

Cu (II) İyonunun Siirt Akdoğmuş Kili (SAK) ile Adsorpsiyonunda Langmuir İzoterm Modeline Ait 6 Lineer Denklemın Karşılaştırılmalı Analizi

Comparative Analysis of 6 Linear Equations Belonging to Langmuir Isotherm Model in Adsorption of Cu (II) Ion with Siirt Akdoğmuş Clay (SAK)

Nilgün Onursal 

Dr. Öğr. Üyesi, Siirt Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fen Bilgisi Bölümü, Siirt, Türkiye

* Corresponding author: nilgunonursal@siirt.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 23.04.2023

Kabul Tarihi / Accepted: 20.05.2023

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI: 10.5281/zenodo.7969014

Özet

Ağır metaller, gerektiğinden fazla kullanılması durumunda tüm canlılar için çok büyük tehlike arz etmektedir. Özellikle insanoğlu tarafından kullanımı çok eskilere dayanan bakır, bu toksik ağır metaller arasında en çok bilinenlerden biridir. Ağır metal giderimin de kullanılan en etkili ve ekonomik yöntemlerden biri de adsorpsiyondur. Bu yöntemin izoterm modellerine uygulanabilmesi için verimli izoterm analizlerinin yapılması şarttır. Ağır metallere uygulanan adsorpsiyon olayı genellikle kimyasal adsorpsiyon olayıdır. Bu nedenle kimyasal adsorpsiyonun uygulanma modelleri arasında en çok bilinen ve kullanılanlar, Freundlich, Langmuir, Temkin ve Dubinin-Radushkevich'tir. Aslında Langmuir'in izoterm modeli doğrusal olmamakla beraber, Langmuir'in 6 tip doğrusal denklemi bu modelden elde edilmiştir. Bu çalışmada bir arada verilen bu 6 tip izoterm denkleminin ne şekilde kullanılabileceği oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada kullanılan kil Siirt ili Akdoğmuş (gundesevh-2) (SAK) köyünden temin edilmiştir. Bu kilin SEM, XRD, XRF analizleri yaptırılmıştır. Cu (II) ile işlem gören kile uygulanan adsorpsiyon işlemi sonucunda elde edilen veriler Langmuir izoterm modelinden elde edilen 6 tip doğrusal denkleme uygulanarak kıyaslama yapılmış ve regresyon katsayılarına bakılarak uygunluk durumları tespit edilmiştir. Regresyon modeli olarak en küçük kareler yöntemi kullanılmış ve elde edilen sonuçlara göre uygunluk dereceleri sırası ile yazılırsa; tip 3= tip 6 < tip 1= tip 4 < tip 2 = tip 5 şeklinde olduğu belirlenmiştir. En uygun R^2 değerleri 0,9997 değerleri ile tip 2 ve tip 5'e olarak tespit edildi. Afinitenin ölçüsü olarak kabul edilen KL değerlerinin tip 2<tip 5 < tip 6 < tip 4 < tip 3= tip 1 şeklindedir. q_m değerlerinin tip 5 < tip 2 < tip 6 < tip 4 < tip 3 < tip 1 olduğu anlaşılmaktadır. En büyük q_m değeri ise 21.418 olup, tip 5'e ait belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, 6 tip Langmuir, Bakır, Kil.

Abstract

Heavy metals pose a great danger to all living things if they are used more than necessary. Copper is one of the most well-known among these toxic heavy metals, especially for human use, which dates back to ancient times. One of the most effective and economical methods used in heavy metal removal is adsorption. In order to apply this method to isotherm models, efficient isotherm analysis is essential. Adsorption on heavy metals is generally chemical adsorption. For this reason, the most known and used models for the application of chemical adsorption are Freundlich, Langmuir, Temkin and Dubinin-Radushkevich. In fact, although Langmuir's isotherm model is not linear, Langmuir's 6 types of linear equations are derived from this model. It is very important how these 6 types of isotherm equations given together in this study can be used. The clay used in this study is located in Siirt province. It was obtained from Akdoğmuş (gundesevh) village. SEM, XRD, XRF analyzes of this clay were made. The data obtained as a result of the adsorption process applied to the clay treated with Cu (II) were applied to 6 types of linear equations obtained from the Langmuir isotherm model, and a comparison was made and their suitability was determined by looking at the

regression coefficients. According to the results obtained by using the least squares method as the regression model, the degrees of fitness are written in order; type 3= type 6 < type 1= type 4 < type 2 = type 5. shape has been determined. The most suitable R^2 values were determined as 0.9997 for type 2 and type 5. The K_L values accepted as a measure of affinity are type 2 < type 5 < type 6 < type 4 < type 3= type 1. It is understood that q_m values are type 5 < type 2 < type 6 < type 4 < type 3 < type 1. The largest q_m value was 21,418 and it was determined to belong to type 5.

Keywords: Adsorption, 6 types of Langmuir, Copper, Clay.

1. Giriş

Scheele tarafından ilk defa 1773 yılında ortaya atılan adsorpsiyon kavramı, gazların odun kömürü tarafından tutulması sonucu ortaya çıkmıştır (Demir & Yalçın, 2014). Fakat bugüne kadar oldukça fazla adsorpsiyon tanımı ve çalışmaları yapılmıştır. Adsorpsiyon, maddelerin (çözünmüş P'nin) adsorban olarak ifade edilen katı bir malzeme üzerinde bir yüzey reaksiyonu aracılığıyla uzaklaştırılmasıdır (Kumar, 2019). Adsorpsiyon prosesinin uygulanması son yıllarda oldukça gelişmiş ve artan nüfusa bağlı olarak gelişen sanayinin çevreyi kirletmesi ile hız kazanmıştır. Eski çağlardan beri kullanılmakta olan ağır metaller sanayinin gelişmesine paralel olarak çok hızlı hatta kontrolsüz bir şekilde kullanılmaya başlamıştır (Dal, Onursal, Arıca, & Yavuz, 2021). Bunlar arasında en çok kullanılan alanlar, madencilik, demir çelik üretimi, boya ve pigment üretimi, döküm sanayi, kaplamacılık ve pil üretimi olarak yazılabilir. Bunun dışında tekstil endüstrilerinde boyama işlemi boyunca önemli oranlarda su ve çeşitli kimyasal maddelerin kullanıldığı bilinmektedir

(Yılmaz & Yılmaz, 2019). Tüm bu sektörlerin hemen hemen hepsinde ağır metaller sıklıkla kullanılmakta, buna bağlı olarak katyonik kirleticiler olarak bilinen ağır metaller çevre kirliliğinde önemli rol üstlenmektedir. Ağır metallerin konsantrasyonları kritik ppm'in üzerinde olması durumunda ağır metal olarak tanımlanmaktadırlar. Bunlar arasında kötü üne sahip olanlar kadmiyum (Cd), arsenik (As), krom (Cr), cıva (Hg), antimon (Sb), kurşun (Pb), nikel (Ni) ve bakır sayılabilir. Çevre de bulunan ağır metaller ekosistem döngüsüne çeşitli yollarla nüfuz etmekte ve bu yolla besin zincirinin kirlenmesine yol açmaktadır. Bu katyonik kirleticiler besin zinciri aracılığı ile canlıya sızmaları durumunda düşük konsantrasyonlarda olsa bile toksik etki oluşturmaktadırlar (Tekin & Açık, 2023). Bu toksik maddeleri ortamdan (sulu çözeltilerden) uzaklaştırmak için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunların bir kısmı, iyon değiştirme, koagülasyon, çöktürme, çözücü ekstraksiyonu ve adsorpsiyondur (Onursal N. D., 2020). Ağır metaller gibi inatçı olan bileşikler ortamdan uzaklaştırma da kullanılan en umut verici yöntemlerden biri adsorpsiyondur. Çünkü hem ucuz maliyetli hem de kolay uygulanabilmesidir. Bütün bunlara eşdeğer olarak çevre dostu bir yöntem oluşudur (Tonk S, 2022). Bu mekanizmayı anlamının en önemli kısımlarından biri adsorpsiyon izotermi olarak bilinen denge verilerini elde etmektir. Adsorpsiyon izotermi adsorplananın moleküllerinin ya da iyonlarının yüzey adsorpsiyon bölgeleri ile etkileşimlerinin nasıl gerçekleştiğini açıklayabilmektir. Bu yüzden teorik yahut ampirik denklemler kullanarak denge verilerine ait korelasyonu tespit etmek adsorpsiyonu yorumlamak ve tahmin etmek açısından oldukça önemlidir. Çünkü adsorpsiyon izotermi adsorplayıcı tarafından adsorplanan yani çözünen madde miktarı ile sıvı fazdaki çözünen konsantrasyon arasındaki ilişkiyi ifade eden bir denklem türüdür (Bazaine, Turjillo, & Marquez, 2022). Adsorpsiyon izotermi içerisinde en çok kullanılanlar, Freundlich ve Langmuir izoterm modelleridir. Bu izotermilerden Freundlich izoterm modeli fiziksel modeller arasında gösterilirken, Langmuir izoterm modeli ise kimyasal adsorpsiyon modeli için uygun görülmektedir (Onursal N. , 2022).

1.1. Fiziksel Adsorpsiyon

Bu adsorpsiyon, Van der Waals kuvvetlerinin bir sonucu olarak görülmektedir. Buna neden olan kuvvetler ile bir gazın sıvılaşmasını oluşturan kuvvetlerle aynı tipte olduğu tespit edilmiştir. Çünkü

fiziksel adsorpsiyon çoğunlukla düşük sıcaklıklarda gözlemlenmektedir (Alacabey, 2014). Fiziksel adsorpsiyon hem tersinirdir hem de çok tabakalıdır

1.2. Kimyasal Adsorpsiyon

Adsorplanan madde ile katının yüzeyi arasında gerçekleşen fonksiyonel grupların kimyasal etkileşimi neticesinde oluşan adsorpsiyona kimyasal adsorpsiyon denir (Demir ve Yalçın 2014). Bu adsorpsiyon türündeki bağlar oldukça kuvvetli kimyasal bağlardır. Olay tersinmezdir ve tek tabakalıdır (Dal M. C., 2021)

1.3. Killer

Kil terimi, toprak ve sedimenter kayalarda yapılan mekanik analizlerin sonuçlarına göre tanecik boyutunu ifade eden kayaç anlamındadır. Bunu 1922 yılında Wenworth, tanecik boyutu 4 mikrondan (1/256 mm) daha az olan taneciklere kil denmesini önermiştir (Onursal N. D., 2020). Killerin kullanım alanı oldukça geniştir.

1.4. Ağır Metaller

Ağır metal kullanımı çok eski tarihlere dayanmaktadır. Yeryüzünde sanayi ve teknoloji gelişimi çok hızlı artmış, kontrolsüz kullanımı nedeniyle de çevre sorunlarının ilk sırasında yerini almıştır. Bunlar arasında toksik özelliğe sahip olan bakır, M.Ö. 5000’li yıllardan bu yana bilinmekle beraber yoğun olarak kullanılmaktadır. Bakır keşfedildikten sonra Kalkolitik Çağ (Bakır Çağı) başlamış ve insanoğlunu medeniyetin başka bir boyutuna taşımıştır (Ehsani & Yazıcı, 2016, sayı 9) Geniş kullanım alanına sahip olan bakır, elektrik ve yapı sanayisinde, silah ve savunma sanayisinde, endüstriyel makinalarda, gıda endüstrisinde, optik malzemelerde ve hassas alet yapımında ve iletim araçlarında kullanılmaktadır (Buldağ, 2018)

1.5. Langmuir İzoterm Modeli

Bu model, Amerikalı bilim insanı Irving Langmuir tarafından 1916 yılında türetilmiştir. Bu adsorpsiyon modeli, fiziksel, tek tabakalı ve çözeltiden adsorpsiyon için kullanılmaktadır. Bu ifade, maddenin yüzeyinde belli sayıda aktif olan bölgelerin mevcut olduğunu ve bu bölgelere sadece bir molekülün ya da iyonun absorplanabileceğini açıklamaktadır (Hünür, 2019).

Aslında Langmuir’in izoterm denklemi doğrusal bir denklem değildir. Bu ifadenin denklemi;

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

şeklindedir. Burada verilen;

q_e ; Gram adsorplayıcı başına düşen dengedeki adsorplanan madde miktarını (gmg-1)

q_m ; Gram adsorplayıcı başına düşen denge durumundaki maksimum adsorplanan madde miktarını (gmg-1)

C_e ; Denge konsantrasyonunu (mgg-1)

K_L ; Langmuir sabitini (Lmg-1) ifade etmektedir.

İlerleyen zamanda bu verilen eşitlikten elde edilen 6 tane doğrusallaştırılmış denklem elde edilmiştir. Bu 6 türetilmiş denklem aşağıda verildiği gibidir.

Tip 1

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{K_L q_m} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (2)$$

Tip 2

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{K_L q_m} \quad (3)$$

Tip 3

$$q_e = -\frac{1}{K_L} \frac{q_e}{C_e} + q_m \quad (4)$$

Tip 4

$$\frac{1}{C_e} = K_L q_m \frac{1}{q_e} - K_L \quad (5)$$

Tip 5

$$C_e = q_m \frac{C_e}{q_e} - \frac{1}{K_L} \quad (6)$$

Tip 6

$$\frac{q_e}{C_e} = -K_L q_e + K_L q_m \quad (7)$$

Literatür incelendiğinde en fazla dört doğrusal formun sunulduğu anlaşılmaktadır. Ancak yukarıda gösterildiği gibi 6 farklı formu bulunmaktadır. Bunlardan, 1 ve 2 modeli birbirine benzerken 3 ve 4 modeli ile 5 ve 6 modelleri de birbirine benzemektedirler (Osmari, ve diğerleri, 2013) . Buradaki temel amaç 6 formun grafikleri ve bağıntıları ile bir arada verilerek, bunlara ait sabitlerin bulunmasıdır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Siirt ili Akdoğmuş (Gundşeyh-2) (SAK) köyünden temin edilen karışık tipte olan kil adsorplayıcı olarak kullanılmıştır.

2.1. XRD Analizi

Numune Cu-X ışın tüplü X'Pert Powder XRD analiz cihazı ile (4-700 tüm kayaç ve 4-300 ise detay kil) gerçekleştirilmiştir. Kilin XRD analizi Panalytical X'Pert Highscore Plus programı ve ICSD

veri tabanı kullanılarak Rietveld (1969) metodu ile kantitatif analizi yapılmıştır. Elde edilen verilere göre kil;

Kalsit:% 15

Kuars:% 15

Dolomit: % 8

Plajiolaz: % 15

Jips: % 4

Muskovit:%22



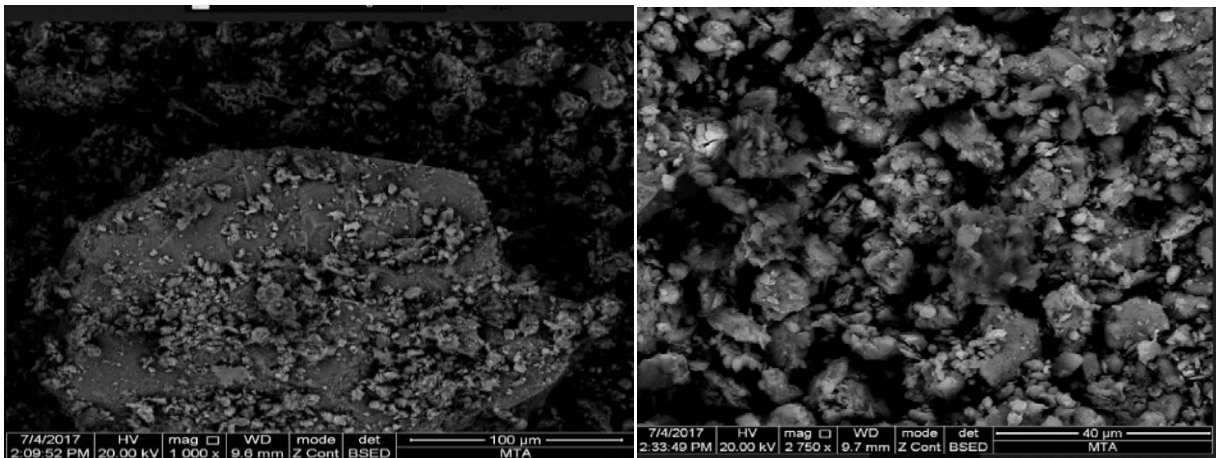
Şekil 1. a. Kilin Tüm Kayaç XRD Verileri

B. XRD, Detay Kil Analiz Verileri.

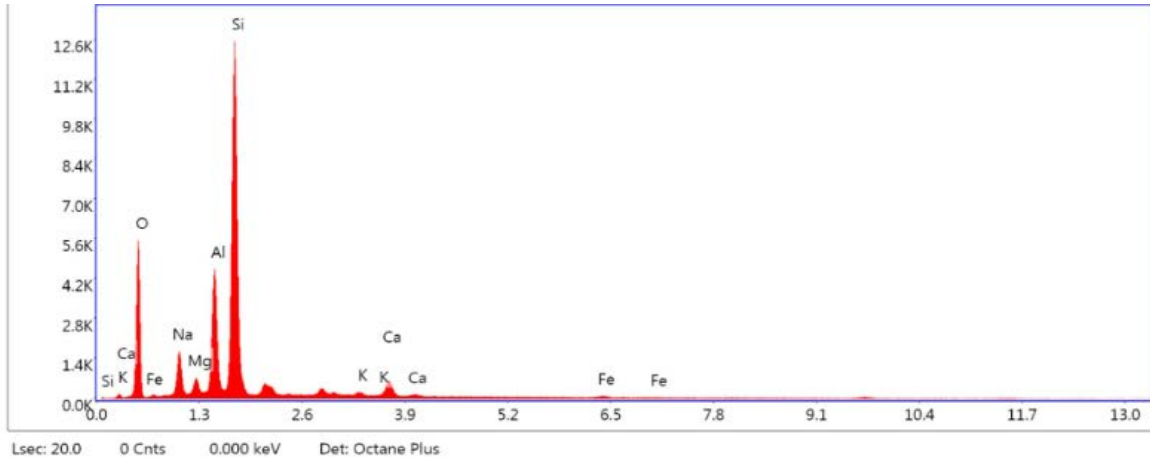
olduğu görülmektedir. Yapılan bu kil analizleri petrografik ve SEM analizleri ile desteklenmektedir;

2.2. SEM Analizi

SEM fotoğraflarına bakıldığında, yüzeyin fiziksel morfolojisi hakkında bilgi edinebiliriz. SAK'ın 1000 ve 2750 kat büyütülen SEM görüntülerine göre yapısı düzensiz olduğu anlaşılmaktadır (Belibağlı & Uysal, 2020). Ayrıca Cu ile işlem gören kilin görüntüsünde yer yer parlaklıklar tespit edilmiştir.



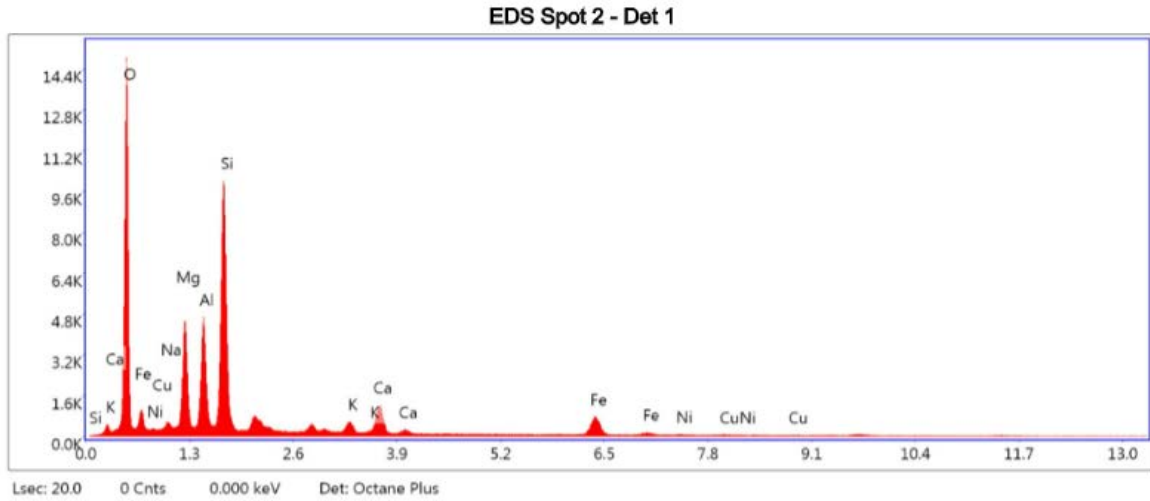
Şekil 2. Kilin Doğal ve Cu ile İşlem Görmüş SEM Görüntüleri



| Element | Weight % | Atomic % | Net Int. | Error % | Kratio | Z | A | F |
|---------|----------|----------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|
| O K | 39.84 | 53.40 | 1578.98 | 8.47 | 0.1286 | 1.0605 | 0.3044 | 1.0000 |
| NaK | 6.92 | 6.46 | 519.37 | 8.18 | 0.0293 | 0.9642 | 0.4375 | 1.0030 |
| MgK | 1.76 | 1.56 | 209.97 | 8.74 | 0.0094 | 0.9809 | 0.5388 | 1.0055 |
| AlK | 11.98 | 9.52 | 1709.32 | 5.00 | 0.0759 | 0.9448 | 0.6663 | 1.0070 |
| SiK | 35.16 | 26.84 | 5029.09 | 4.61 | 0.2288 | 0.9657 | 0.6732 | 1.0012 |
| KK | 0.63 | 0.34 | 68.02 | 16.11 | 0.0050 | 0.8957 | 0.8733 | 1.0147 |
| CaK | 2.98 | 1.60 | 285.24 | 5.70 | 0.0251 | 0.9121 | 0.9115 | 1.0121 |
| FeK | 0.72 | 0.28 | 36.88 | 22.99 | 0.0063 | 0.8133 | 0.9976 | 1.0702 |

Şek

Şekil 3. Kilin doğal EDS verileri



| Element | Weight % | Atomic % | Net Int. | Error % | Kratio | Z | A | F |
|---------|----------|----------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|
| O K | 52.74 | 67.26 | 4643.02 | 7.60 | 0.2052 | 1.0531 | 0.3695 | 1.0000 |
| NaK | 1.38 | 1.22 | 148.09 | 16.49 | 0.0045 | 0.9575 | 0.3426 | 1.0021 |
| MgK | 9.32 | 7.82 | 1851.89 | 6.82 | 0.0449 | 0.9741 | 0.4932 | 1.0029 |
| AlK | 8.39 | 6.34 | 1827.62 | 6.41 | 0.0441 | 0.9382 | 0.5579 | 1.0039 |
| SiK | 17.63 | 12.81 | 4273.42 | 5.33 | 0.1055 | 0.9590 | 0.6228 | 1.0020 |
| K K | 1.15 | 0.60 | 240.57 | 9.42 | 0.0096 | 0.8895 | 0.9118 | 1.0201 |
| CaK | 3.55 | 1.81 | 644.42 | 4.09 | 0.0308 | 0.9058 | 0.9395 | 1.0187 |
| FeK | 5.63 | 2.06 | 518.08 | 4.06 | 0.0480 | 0.8078 | 1.0030 | 1.0517 |
| NiK | 0.10 | 0.03 | 6.85 | 77.87 | 0.0008 | 0.8152 | 1.0006 | 1.0811 |
| CuK | 0.13 | 0.04 | 7.43 | 76.76 | 0.0011 | 0.7734 | 1.0029 | 1.1053 |

Şekil 4. Kilin Cu ile İşlem Görmüş EDS Verileri

2.3. XRF Analizi

Adsorpsiyonda kullanılan doğal kil Siirt iline bağlı Akdoğmuş köyünden 1,5 km uzaklıkta, yüzeyin yaklaşık 95 cm derinliğinden (adsorplayıcının kontaminasyonunu bertaraf etmek için) alınmıştır. Kilin hangi bileşenlere sahip olduğunu anlamak için XRF analizi yapılmıştır. Bu analizlerden elde edilen veriler incelendiğinde kilin karışık tipli olduğu ve farklı kil mineralleri içerdiği anlaşılmıştır (Kul & Benek, 2022).

Bu analiz sonucuna göre adsorplayıcı Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , MnO , Na_2O , P_2O_6 , SiO_2 , TiO_2 ihtiva etmektedir. Kilin MTA'ya yaptırılan XRF verileri aşağıdaki tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Akdoğmuş Kiline ait XRF Verileri.

| NumuneAdı | A.Za % | Al_2O_3 % | CaO % | Fe_2O_3 % | K_2O % | MgO % | MnO % | Na_2O % | P_2O_6 % | SiO_2 % | TiO_2 % |
|---------------|--------|-------------|---------|-------------|----------|---------|---------|-----------|------------|-----------|-----------|
| Akdoğmuş Kili | 9.50 | 11.3 | 9.8 | 5.8 | 1.2 | 2.1 | 0.1 | 3.1 | 0.1 | 56.0 | 0.8 |

Kilin XRF analizine göre element oksitlerinin % bulunma oranı sırasıyla

$SiO_2 > Al_2O_3 > CaO > Fe_2O_3 > Na_2O > MgO > K_2O > TiO_2 > P_2O_6 = MnO = 0.1$ dir

Adsorpsiyon deneyi 298 K de, markası Memmert WNB 14 model olan ısıtıcılı çalkalamalı su banyosunda yapıldı. Denge konsantrasyonları (C_e) AAS (Atomik Adsorpsiyon Spektrofotometresi) ile tespit edildi. Bu deneye ait hesaplamalar ise;

$$q_e = \frac{(C_i - C_e)V}{m1000} \quad (8)$$

bağıntısı kullanılarak gerçekleştirildi. Burada;

q_e : Gram adsorplayıcı başına adsorplanan madde miktarını (gmg^{-1}),

C_i : Başlangıç derişimini (mgg^{-1}),

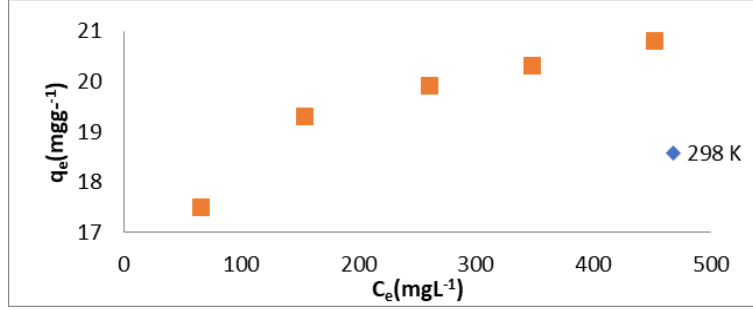
C_e : Denge derişimini (mgg^{-1}),

V: Çözeltinin hacmini (mL) ve

m: adsorplayıcının kütlesini temsil etmektedir (Bal, 2019).

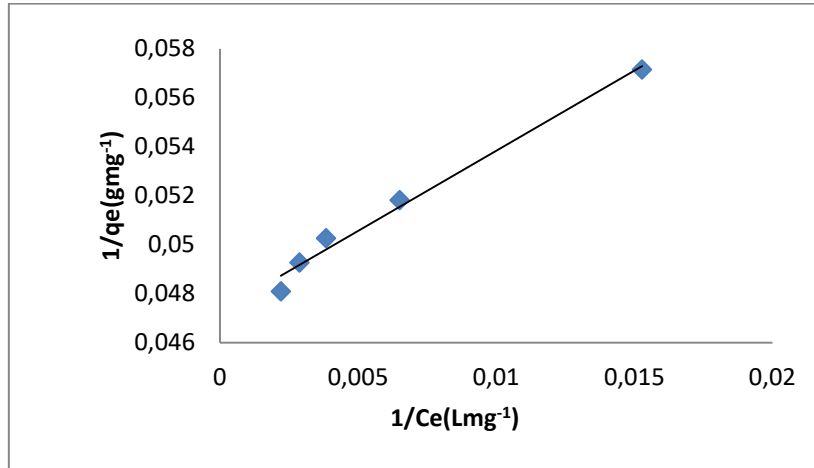
3. Bulgu ve Tartışmalar

Bu denklemde bulunan değişkenlerden C_e 'nin değeri deneysel yol ile elde edilirken, q_e 'nin değeri ise deneyden elde edilen sonuçlardan yararlanılarak hesaplanmaktadır. Çalışmanın izoterm grafiği şekil 4.te ki gibidir.

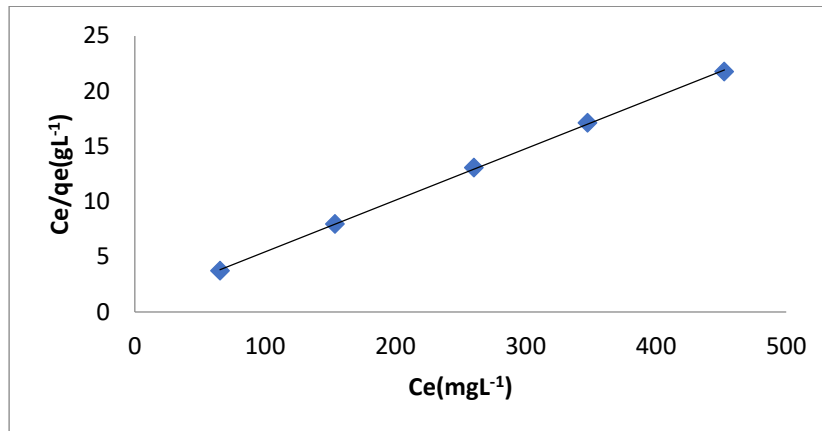


Şekil 5. Cu (II) Nin 298 K' de Langmuir İzoterm Grafiği

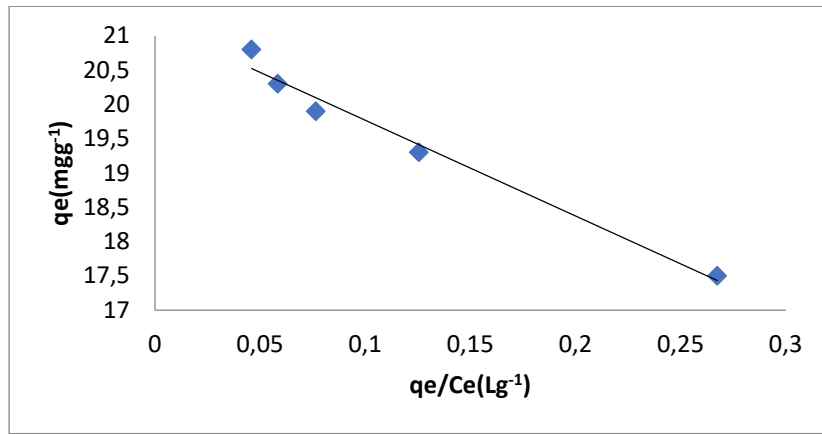
Bu çalışmada her lineer tip için bir grafik oluşturuldu. Bu grafikler aşağıdaki şekildedir.



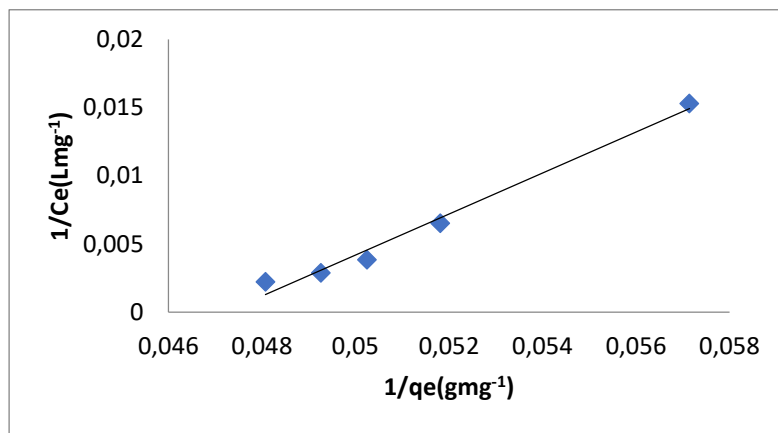
Şekil 6. Cu (II) Nin 298 K' de Langmuir (Tip 1) İzoterm Grafiği.



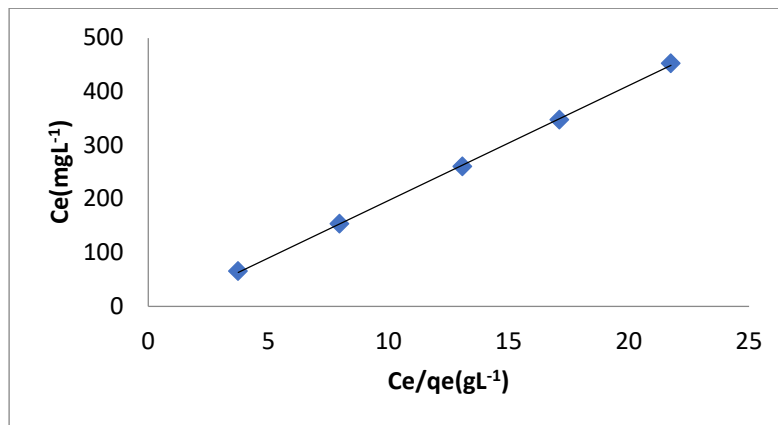
Şekil 7. Cu (II) Nin 298 K' de Langmuir (Tip 2) İzoterm Grafiği.



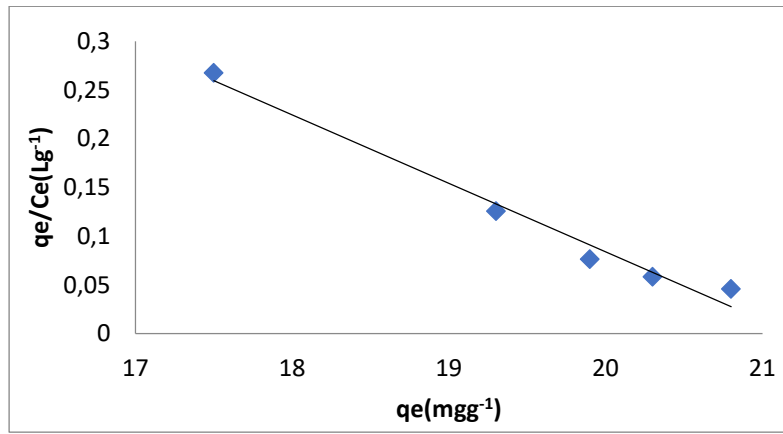
Şekil 8. Cu (II) Nin 298 K' de Langmuir (Tip 3) İzoterm Grafiği.



Şekil 9. Cu (II) Nin 298 K' de Langmuir (Tip 4) İzoterm Grafiği.



Şekil 10. Cu (II) Nin 298 K' de Langmuir (Tip 5) İzoterm Grafiği.



Şekil 11. Cu (II) nin 298 K' de Langmuir (Tip 6) izoterm grafiği.

Tablo 2. Langmuir izoterm modeline ait 6 tip doğrusal denklemden elde edilen sabitler

| Doğrusal Tipler | K_L (Lmg-1) | q_m (mgg-1) | R^2 |
|-----------------|---------------|---------------|--------|
| Tip 1 | 0,072 | 21,147 | 0,9853 |
| Tip 2 | 0,059 | 21,413 | 0,9997 |
| Tip 3 | 0,072 | 21,161 | 0,9792 |
| Tip 4 | 0,071 | 21,167 | 0,9853 |
| Tip 5 | 0,060 | 21,418 | 0,9997 |
| Tip 6 | 0,070 | 21,201 | 0,9792 |

4. Sonuç ve Öneriler

İnsanoğlunun en çok maruz kaldığı ağır metallere bakırın giderimi son dönemlerde ciddi boyutlarda ele alınmaktadır. Literatür de 4 tipinin bir arada olduğu, ancak 6 tipin bir arada olduğu çalışmaya rastlanmamıştır. Özellikle 6 tip Langmuir çok fazla bilinmemektedir. Bu çalışmada Langmuir izoterm denklemlerinin 6 türü bir arada ele alınmıştır. Bu çalışmada Siirt İli Akdoğan köyünden (SAK) temin edilen karışık tipteki kil adsorplayıcı olarak kullanılmıştır. Adsorplanan olarak ise Cu (II) iyonu tercih edilmiştir. Kilin (SAK) XRD analizi yaptırılmış ve bu analiz sonuçlarına göre, doğal kilin kil oranı % 21 ve detay kil analizi sonuçlarına göre de klorit %62, illit %19 ve montmorillonit % 19 bulunmuştur. XRF kristalografik analiz sonucuna göre; Al_2O_3 = % 11.3, CaO = % 9.8, Fe_2O_3 =%5.8, K_2O = % 1.2, MgO = % 2.1, Na_2O , % 3.1, P_2O_6 =%0.1, SiO_2 =%56.0, TiO_2 =0.8 olarak elde edilmiştir Isıtıcı shaker'da (Çalkalamalı su banyosu) 298 K sıcaklığında yapılan deneylerden elde edilen veriler Langmuir izoterm modeline ait olan 6 lineer denkleme uygulanmıştır. Denklemleri kıyaslayabilmek için regresyon modeli olarak en küçük kareler yöntemi kullanılmış olup, oluşturulan regresyon analizi sonucunda modellerin hangisinin adsorpsiyona daha iyi uyduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Uygunluk derecelerinin, tip 3= tip 6 <tip 1= tip 4 <tip 2 = tip 5 şeklinde olduğu belirlenmiştir. En uygun R^2 değerleri 0,9997 değerleri ile tip 2 ve tip 5'e olarak tespit edildi. Afinitenin ölçüsü olarak kabul edilen K_L değerlerinin tip 2<tip 5 <tip 6 <tip 4 <tip 3= tip 1 şeklindedir. q_m değerlerinin tip 5 < tip 2 < tip 6 < tip 4 < tip 3 < tip 1 olduğu anlaşılmaktadır. En büyük q_m değeri ise 21.418 olup, tip 5'e ait olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

Alacabey, İ. (2014). Doğal ve Aktive Edilmiş Van Gölü Sediment (Dip Çamuru) Örneklerinin Bazı Ağır Metallerle Adsorpsiyonunun İzoterm Ve Termodinamik Analizi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Yüksek Lisans tezi. Van: Yüzüncü Yıl Üniversitesi, ss,163.

- Bal, N. (2019, Haziran). Kobalt (II) ve Kadmiyum(II) İyonlarının sulu Çözeltiden Klorit İhtiva Eden Killerle Uzaklaştırılması. Yüksek Lisans tezi/Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Diyarbakır: Dicle Üniversitesi.
- Bazaine, A. A., Turjillo, A. C., & Marquez, M. O. (2022). Adsorption Isotherms: Enlightenment of the Phenomenon of Adsorption. Wastewater Treatment, DOI: 10.5772/intechopen.104260.
- Belibağlı, P., & Uysal, Y. (2020). Atık Yumurta Kabuklarından Sentezlenen Hidroksiapatitler ile Sulardan Malahit Yeşil Giderimi. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(3), 141-152.
- Buldağ, E. (2018, Aralık). Nikel(II) ve Mangan (II)'nin Sulu Çözeltiden Klorit İhtiva Eden Killerle Uzaklaştırılması. Yüksek Lisans/Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü . Diyarbakır: Dicle Üniversitesi.
- Dal, M. C. (2021, Temmuz). Cu(II), Ni (II) VE Co(II)'nin Karacadağ Skoryası ile Adsorpsiyonunun İzoterm, Kinetik ve Termodinamik Analizi. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Doktora Tezi. Diyarbakır: Dicle Üniversitesi.
- Dal, M. C., Onursal, N., Arıca, E., & Yavuz, Ö. (2021). Diyarbakır Karacadağ Kırmızı Tepe Skoryası ile Cu (II) Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi. DÜMF (Mühendislik dergisi), 337-346.
- Demir, E., & Yalçın, H. (2014). Adsorbentler: Sınıflandırma, Özellikler, Kullanım ve Öngörüler. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 7 (2), 70-79.
- Ehsani, A., & Yazıcı, E. Y. (2016, sayı 9). Anadolu'da Bakır Madenciliği ve Kullanımının Kısa Tarihiçesi. Yer Altı Kaynakları Dergisi | Journal of Underground Resources , 43-48.
- Hünür, S. (2019). Metilen Mavisinin Sulu Çözeltiden Klorit İçeren Killerle Uzaklaştırılması. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans. Diyarbakır: Dicle Üniversitesi, ss, 96.
- Kul, A. R., & Benek, V. (2022). Doğal ve Asitle Aktive Edilmiş Siirt/Koçpınar Kili Kullanılarak Atık Sulardan Malahit Yeşili Boyar Maddesinin Uzaklaştırılması. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Cilt 7, sayı 1, 41-56.
- Kumar, P. S.-J. (2019). Adsorption as a technology to achieve ultra-low concentrations of phosphate: Research gaps and economic analysis. Water Research, doi: 10.1016/j.wroa.2019.100029.
- Onursal, N. (2022). Removal of Ni (II) Ions from Aqueous Solutions with Siirt Koçpınar Mixed Type Clay (SKMTC) Investigation of Isotherm, Thermodynamic and Kinetic Parameters. Desalination and Water Treatment; Volume:276, 150-159.
- Onursal, N. D. (2020). Cu (II) İyonlarının DoğalKarışık Tipteki Kil ile Sulu Ortamdan Uzaklaştırılması, İzoterm, Kinetik ve Termodinamik Parametrelerin İncelenmesi . Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences, 85-103.
- Osmari, T., Gallon, R., Schwaab, M., Barbosa-Coutinho, E., Severo, J., & Pinto, J. (2013). Statistical Analysis of Linear and Non-linear Regression for the Estimationof Adsorption Isotherm Parameters. Adsorption Science & Technology, 31(5), 433-458.
- Tekin, B., & Açıkkel, Ü. (2023). Adsorption Isotherms for Removal of Heavy Metal Ions (Copper and Nickel) from Aqueous Solutions in Single and Binary Adsorption Processes. Gazi University Journal of Science, GU J Sci 360: DOI:10.35378/gujs.1066137-495-509.
- Tonk S, A. L. (2022). Effectiveness and characterization of novel mineral clay in Cd²⁺ adsorption process: Linear and non-linear isotherm regression analysis. Wastewater Treatment, DOI: 10.5772/intechopen.104260.