceli kinetik model;

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (9)$$

TARTIŞMA VE SONUÇ

SEM Analizi

Şekil 1.a'da normal ve Şekil 1.b'de Ni(II) ile işlem görmüş kilin SEM görüntüsü verilmiştir. Bu görüntüye göre doğal kilin genelde küresel şekilli ve amorf yapıda, Ni(II) ile muamele edilen kilin de dağınık morfolojiye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 1. (a) Doğal ve (b) Ni(II) ile muamele edilmiş kilin SEM görüntüleri

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1115512

SEM analizine ait EDS verileri Tablo 1. de verilmiştir.

Tablo 1. SEM -EDS verileri

Element	Weight %	Net Int.	Atomic %	Error %
Si-14-SSerseries	12.99	12.45	8.66	0.6
Al -13 K	8.33	7.98	5.78	0.4
Fe-26K	7.38	7.07	2.47	0.2
Ca-20K	5.94	5.69	2.77	0.2
C-6K	3.48	3.33	5.42	0.7
Mg-12K	2.54	2.44	1.96	0.2
K-19K	1.49	1.42	0.71	0.1
Ni-28K	0.68	0.65	0.22	0.1
Na-11K	0.18	0.17	0.14	0.0
O-8K	61.37	58.81	71.85	6.9

Kil Difragtrogramı (XRD Analizi)

Çalışmada kullanılan kilin XRD analizleri yaptırıldı. Doğal kilin difraktogramı şekil 2. de verilmiştir. Kullanılan kilin analiz sonuçlarına göre;

Muskovit: %32, Plajiolaz: %15, Kalsit: %15, Kuvars: %9, kil mineralleri: %29 oranındadır. Detay kil analizinde, kil mineralinin bileşenleri: illit: %17, klorit: %62, montmorillonit: %21 oranındadır.

Adsorpsiyon deneyinden sonra, kildeki nikel varlığını tespit etmek için tekrar XRD analizi yapılmıştır. Bu analize ait XRD grafiği şekil 3'te verilmiştir. Ni (II) ile muamele edilen kilin XRD grafiği incelendiğinde Ni (II)'nin varlığı, grafiğin en sonunda, 7.45 keV 'de verdiği pik ile belirlenmiştir.

XRF Analizi

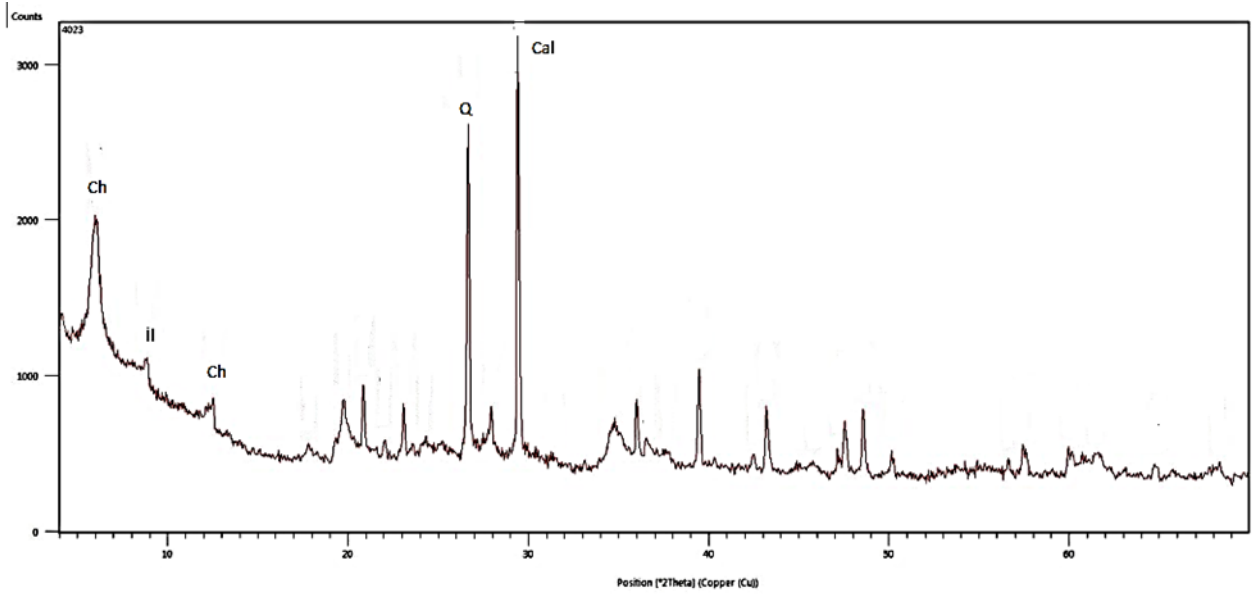
X-Ray Diffraction (XRF) analizi kilin kimyasal bileşimini yüzde cinsinden tespit etmek için yapılmıştır. XRF analiz sonuçları literatüre (Hegazy, 2012) yakın olmakla beraber, kil karışık tipte olduğu için mineral oranlarında kaymalar gözlenmiştir. Örneğin; CaO oranının yüksek olması SiO₂ oranını düşürmüştür. Karışık tipteki kilin XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Kilin XRF kimyasal analiz sonucu

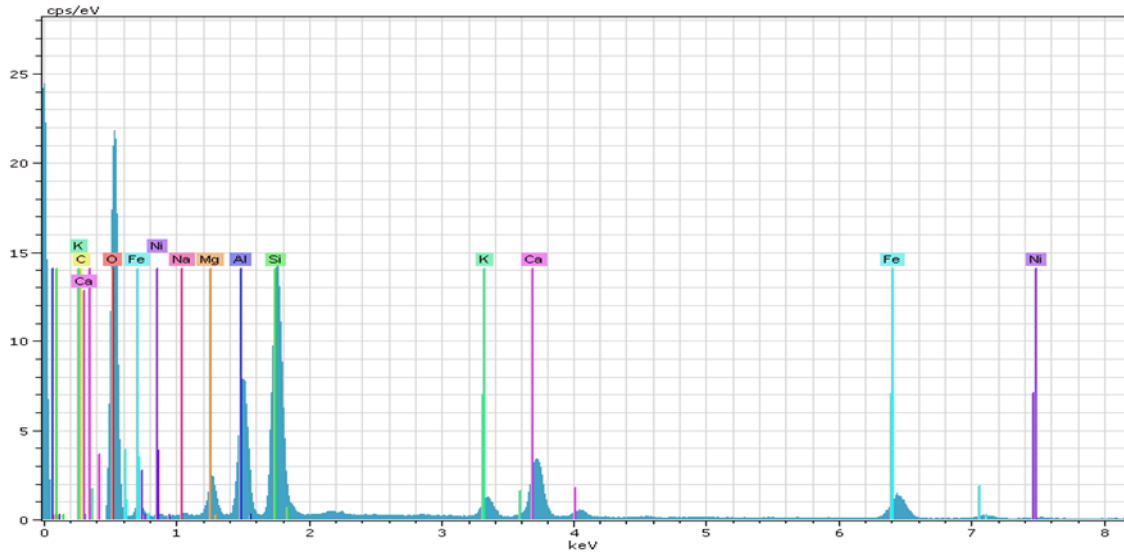
Örnek Adı	Kimyasal Bileşim %										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	TiO ₂	KK
Kil	56,0	11,3	9,8	5,8	2,1	1,2	3,1	0,1	0,1	0,8	9,50

KK: 1000 °C deki kütle kaybı

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1115512



Şekil 2. Kilin XRD difraktogramı İl: İllit, Q: Kuartz, Ch: klorit, ve Cal: Kalsit



Şekil 3. Ni(II) ile muamele edilen kilin XRD grafiği

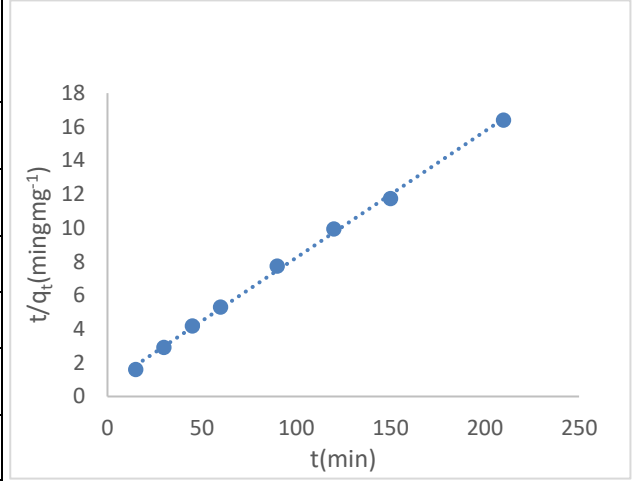
Adsorpsiyon Deneyleri Sonuçları

Yapılan deneysel çalışmada Ni(II) çözeltisinin 298 K sıcaklığında Siirt/Koçpınar karışık tip kili ile adsorpsiyon kinetiğinden elde edilen veriler Yalancı-

ikinci dereceli denkleminin 6 farklı tipli olan doğrusallaştırılmış tiplerine uygulandı. Oluşturulan grafiklere ait eksenler ve denklemler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Yalancı-ikinci dereceli kinetik modelin altı lineer tipine ait eksen ve denklemler

Lineer Tip	Eksenler		Denklemler
	Y	X	
Tip 1	$\frac{1}{q_e - q_t}$	t	$Y=0.0058x+0.1025$
Tip 2	$\frac{1}{q_t}$	$\frac{1}{t}$	$Y=0.4481x+0.0792$
Tip 3	q_t	$\frac{q_t}{t}$	$Y=-9.7495x+13.315$
Tip 4	$\frac{q_t}{t}$	q_t	$Y=-0.0933x+1.2561$
Tip 5	$\frac{1}{t}$	$\frac{1}{q_t}$	$Y=2.0246x - 0.1585$
Tip 6	$\frac{t}{q_t}$	t	$Y=0.0751x+0.724$



Şekil 4. Yalancı-ikinci dereceli kinetik modele ait Tip 6 grafiği

Şekil 4'te yalancı - ikinci dereceli kinetik modele en çok uyan lineer tip olan tip 6 eşitliğine ait grafik

görülmektedir. Lineer grafiklere ait k_2 , q_e , R^2 değerleri Tablo 4' te verilmiştir (Huang, 2018).

Tablo 4. Yalancı-ikinci dereceli kinetik modelin altı lineer tipine ait parametreler

Lineer Tip	k_2	q_e	R^2
Tip 1	0.0058	9.756	0.9112
Tip 2	355.671	12.626	0.9071
Tip 3	129.814	13.315	0.9098
Tip 4	0.0069	13.463	0.9098
Tip 5	0.0124	12.773	0.9071
Tip 6	$7.79 \cdot 10^{-5}$	13.315	0.9985

R^2 değerleri karşılaştırıldığında yalancı-ikinci dereceli kinetik modele en iyi uyum sağlayan doğrusal model tip 6'ya ait olduğu açıkça görülmektedir. Modeller uyum sırasına göre şöyle sıralanabilir: Tip 2 = Tip 5 < Tip 3 = Tip 5 < Tip 1 < Tip 6. q_e değerleri şöyle sıralanabilir: Tip 1 < Tip 2 < Tip 5 < Tip 3 = Tip 6 < Tip 4.

q_e değerleri sıralandığında, tip 4'e ait q_e değerinin 13.463 mgg^{-1} ile en yüksek kapasiteye sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 5'te bu çalışmada elde edilen adsorpsiyon kapasitesi, literatürdeki diğer kiler ile kıyaslanmıştır:

Tablo 5. Farklı adsorplayıcılarına adsorpsiyon kapasiteleri (Khalifa and Bagane, 2011)

Adsorplayıcı	Adsorpsiyon kapasitesi(mgg ⁻¹)
Kaolin	9.90
ZrO -Kaolin	9.70
TBA- Kaolin	9.80
Montmorillonit	32.70
ZrO - Montmorillonit	27.70
TBA-Montmorillonit	30.00
Asit ile aktive edilmiş kaolin	11.40
Asit ile aktive edilmiş montmorillonit	33.20
Doğal kil	21.93
Aktive edilmiş kil	26.74
Bu çalışma	13.49

Farklı killere ait adsorpsiyon kapasitelerinin değerlerinin farklı olma nedenleri adsorplayıcının cinsi (yüzey alanı, gözenek sayısı ve hacmi, aktif bölgelerin çokluğu vb.) adsorplanan maddenin cinsi (pozitif, negatif veya nötr olması, yükseltgenme basamağı) ve bu iki madde arasındaki afinite, çalışma sıcaklığı, çalkalayıcı hızı, ortamdaki diğer maddelerin interferansı ve kullanılan adsorpsiyon modelinin türü gibi pek çok faktör adsorplayıcı kapasitesi üzerinde etkili olabilmektedir.

SONUÇLAR

Siirt ili Koçpınar bölgesinden alınan kilin yapılan SEM analizinde; doğal kilin genelde küresel şekilli ve amorf yapıda olduğu ve Ni (II) ile muamele edilen kilin dağınık morfolojiye sahip olduğu görülmüştür. Kullanılan kilin analiz sonuçlarına göre; Muskovit: %32, Plajiolaz: %15, Kalsit: %15, Kuvars: %9, kil mineralleri: %29 oranında olduğu, detay kil analizinde ise; kil mineralinin bileşenleri: illit: % 17, klorit: %62, montmorillonit: %21 oranında olduğu tespit edilmiştir. XRF analiz sonuçları literatüre yakın olmakla beraber, kil karışık tipte olduğu için mineral oranlarında kaymalar gözlenmiştir. CaO oranının yüksek olması SiO₂ oranını düşürmüştür.

Yalancı-ikinci dereceli kinetik modele ait altı lineer denkleme deneysel verilerin uygulanması sonucu oluşturulan grafiklerden k_2 , q_e ve R^2 gibi parametreler elde edilmiştir.

Modele en uygun olan versiyonun bulunması amacıyla regresyon analizi yapılmıştır. Regresyonu elde etmek için en küçük kareler yöntemi olan (R^2) uygulanmıştır.

R^2 değerleri karşılaştırıldığında yalancı-ikinci dereceli kinetik modele en iyi uyum sağlayan doğrusal modelin, tip 6'ya ait olduğu açıkça görülmüştür. Modeller uyum açısından sıralandığında; Tip 2 = Tip 5 < Tip 3 = Tip 5 < Tip 1 < Tip 6. şeklinde yazılabilir. Tip 6, $R^2 = 0.9985$ değeri ile en yüksek uyumu göstermiştir

q_e değerleri şöyle sıralanabilir: Tip 1 < Tip 2 < Tip 5 < Tip 3 = Tip 6 < Tip 4. Tip 4'e ait q_e değerinin 13.463 $gm\ g^{-1}$ ile en yüksek kapasiteye sahip olduğu tespit edilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

KAYNAKLAR

- Adnan, F. and Thanasupsin, S. P. (2016). Kinetic studies using a linear regression analysis for a sorption phenomenon of 17 α -methyltestosterone by *Salvinia cucullata* in an active plant reactor. *Environmental Engineering Research*, 21(4), 384-392.
- Aljeboree, A. M., Alshirifi, A. N. and Alkaim, A. F. (2017). *Arabian journal of chemistry*, 10, S3381-S3393.
- Altunkaynak, Y., Canpolat, M. and Yavuz, Ö. (2022). Adsorption of cobalt (II) ions from aqueous solution using orange peel waste: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 19(6), 2437-2448.
- Atalar, M. N., Baran, A., Hatipoğlu, A., Firat Baran, M., Yavuz, Ö., Aktepe, N. and Keskin, C. (2021). The Characterization of Silver Nanoparticles Synthesized

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1115512

- From Prunus spinosa Fruit and Determination of Antimicrobial Effects on Some Food Pathogens. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (32), 298-305.
- Dal, M. C., Onursal, N., Yavuz, E. A. and Yavuz, Ö. Y. (2021). Diyarbakır Karacadağ Kırmızı Tepe Skoryası ile Cu (II) Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 12(2), 337-346.
- Darweesh, H. H. M. (2016). Ceramic wall and floor tiles containing local waste of cement kiln dust—part II: dry and firing shrinkage as well as mechanical properties. Am J Civ Eng Archit, 4(2), 44-49.
- EPA, U. (2004). Primer for municipal wastewater treatment systems. OoW Management.
- Huang, Y.T. (2018). C.-C. A Study On The Pseudo-Second-Order Kinetic Equation For The Adsorption Of Methylene Blue Onto Nitric Acid-Treated Rice Husk Comparison Of Linear Methods. International Journal Of Scientific And Research Publications, 509-515.
- Kul, A. R., Aldemir, A. and Koyuncu, H. (2021). An investigation of natural and modified diatomite performance for adsorption of Basic Blue 41: isotherm, kinetic, and thermodynamic studies. Desalination and Water Treatment.
- Largitte, L. and Pasquier, R. (2016). A review of the kinetics adsorption models and their application to the adsorption of lead by an activated carbon. Chemical Engineering Research and Design, 109, 495-504.
- L. Khalfa and M. Bagane. (2011) "Cadmium Removal from Aqueous Solution by a Tunisian Smectitic Natural and Activated Clay: Thermodynamic Study," Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences, Vol.1, No. 4, 2011, pp. 65-71. doi: 10.4236/jeas.2011.14009.
- Onursal, N., Kul, A. and Yavuz, Ö. (2019). Pb (II) İyonlarının Aktive Edilmiş Karışık Tipteki Kil İle Sudan Uzaklaştırılması İzoterm Kinetik ve Termodinamik Parametrelerin İncelenmesi. Euroasia of Mathematics Engineering Natural & Medical Sciences, 6(7).
- Onursal, N., Dal, M., Kul, A. and Yavuz, Ö. (2019). Cu (II) İyonlarının Doğal Karışık Tipteki Kil ile Sulu ortamdan Uzaklaştırılması, İzoterm, Kinetik ve Termodinamik Parametrelerin İncelenmesi. Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences, 7(9), 58-103.
- Sales, F. R. P., Serra, R. B. G., Figueirêdo, G. J. A. D., Hora, P. H. A. D. and Sousa, A. C. D. (2019). Wastewater treatment using adsorption process in column for agricultural purposes. Revista Ambiente & Água, 14.
- Üner, O. (2021). Acid Blue 80 Removal from Aqueous Solution by Activated Carbon Obtained from Nerium Oleander Fruits. International Journal of Pure and Applied Sciences, 7(1), 86-99.
- Yavuz, Ö., Guzel, R., Aydın, F., Tegin, I. and Ziyadanogullari, R. (2007). Removal of Cadmium and Lead from Aqueous Solution by Calcite. Polish journal of environmental studies, 16(3).