

**CU(II) İYONLARININ AKTİVE EDİLMİŞ KARIŞIK TİPTEKİ KİL İLE SUDAN  
UZAKLAŞTIRILMASI, İZOTERM, KİNETİK VE TERMODİNAMİK PARAMETRELERİN  
İNCELENMESİ**

ISOTHERM, KINETIC AND THERMODYNAMIC ANALYSIS OF SOME HEAVY METAL  
ION'S ADSORPTION ON NATURAL AND MODIFIED CLAY MINERALS (SIIRT/KURTALAN)

**Nilgün ONURSAL**

Siirt Üniversitesi Eğitim Fakültesi, Siirt

**Ali Rıza KUL**

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Van

**Mehmet Fırat BARAN**

Mardin Artuklu Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler Bölümü,  
Mardin

**ÖZET**

Bu çalışmada Cu(II) iyonlarının sulu ortamdan uzaklaştırılması için asit ile modifiye edilen kil kullanılmıştır. Sıcaklık, konsantrasyon, pH, temas süresi gibi adsorpsiyona etki eden parametreler incelenmiştir. Elde edilen veriler Freundlich, Langmuir, Temkin ve Dubinin-Radushkevich adsorpsiyon izotermine uygulanmış, verilerin en çok Langmuir adsorpsiyon izoterm modeline uyduğu değerlendirilmiştir. Adsorpsiyon kapasitelerinin 298; 303 ve 313 K için sırasıyla 30,30; 26,18; 47,17 mgCu/g aktive edilmiş kil olduğu bulunmuştur.

Kinetik veriler Lagergren, Ho-McKay, Weber-Morris ve Elovich modellerine uygulandığında verilerin daha çok, Ho McKay ikinci derece hız denkleminde uyduğu değerlendirilmiştir.

Ayrıca serbest enerji, entalpi ve entropi gibi termodinamik veriler hesaplanmış ve Cu (II) için  $\Delta H_o = 107,07$  k j/mol,  $\Delta S_o = 0$ , 378 k j/mol ve  $\Delta G_{298} = - 5,75$  k j/mol,  $\Delta G_{308} = -9,54$  k j/mol,  $\Delta G_{318} = - 13,32$  k j/mol olduğu bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Bakır, Adsorpsiyon, Kinetik parametreler, Termodinamik, Ham kil ve Aktive edilmiş kil.

**ABSTRACT**

In this study, modified mixed type clay are being used for removal of Cu(II) from aqueous solution. The parameters affecting the adsorption, such as temperature, concentration, pH, contact time were examined. The data were applied to the Freundlich, Langmuir, Temkin and Dubinin-Radushkevich adsorption isotherms and Langmuir adsorption isotherm model was evaluated as the best fit in accordance with the data. Adsorption capacities of 298, 303 ve 313 K were found to be 30.30, 26.18 and 37.17 mg Cu/g activated clay, respectively.

When the kinetic data were applied to the Lagergren, Ho-McKay, weber- Morris and Elovich models, it was seen that the data mostly complies with the Ho-McKay pseudo second order equation.

Also, thermodynamic data such as free energy, enthalpy and entropy were calculated and as a results show that  $\Delta H_o = 107,07$  k j/mol,  $\Delta S_o = 0$ , 378 k j/mol ve  $\Delta G_{298} = - 5,75$  k j/mol,  $\Delta G_{308} = -9,54$  k j/mol,  $\Delta G_{318} = - 13,32$  k j/mol, for adsorption of Cu(II) on activated clay.

**Keywords:** Adsorption, Clay, Copper, Lead, Heavy metal, Thermodynamics, Raw clay and Activated clay.

**1.GİRİŞ**

Ağır metallerin kullanımı oldukça eski dönemlere dayanmaktadır. Dünyada sanayileşme ile beraber metal üretimin artması, çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bu çevre sorunları arasında çok önemli yer tutan faktörlerden biri ise, ağır metallerin doğrudan doğayı kirletmesidir.

Ağır metallerin sayısı 60'dan fazla olup bunlardan bakır, kurşun, demir, kobalt, kadmiyum, krom, kalay, nikel, çinko, alüminyum, vanadyum, molibden, mangan en çok bilinenlerdir. Bu elementler doğada genel olarak kararlı bileşikleri olan sülfür, silikat, oksit ve karbonat bileşikleri halindedirler(Çay, 2014).

Doğada önemli kirletici grubunda yer alan ağır metallerin toksik ve kanserojen etkileri bilinmektedir. Ağır metallerin biyolojik süreçlere katılma durumlarına göre, yaşamsal veya yaşamsal olmayan olarak ayrılır. Bu ağır metallerin yaşamsal olarak bulunması yani biyolojik reaksiyonlara katılmaları için, organizmaların yapısında gerektiği oranda bulunmaları ya da düzenli bir şekilde besinler aracılığı ile alınmaları gerekmektedir. Ancak yaşamsal olmayan ağır metallerin eser miktardaki konsantrasyonları dahi ciddi sağlık problemleri oluşturabilmektedir. Ağır metalin yaşamsal değeri organizmadan organizmaya farklılık gösterir. Hayvanlarda iz elementi olarak bulunması gereken nikel, bitkiler için zararlı bir elementtir. (Filiz, 2007)

Bakır, Cu ile sembolize edilmekte olup, atom numarası 29, atom ağırlığı 63,54 dir. Bakırın tarihçesi çok eskiye dayanmaktadır. M.Ö. 8000 yılından beri varlığı bilinmekte olan bakır kendine has kırmızımsı bir renktedir. Erime noktası çok yüksek olduğu için, demirden çok sonraları işlenebilmiştir. Bu yüzden bakır devri, demir devrinden sonra gelmiştir. Bakır, yumuşak bir yapıya sahip olduğundan kolayca dövülüp işlenmektedir. Önceleri mutfak eşyası yapımında kullanılmakta iken, günümüzde bu eşyalar turistik amaçlı üretilmektedir. Bakırın en çok bilinen alaşımları, tunç, pirinç ve bronzdur. Bakır ayrıca altın ve gümüş işlemeciliğinde kullanılmaktadır.

Elektrik iletkenlik yönünden alüminyumdan önce, gümüşten sonra gelen bakır, elektrik kablosu olarak kullanılmaktadır. Ne var ki bakır fiyatı pahalı olduğundan, havai

hatlarda bakır yerine iletkenliği daha düşük olan alüminyum elementi kullanılır. Alüminyumun tercih edilme sebeplerinden biri hafif olmasıdır. Kıbrıs adasında bakırın bulunması sebebi ile isminin Cupper olarak buradan geldiği rivayet edilmektedir Yaklaşık olarak yıllık Dünya'da 8.500.0000 ton bakır üretimi gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada adsorban olarak kil kullanılmıştır. Kil terimi kayaç anlamı taşımalarının yanı sıra, toprak ve sedimenter kayaçlardaki mekaniksel olarak yapılan analiz sonuçlarına göre, tanecik boyutunu yani taneciğin iriliğini ifade eden bir kavramdır. Wentworth, 1922 yılında tanecik boyutu 4 mikrondan (1/256 mm ) daha küçük olan taneciklere kil denilmesini teklif etmiştir. Uddin göre; Kil, 2µm'den (25,400 µm= 1 inç) daha küçük partikül boyutuna ve aynı kimyasal bileşim ile ortak kristal özelliğine sahip madencilik familyasının ortak ismidir. (Uddin, 2017)

Özellikle kimya ve mineroloji açısından önemli olan bu kaynağa göre çeşitli amaçlar için kullanılan bu topraklar Samian, Melian ve Kimolian olarak kategorize edilmiştir. Samian (kaolen) kili seramik yapımı işinde, Melian, ince kuvars içerdiğinden resim ve boya malzemesi olarak kullanılıyordu. Kimolian (Ca- montmorillonit) ise iki renkli olup (Beyaz ya da kırmızı) 2000 yıl süresince çamaşır yıkanması (ağartıcı olarak) işinde ve ilaç yapımında kullanılmıştır. Kil minerallerinin karmaşık ve çok çeşitli olmalarının nedeni, bünyelerinde fazla miktarda yabancı madde barındırmalarıdır. Ayrıca oluşum yerlerinin ve özelliklerinin farklı olmasından kaynaklı olarak birçok sınıflandırmaya ayrılabilirler. Bu sınıflandırmalar;

Mineral özelliklerine göre oluşan gruplar;

- Klorit
- Kaolin
- Montmorillonit (smektit)
- Mika
- İllit
- Attapulgit (Malayoğlu,1995)

Killerle ilgili yapılan araştırmalarda , killerin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş olup, kullanım alanlarına göre farklı özelliklere sahip olması aranır. Dört tip olarak ele alınan killerin oluşum durumları aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Nemli ve ılıman iklime sahip alanların yüzeyinde kaolinit tipi kil bulunmaktadır. Daha derin yataklarda ise illit ve momtmorillonit killeri mevcuttur. Fakat göreceli şekilde silis içermeyen laterit, boksit ve opalin ile bunlardan ayrıcalıklı olan tripolin ise tropikal iklim koşullarını sağlayan bölgelerde oluşmaktadır (Karaağaç, 1981).

Kil minerali tanımı yapılırken, killere etki eden beş faktörün bilinmesi gerekir.

- Kilin mineral bileşimi
- İhtiva ettiği organik maddeler
- Kil dışı mineral bileşimleri
- Çözülen tuzlar ile yer değiştirebilen iyonların bulunması
- Dokusu

Bir kil minerali tanımlanmadan önce bu faktörlerin bilinmesi lâzımdır. Kili meydana getiren kil minerallerinin cinsi ve bileşimi kil malzemesinin hususiyetlerine tesiri bakımından son derece önemlidir(Akıncı, 1968)

Ağır metallerin diğer bir ifadeyle toksik maddelerin ortamdaki uzaklaştırılması için birçok teknik uygulanmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanlardan birisi de adsorpsiyondur. Adsorpsiyon basit tanımıyla, bir maddenin başka maddelerin yüzeylerine tutunması olayıdır. Yöntem olarak adsorpsiyon, ara kesit veya yüzey üzerinde maddenin derişiminin artması yani maddenin yüzeyde birikmesidir. Başka bir tanımlama da ise, adsorpsiyon, moleküllerin sahip oldukları saldırma kuvvetlerinin etkisi ile yüzeye yapışması sürecidir.

Adsorpsiyon olayı ile adsorbanın yüzeyi arasında ilişki vardır. Ayrıca adsorpsiyon olayı maddenin hacminden ziyade yüzeyinin rol oynadığı bir süreçtir. Çünkü moleküller arasındaki kuvvetlerin sınır yüzeyinde dengelenmemesinden kaynaklanır (Berkem & Baykut, 1977).

Farklı fazdaki maddeler arasındaki çekim kuvvetlerinin etkisi ile gerçekleşebilen üç tür adsorpsiyon vardır. Fiziksel adsorpsiyon (Fizisorpsiyon), kimyasal adsorpsiyon (Kemosorpsiyon), iyonik adsorpsiyon' dur.

## 2.MATERYAL VE METOD

### 2.1 Materyal

Siirt İli Kurtalan ilçesi Ağaçalıpınar köyünden temin edilen orijinal kil 110 °C de 24 saat süreyle etüv de kurutulup, desikatörde soğutuldu. Daha sonra hazır hale getirilen kil öğütüldü. Numunenin eleme işlemi, kontrollü elek sarsma cihazı ile ( -100+120), ( -120+140), (-140+170), (-170+200) ve - 200 mesh'lik eleklerde gerçekleştirildi. Elenen kil numuneleri uygun kaplara alınıp ağzı kapalı şekilde kullanıma hazır hale getirildi. Ham kilin aktive edilmesi için 5 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanıldı ve karışım karıştırılarak süzüldü. Süzüntüde sülfat iyonları kalmayınca kadar saf su ile yıkandı. Sülfat iyonlarının kalıp kalmadığı BaCl<sub>2</sub> çözeltisi ile kontrol edildi. Elde edilen aktive edilmiş kil 110 °C de 24 saat süreyle etüv de kurutulup, desikatöre konuldu.

XRF ile yapılan kilin kimyasal analiz sonucu aşağıda tablo 1.de verilmiştir.

**Tablo 1.** Aktive Edilmiş Kilin Kimyasal Bileşimi

Numune Adı	Kimyasal Bileşim %										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	KK
Ham Kil	56,0	11,3	9,8	5,8	2,1	1,2	3,1	0,1	0,1	0,8	9,50
AktiveKil	51,7	14,6	3,8	8,6	6,0	3,2	0,9	0,1	0,1	0,7	10,0

**KK:** 1000 °C deki kütle kaybı.

### 2.2. Metod

Adsorpsiyon deneyleri 3 grupta yapıldı. Bunlar kinetik, izoterm ve sıcaklık deneyleridir. Deneylerde ağır metal çözeltileri 25 ml alınarak, daha önceden tartımı yapılan erlenmayer de ki 0,2000'er g lik

killerin üzerine bırakıldı. Isıtmalı çalkalayıcıda (Shaker) uygun zaman dilimlerinde çalkalanıp, katı ve sıvı fazlara ayrılmaları için 15'er dakika santrifüjlendi. Geriye kalan kil ve çözelti uzaklaştırılarak AAS cihazında analiz edildi. Adsorplanan miktarlar 2.1 denklemleri kullanılarak hesaplandı.

$$q_t = \frac{(C_i - C_t) \cdot V}{m} \quad q_e = \frac{(C_i - C_e) \cdot V}{m} \quad (2.1)$$

### 2.3 Adsorpsiyon İzotermi ve Denklemleri

Adsorpsiyon izotermi'nin amacı adsorpsiyon mekanizmasının matematiksel yöntemlerle ifade edilmesidir. Burada elde edilecek olan, adsorpsiyon süresince çözeltide kalan madde miktarı ile adsorbanın yüzeyinde biriken madde arasındaki dinamik dengenin olmasıdır. (Güneren, 2010)

Adsorpsiyon izotermi'leri adsorpsiyon çalışmalarında en önemli etkenlerdir. Bu izotermi'ler şöyle sıralanabilir.

- Freundlich modeli
- Langmuir denklemi
- Temkin:
- Dubinin-Radushkevich

- ***Freundlich modeline göre, bir adsorbent'in yüzeyinde*** bulunan adsorpsiyon alanları heterojendir yani farklı türden adsorpsiyon alanlarından oluşur. Lineerize edilmiş Freundlich ifadesi denklem (2.2) de verilmiştir.

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (2.2)$$

Burada;  $K_F$  adsorpsiyon kapasitesini (L/mg); n: adsorpsiyon yoğunluğunu (birimsiz) ifade eder (Baran ve ark. 2018).

Langmuir'a göre, adsorbent'in tek bir tabaka meydana geldiğini ve her bir adsorplayıcı noktanın bir molekül adsorpladığını kabul eder. Denge halinde maksimum adsorpsiyon kapasitesine ulaşılmış ve yüzey tek tabaka ile kaplanmış olur. Langmuir, özellikle kimyasal adsorpsiyonda ve daha bir çok halde bir doymuşluk olduğunu ifade eder. Bunu açıklamak için de adsorpsiyonun yüzeydeki dinamik denge durumunu ve tek molekülli tabaka durumunu ele alarak kendi adıyla anılan teoremi oluşturarak bağıntı haline getirmiştir (Baran ve Düz 2019) (Akyıldız, 2007). Bu bağıntı 2.3 denklemi ile verilmiştir.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_{max}} + \frac{1}{b q_{max}} \quad (2.3)$$

$$q_e = \frac{(C_i - C_e) \cdot V}{m} \quad (2.4)$$

Burada;  $q_m$  : dengedeki g adsorplayıcı başına adsorplanan madde miktarını (mg/g) ifade eder.  $C_i$ : Başlangıç derişimi (mg/L)  $C_e$ : denge derişimi (mg/L); V: hacim (L); m: adsorplayıcının kütlesi (g);  $q_{max}$ : maksimum adsorpsiyon kapasitesi (mg/g); b: Lagmuir sabiti (L/mg) ; Temkin: 1941 Yılında Temkin ve Pyzhev'in çalışmaları, adsorban ile adsorbat ve adsorpsiyon ısıları arasındaki etkileşimi inceleyerek yeni bir izoterm modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada yüzeydeki tüm moleküllerin enerjilerinin lineer olarak azalmasının nedeni adsorbanın yüzeyinin heterojen yapıda olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu izotermde, adsorbe edilen maddeler arasındaki etkileşimler dikkate alınmakla birlikte, çözeltide bulunan tüm moleküller için adsorpsiyon entalpisi hesabı geliştirilmiştir. Bununla ilgili bağıntı ise 2.5 te olduğu gibidir.

$$q_e = B \ln AT + B \ln C_e \quad (2.5)$$

$$B=RT/b \quad (2.6)$$

Burada;  $B$  (j/mol) cinsinden adsorpsiyon ısısı ile ilgili Temkin sabiti,  $A$  (L/g) maksimum bağlanma enerjisne karşılık gelen denge bağlanma sabiti,  $R$  (8,314 J/mol K) evrensel gaz sabiti ve  $T$  (Kelvin) mutlak çözelti sıcaklığıdır.

Dubinin-Radushkevich: Adsorpsiyon türünü belirlemek amacıyla kullanılır. Bu amaçla elde edilen bağıntı 2.7 olarak verilmiştir.

$$\ln q_e = \ln q_m - K_{D-R} \varepsilon^2 \quad (2.7)$$

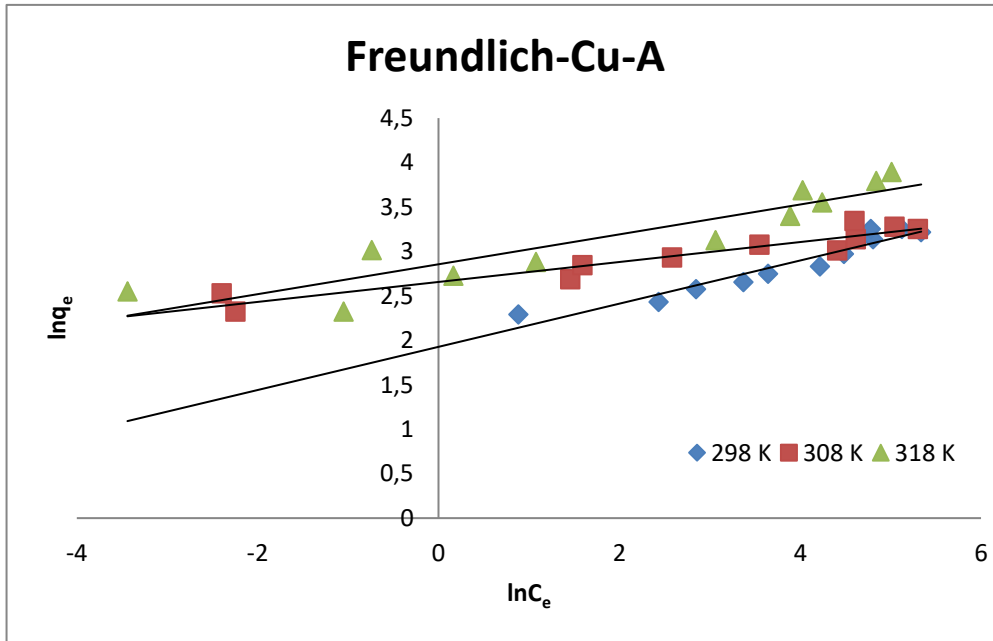
$$\varepsilon = RT \ln \left( 1 + \frac{1}{C_e} \right) \quad (2.8)$$

$$E = \frac{1}{\sqrt{2K_{D-R}}} \quad (2.9)$$

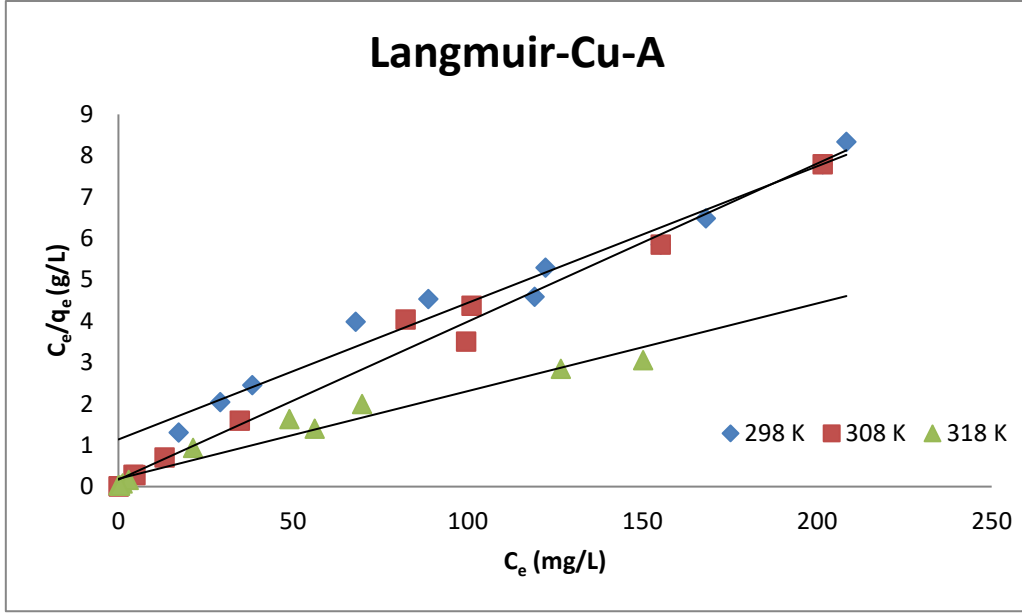
Burada  $q_e$  (mol/g) birim kütle başına adsorplanan metal miktarı,  $q_m$  (mol/g) tek tabaka kapasitesi,  $K_{D-R}$ , ortalama sorpsiyon enerjisi ile ilgili aktiflik katsayısı ve  $\varepsilon$ , Polanyi potansiyeli,  $C_e$  (mol/L) sulu çözeltideki denge metal derişimi,  $E$  (kJ/mol) ortalama adsorpsiyon enerjisidir ve denklem 2.7 -2.9 denklemleriyle hesaplanabilir.

D-R modeli sabitleri olan  $q_m$  ve  $K_{D-R}$   $\ln q_e$  nin  $\varepsilon^2$  ye karşı grafiğe geçirilince elde edilen doğrunun eğiminden  $K_{D-R}$  kaymasından ise  $\ln q_m$  elde edilir.

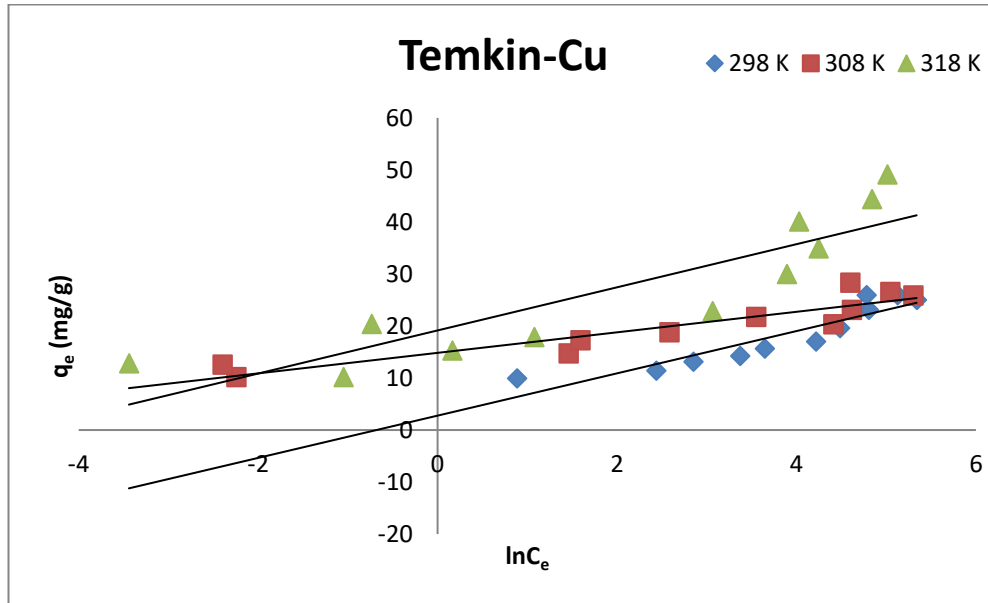
Cu(II) iyonlarının aktive edilmiş karışık tip kil üzerine adsorpsiyonundan elde edilen veriler Freundlich, Langmuir, Temkin ve Dubinin-Radushkevich izoterm modellerine uyarlanarak şekil 1,2,3,4'te verilmiştir.



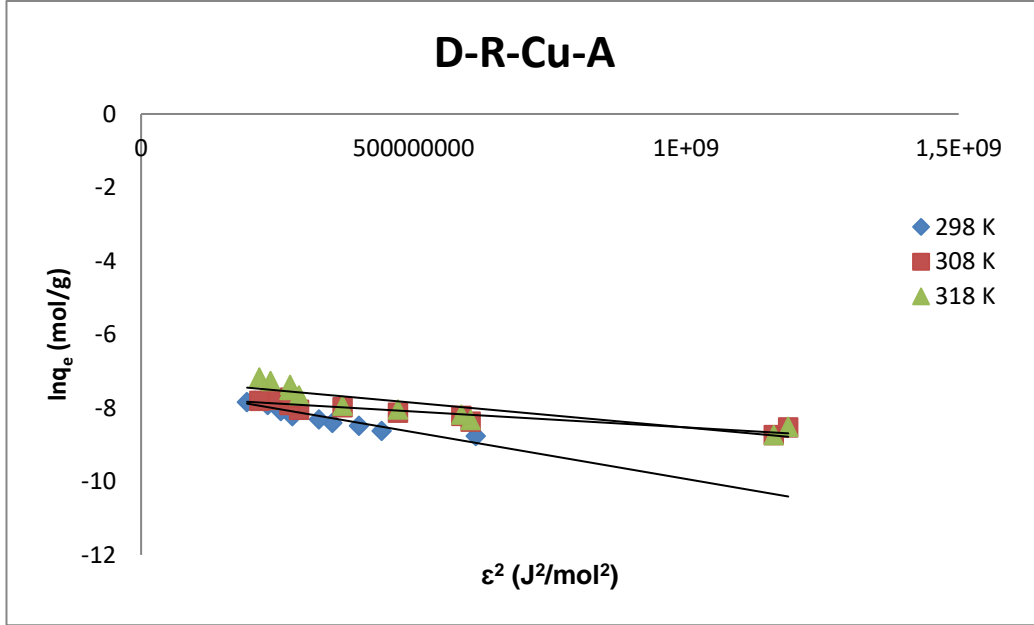
Şekil 1 . Farklı sıcaklıklardaki Cu(II) nin aktive edilmiş karışık tip kil üzerindeki Freundlich izotermi



Şekil 2. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II) nin aktive edilmiş karışık tip kil üzerindeki Langmuir izotermi



Şekil 3. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II) nin aktive edilmiş karışık tip kil üzerindeki Temkin izotermi



Şekil 4. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II) nin aktive edilmiş karışık tip kil üzerindeki D-R izotermi

Çizelge:2. Cu(II)'nin aktive edilmiş kil üzerindeki adsorpsiyonuna ait, Langmuir, Freundlich, Temkin, Dubinin-Radushkevich (D-R) izoterm parametreleri

T (K)	Freundlich İzoterm Modeli $\ln q_e = \ln K_F + 1/n \ln C_e$				Langmuir Adsorpsiyon İzotermi $C_e/q_e = 1/K_L q_{max} + C_e/q_{max}$				
	Denklem	$K_F$	n	$R^2$	Denklem	$K_L$ (L/mg)	$q_{max}$ (mg/g)	$R^2$	
293	$Y=0,1623x+1,6125$	5,02	6,16	0,8635	$Y=0,0904x+0,9343$	0,096	11,06	0,9874	
303	$Y=0,1753x+2,091$	8,09	5,70	0,8246	$Y=0,053x+0,1326$	0,399	18,86	0,9995	
318	$Y=0,1656x+2,8082$	16,58	6,04	0,8782	$Y=0,0269x+0,0645$	0,417	37,17	0,9996	
T (K)	Temkin İzoterm Modeli $\ln q_e = B \ln K_T + B \ln C_e$				Dubinin Radushkevich (D-R) İzoterm Modeli $\ln q_e = \ln q_{max} - B_{D-R} \epsilon^2$ $\epsilon = RT \ln(1+1/C_e)$				
	Denklem	$K_T$	B	$R^2$	Denklem	$K_{D-R} \times 10^9$	E (KJ/mol)	$q_{max}$ (mg/g)	$R^2$
298	$Y=1,4465x+4,4231$	21,28	1,4465	0,7178	$Y=-1.10^{-9}x-8,3133$	1	22,37	15,47	0,787
308	$Y=2,0085x+8,5161$	69,40	2,0085	0,919	$Y=-2.10^{-9}x-7,7077$	2	15,81	28,55	0,876
318	$Y=3,7212x+17,706$	116,52	3,7212	0,9622	$Y=-2.19^{-9}x-7,093$	2	15,81	52,79	0,9166

Aktive edilen kil üzerindeki Cu (II) İzoterm sonucu verilerine bakıldığında ise, Langmuir adsorpsiyon izoterm modeline uyduğu belirlenmiş olup,  $R^2$  değerlerinin 0,98'in üzerinde olduğu bulunmuştur.

#### 2.4. Temas Süresi ve Adsorpsiyon Kinetiği

Adsorpsiyon kinetiği, adsorplanan madde ile adsorban arasındaki temas süresini belirleyebildiği gibi, adsorpsiyonun hangi basamaklarda gerçekleştiğini de ifade etmektedir. Kinetik modeller zamana bağlı olarak aşağıda belirtilen modellerde incelenmektedir.

#### 4. Pseudo Birinci Derece Denklem (Lagergen Denklemi)

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_s - q_t) \quad (1.6)$$

Burada  $q_e$  (mg/g) dengedeki birim adsorplayıcı başına adsorplanan metal iyonu miktarı,  $q_t$ , t zamandaki birim adsorplayıcı başına adsorplanan madde miktarını,  $k_1$ , (dk)<sup>-1</sup> birinci dereceden adsorpsiyon hız sabitidir.  $t=0$  iken  $q_t=0$  ve  $t=t$  de  $q_t=q_t$  aralığında iken 1.6 denkleminin integrali alınır;

$$\ln(q_s - q_t) = \ln q_s - k_1 t \quad (1.7)$$

denklemleri elde edilir.  $t$ 'ye karşı  $\ln(q_e - q_t)$  nın doğrusal grafiğinin eğim ve kesim noktalarından  $k_1$  ve  $q_e$  değerleri bulunabilir (Baran ve Düz 2019).

5. Pseudo (yalancı) İkinci Derece Denklem (Ho-Mc Kay)

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (1.7)$$

Burada  $k_2$ , (g/mg\*dk) ikinci dereceden hız sabiti,  $q_e$  (mg/g) maksimum adsorpsiyon kapasitesi,  $q_t$  (mg/g)  $t$  zamanındaki adsorpsiyon miktarıdır.

$t = 0$  iken  $q_t = 0$  ve  $t = t$  de  $q_t = q_t$  aralığında iken 1.7 denkleminin integrali alınır;

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e} + \frac{t}{q_e} \quad (1.8)$$

Denklemleri oluşur. Yalancı ikinci derece kinetik model sabitleri olan  $k_2$  ve  $q_e$ ,  $t$ 'ye karşı  $t/q_t$  grafiğe geçirildiğinde elde edilen doğru denkleminin eğim ve kaymasından elde edilir (Baran ve Düz 2019).

3. Elovich Eşitliği

$$q_t = \frac{1}{\beta} (\ln \alpha \beta) + \frac{1}{\beta} \ln t \quad (1.9)$$

Burada  $\alpha$  (mg/g\*dk) başlangıç sorpsiyon hızı,  $\beta$  (g/mg) kemorsorpsiyon için yüzeyi kaplama ve aktivasyon enerjisinin bir ölçüsüdür.  $\ln t$ 'ye karşı  $q_t$  grafiğe geçirildiğinde elde edilen eğimden  $\frac{1}{\beta}$  ve kaymasından ise  $\frac{1}{\beta} (\ln \alpha \beta)$  bulunabilir.

6. Weber-Morris Modeli (Orbak, 2009)

$$q_t = k_i \sqrt{t + C} \quad (1.9)$$

İntrapartikül difüzyon modeli 1.9 denklemi ile ifade edilmiştir. Bu ifadede  $q_t$  (mg/g),  $t$  zamandaki gram başına adsorplanan madde miktarıdır.  $k_i$  (mg/g\*dk)<sup>1/2</sup> hız sabitidir.

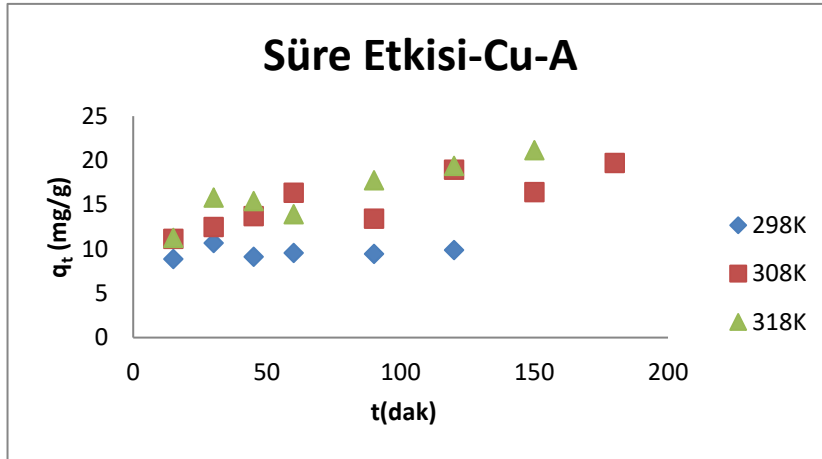
$\sqrt{t}$ 'ye karşı,  $q_t$  grafiğe geçirildiğinde çok basamaklı grafik eğrileri elde edilebilir. Adsorpsiyon işlemi üç ana aşamada gerçekleşebilir. Bunlar,

- IV- Film difüzyonu
- V- İntrapartikül veya gözenek difüzyonu
- VI- İç bölgenin yüzeyindeki adsorpsiyon dur.

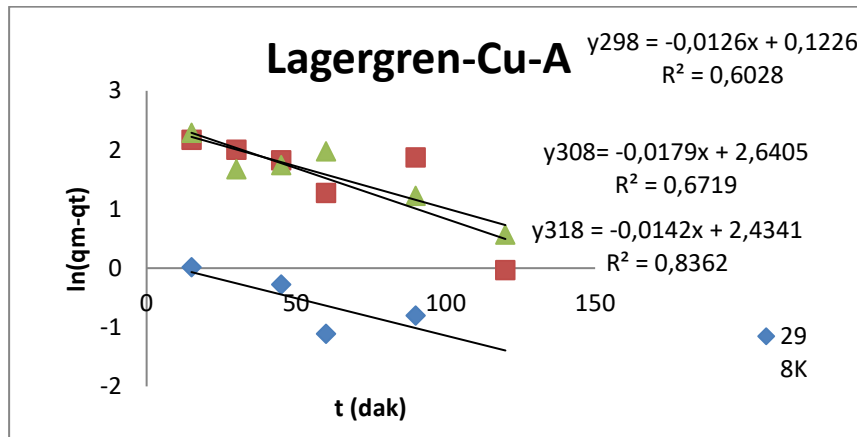
Cu II'nin aktive edilen kil üzerindeki sürenin etkisi incelendiğinde ilk 30 dakika adsorpsiyon olayının hızlı gerçekleştiği ve 120-150 dakika arasında dengeye geldiği görülmektedir. Bunun nedeni başlangıçta adsorbant'ın yüzeyinde aktif yerlerin boş olduğu, böylece Cu(II) iyonlarının boş olan aktif merkezlerle reaksiyon verdiği, zaman ilerledikçe aktif merkezlerin sayısı azaldığı için reaksiyonun hızı da azalmaktadır.

Adsorpsiyon kinetiği ile ilgili adsorpsiyon verileri Lagergren, Ho Mc Kay, Weber-Morris ve Elovich denklemlerine uygulanmış olup sonuçlar çizelge 3' te ve 5,6,7,8,9 no'lu şekillerde verilmiştir.

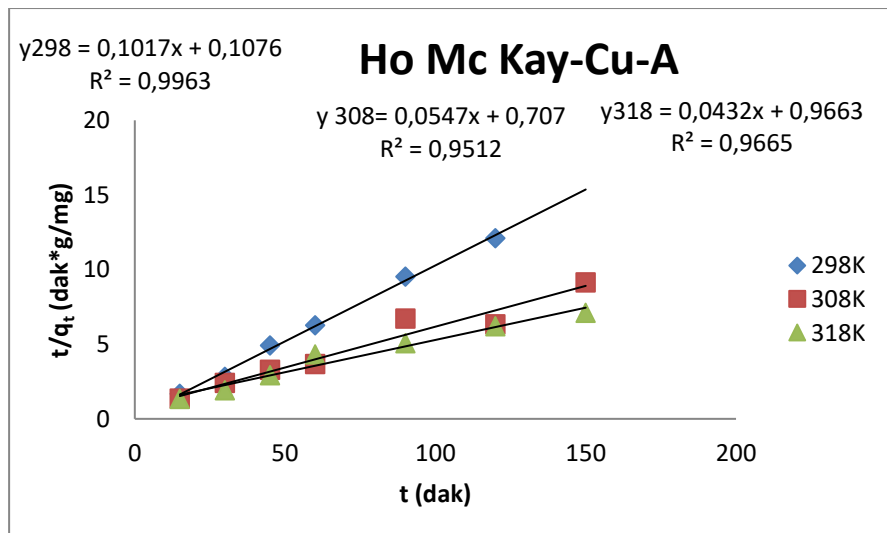




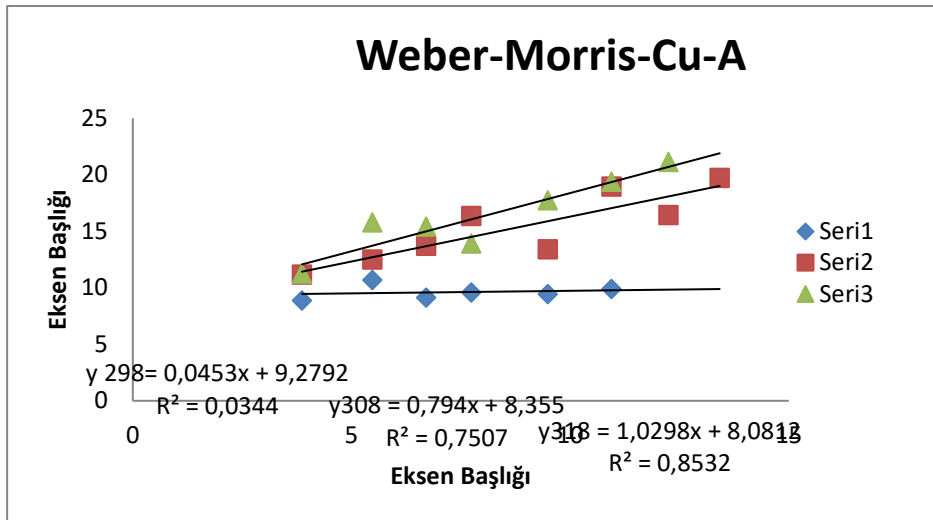
Şekil 5. Farklı sıcaklıklardaki kinetik grafikler



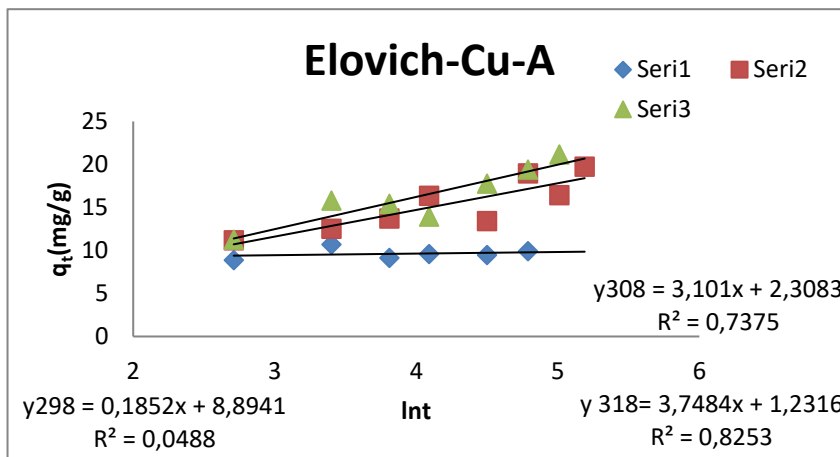
Şekil 6. Farklı sıcaklıklardaki Lagergren grafikleri



Şekil 7. Farklı sıcaklıklardaki Ho Mc Kay grafikleri



Şekil 8. Farklı sıcaklıklardaki Weber-Morris grafikleri

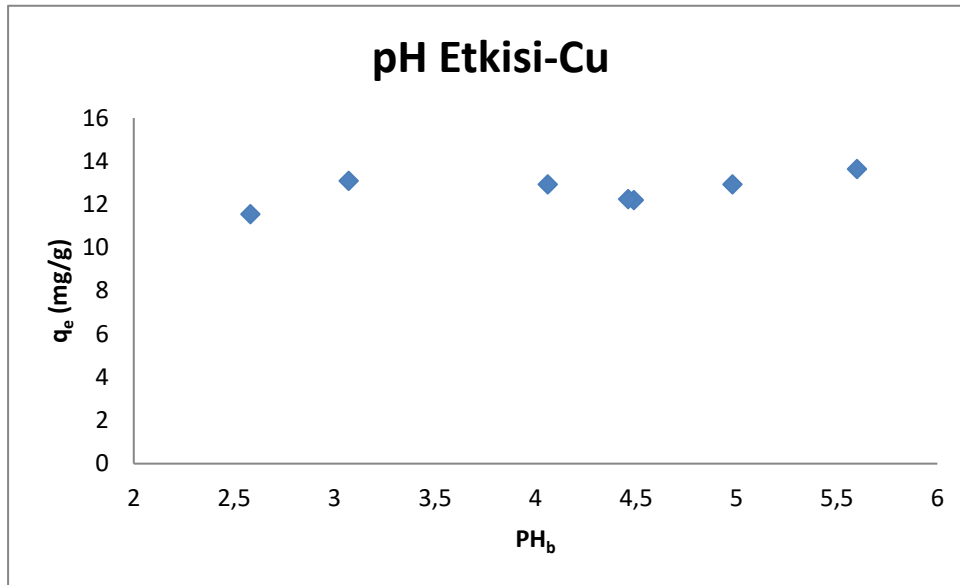


Çizelge 3. Cu(II)'nin aktive edilmiş kil üzerindeki adsorpsiyonuna ait, Lagergren, Ho Mc Kay, Weber-Morris ve Elovich modellerine ait parametreler.

	Pseudo - First Order (Lagergren) Denklemi $\ln(q_e - q_t) = -k_1 t$				Pseudo - Second Order (Ho McKay) Denklemi $t/q_e = t/q_e + 1/k_2 q_e^2$			
Sıcaklık (°K)	Doğru Denklemi	R <sup>2</sup>	k <sub>1</sub> (dak <sup>-1</sup> )	lnq <sub>e</sub> (mg/g)	Doğru Denklemi	R <sup>2</sup>	k <sub>2</sub> (g/mg*dak)	q <sub>e</sub> (mg/g)
298	Y=-0,0126x+0,1226	0,6028	0,0126	0,1226	Y=0,1017x+0,1076	0,9963	0,0962	9,83
308	Y=-0,0179x+2,6405	0,6719	0,0179	2,6405	Y=0,0547x+0,9663	0,9512	0,0042	18,28
318	Y=-0,0142x+2,4341	0,8362	0,0142	2,4341	Y=0,0432x+0,9663	0,9665	0,0019	23,15
	Weber- Morris (İntrapartikül Difüzyon Modeli) $q_t = C_b + K_{wm} \sqrt{t}$				Elovich Modeli $q_t = 1/\beta \ln(\alpha\beta) + 1/\beta \ln t$			
Sıcaklık (°K)	Doğru Denklemi	R <sup>2</sup>	K <sub>WM</sub>	C <sub>b</sub>	Doğru Denklemi	R <sup>2</sup>	β	α (mg/dk*g)
298	Y=0,0453x+9,2792	0,0344	0,0453	9,2792	Y=0,1852x+8,8941	0,0488	5,40	1,33.10 <sup>20</sup>
308	Y=0,794x+8,355	0,7507	0,7940	8,3550	Y=3,101x+2,3083	0,7375	0,32	6,53
318	Y=1,0298x+8,0812	0,8532	1,0298	8,0812	Y=3,7484x+1,2316	0,8253	0,26	5,23

Kinetik hız denklemleri incelendiğinde, aktive edilen kilin yalancı Pseudo Second Order (Ho MacKAY-ikinci dereceden) kinetik modeline daha çok uyduğu genelde R<sup>2</sup>'nin 0,95 üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

## 2.5 pH Etkisi



Şekil 10. pH Etkisinin incelenmesi.

pH adsorpsiyonda önemli rol oynayan parametrelerden biridir. Düşük pH'larda yüzey pozitif olduğundan, metal iyonları ile yarışmaya girer ve metal iyonlarının yüzeyde adsorplanmasını engeller. Yüksek pH' larda ise yüzey negatif olur ve metal iyonları elektrostatik çekim kuvveti etkisi ile daha kolay yüzeyde adsorplanırlar. Cu(II) nin aktif kil üzerine adsorpsiyona pH'ın etkisi şekil 10 da ki gibidir.

## 2.6 Termodinamik Hesaplamalar

Gibbs serbest enerji değişimi ( $\Delta G$ ) ile entalpi değişimi ( $\Delta H$ ) ve entropi değişimi ( $\Delta S$ ), (1.10) ile (1.11) bağıntıları kullanılarak bulunmuştur.

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \quad (1.10)$$

$$\ln K_c = -\frac{\Delta H}{R} \cdot \frac{1}{T} + \frac{\Delta S}{R} \quad (1.11)$$

Bu eşitliklerde R ideal gaz sabiti (kJ/mol\*K), T mutlak sıcaklık (Kelvin), entropi değişimi  $\Delta S$  ile entalpi değişimi  $\Delta H$  ise 1/T ye karşılık gelen  $\ln K_c$  grafiğinden 1.11'e göre bulunmuştur. Elde edilen verilen çizelge 4'te verilmiştir (Baran ve ark. 2018).

Çizelge 4. Termodinamik Parametreler

Sıcaklık(Kelvin)	$\Delta G$ (kJ/mol)	$\Delta H$ (kJ/mol)	$\Delta S$ (kJ/mol)
298	-5,75	107,07	0,3786
308	-9,54		
318	-13,32		

## SONUÇ VE TARTIŞMA

Yapılan deneysel çalışmada, Cu(II) iyonlarının asit ile modifiye edilmiş kilin adsorpsiyonu üzerindeki sıcaklık, süre, karıştırma hızı, pH gibi parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Cu(II) metal iyonlarının

adsorpsiyonu için gereken optimum şartlar belirlenmeye çalışılmıştır. Adsorpsiyon çalışmalarında genel olarak sistemin Langmuir izotermine uyduğu  $R^2$  değerlerinden anlaşılmıştır. D-R izoterminden elde edilen E değerlerine bakıldığında adsorpsiyonun kimyasal olduğu anlaşılmaktadır. Kinetik çalışma verileri hızın Pseudo second order (Ho Mc Kay)'a uyduğu  $R^2$  değerlerinden anlaşılmaktadır. Termodinamik hesaplamalar sonucuna göre, bakır iyonlarının aktive edilmiş kil adsorpsiyonunda  $\Delta H_{ortalama}$  ve  $\Delta S_{ortalama}$  değerleri pozitif olup; reaksiyon endotermiktir.  $\Delta G$  değerlerinin negatif çıkması sürecin kendiliğinden gerçekleşebileceğini ifade etmektedir. Bakır iyonlarının sudan uzaklaştırılmasının yüksek sıcaklık değerlerinde daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Adsorpsiyon için pH değeri 6,0 'nin üzerinde olan pH'ların uygun olduğu bulunmuştur. Derişim arttıkça adsorplanan madde miktarının da arttığı tespit edilmiştir.

*Bu çalışma, ilk yazarın doktora tezinin bir bölümünden alınmış olup, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi BAP 5252 nolu projesi ile desteklenmiştir.*

#### KAYNAKLAR

- Akıncı, Ö. 1968. Seramik Killeri ve jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*. (71)
- Akkaya, G.2012. *Sulu Çözeltiden Bazı Boyarmadde ve Ağır Metallerin Adsorpsiyonu İçin Çeşitli Bitkisel Atıklardan Yeni Tür Biyosorplayıcılar Hazırlanması ve Karakterize Edilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Aksoy, Ö. 2012. *Sulu Çözeltiden Bazı Boyarmaddelerin ve Bakır Metalinin Uzaklaştırılmasında Yeni Bir Adsorplayıcı Olarak Nar Posasının Değerlendirilmesi* Dicle üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır
- Akyıldız, H. 2007. *H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Aktivasyonu İle Zeytin Çekirdeğinden Aktif Karbon Üretimi*, (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alkan, E. 2008. *Bardakçı Kili Kullanılarak Sulu Çözeltiden Ağır Metal Uzaklaştırılması ve Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Ardalı, Y. 1990. *Atıksulardan Ağır Metallerin Adsorpsiyonla Uzaklaştırılması (Doktora Tezi, Yayınlanmamış)*. 19 Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun
- Atilla Yıldız, Ö. G. 1997. *Infrared Spektroskopisi*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları A-64.
- Baran, M. F., Duz, M. Z., Uzan, S., Dolak, İ., Celik, K. S., Kilinc, E. (2018): Removal of Hg(II) from aqueous solution by bacillus subtilis ATCC (B1). – Journal of Bioprocessing and Biotechniques 8(4): 1–7.
- Baran, M. F., Duz,. (2019) Removal of cadmium (II) in the aqueous solutions by biosorption of *Bacillus licheniformis* isolated from soil in the area of Tigris River, International Journal of Environmental Analytical Chemistry, DOI:10.1080/03067319.2019.1669583.
- Baran, M. F., Duz,. Biosorption of Pb<sup>2+</sup> from aqueous solutions by *Bacillus licheniformis* isolated from Tigris river with a comparative study, *International Journal of Latest Engineering and Management Research (IJLEMR)*, 4(5): 108–121.
- Berkem, A. R., Baykut, S., 1984. *Fizikokimya*. İstanbul Üniversitesi Yayınlan Sayı: 3217, Mühendislik Fakültesi No: 62, Fatih Yayınevi Matbaası, İstanbul
- Büyüksırt, T. ve Kuleşan, H. 2014. Fourier dönüşümlü kızılötesi (Ftir) spektroskopisi ve gıda analizlerinde kullanımı. *Gıda*, 39(4): 35-241.
- Coğrafya Harita 2018 [http://cografyaharita.com/turkiye\\_toprak\\_haritalari1.html](http://cografyaharita.com/turkiye_toprak_haritalari1.html) Erişim Tarihi: 10.09.2018.
- Çağırnkaya, L. B., Avcu, N., Hatipoğlu, M. G. ve Dağlı, F. 2006. Wilson hastalığı Vaka raporu. *Hacettepe Diş hekimliği Fakültesi Dergisi*, 30(3): 50-53.
- Çakıroğlu, E. 2011. *Titanyum Dioksit Esaslı (tio2) Fotokatalizör Kullanılarak Toksik Madde İçerikli Atık Suların Detoksifikasyonu*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Çalışkan, F. 2018. *Seramik Hammaddeleri*. [http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/70511/47190/seramik\\_Doğal\\_maddeleri.pdf](http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/70511/47190/seramik_Doğal_maddeleri.pdf). Erişim Tarihi: 25.10.2018
- Çay, S. 2014. *Ağır Metal İyonlarıyla Kirletilmiş Toprakların Karadeniz Bölgesinde Yetişen Bazı Süs Bitkileri Kullanılarak Temizlenebilirliğinin Araştırılması*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Samsun
- Çelik, B. 2010. *Şırnak Külünün Cd (II) ve Zn (II) Adsorpsiyonununun Araştırılması*. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Diyarbakır
- Dinçyürek, Ö. 2006. *Termik Santral Uçucu Kül Tiplerinin Atıksulardaki*

- Fenolün Adsorpsiyon Yöntemi ile Giderim Etkinliklerinin Karşılaştırılması.** Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana
- Doğan, M. Alkan, M. *Adsorption of Copper (II) Onto Perlite.* Journal of Colloid and Interface Science. 243, 280-291 (2001). 63
- Duman, O. 2012. *Doğal Nano Killer ile Atıksulardan Zn+2 ve Pb+2 Ağır Metallerinin Giderilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dündar, M. Ş., Altundağ, H., Kaygaldurak, S., Şar, V., Acar, A. 2012. Çeşitli endüstriyel atık sularda ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. *Sakarya University Journal of Science*, 16(1): 6-12.
- Erdoğan, Y. A. 2005. *Atıksulardan Çeşitli Adsorbanlarla Arsenik Giderimi.* (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Eren, Z. ve Acar, F. N. 2004. Uçucu kül adsorpsiyonu ile reaktif boya giderimi *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2): 253-258.
- Eskier, U. 2017. En eski metallerden kurşun. <https://www.makaleler.com/kursun-nedir/> Erişim Tarihi: 25.09.208
- Ethem, M. Y. 2010. Bakırın Özellikleri, Alaşımları ve Mineralleri. <http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/c0991344c3d760a> Erişim tarihi: 15.08.2018
- Filiz, E. 2007. *Doğal Kaynaklardan Elde Edilen Adsorbanlarla Sulardan Ağır Metal Giderimi.* (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Giryan, Ç., İ. (2017). Bilim ve Teknoloji "taramalı elektron mikroskobu (sem) nedir?". <https://www.tech-worm.com/taramali-elektron-mikroskobu>.
- Güneren, E. 2010. *Sulu Çözeltideki Kurşun ve Bakır İyonlarının Bentonit ile Adsorpsiyonu.* (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ho, Y.S., G. McKay 1999. Pseudo-Second Order Model For Sorption Processes *Process Biochemistry* 34: (1999) 451-465
- İşçi, Y. 2015. *Farklı Kil Minerallerinin Nanokompozitlere Etkisi ve Vermiküler/ Polimer Nanokompozitlerinin Özellikleri.* (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Jülide YENER, Z. A. 1999. Atıksulardaki Fenol ve Klorofenollerin Aktif Karbon ve Kurutulmuş Aktif Çamura Adsorpsiyonu. *Tr. J. of Engineering and Environmental Science* 23: 93-104.
- Karaağaç, Ö. (1981). [www.jmo.org.tr/resimler/ekler/9f793b37dccbff7](http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/9f793b37dccbff7). Jeoloji Müh. Odası Dergisi.
- Karada, A. 2008. Endüstriyel Atık Sulardan Bazı Metal İyonlarının Biyoadsorbent Kullanılarak Giderimi (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Karataş, D. (2011). *Sepiyolit Kiline Kuvaterner Amin Surfaktanlarının Adsorpsiyonunun Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi.* İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kayacan, S. 2007. *Kömür Ve Koklarla Sulu Çözeltilerden Boyar Maddelerin Uzaklaştırılması .* (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Koçer, O. 2013. *Zeytin Posası (Pirina) Üzerine Malaşit Yeşili'nin Sulu Çözeltiden Adsorpsiyonu* (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis
- Koyuncu, F. 2016. *Mandalina Kabuklarından Nano- Gözenekli Aktif Karbon Üretimi Ve Sulu Fazdan Bazı Toksik Boyar Madde Ve Karışımları İçin Adsorplama Yeteneğinin İncelenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Koroğlu, Ç. 2007. *Ağaçlı Ve Bolluca (İstanbul) Yöresi Seramik Killerinin Malzeme Özelliklerinin Araştırılması.* (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kul A.R., Selçuk A., Ardalı Y., Ocak S., Alacabey İ., Erge H. 2014 "Citrus Aurantium Kabuklarının Ağır Metal Gideriminde Adsorbent Olarak Kullanılması. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi UKAY 2014 , Van, Türkiye, 1-4 Eylül 2014, 63-63
- Kutoğlu, A., Zhang, L., Ahsbahs, H. *Hydrostatic compression and crystal structure of pyrope to 33 GPa.*, 25: 301-307
- Malayoğlu, U., A. Akar 1995. Killerin Sınıflandırmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranılan Kriterlerin İrdelenmesi. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu.* İzmir / Türkiye 21-22 Nisan 1995
- Masel, R.L. 1996 *Principles Of Adsorption And Reaction On Solid Surfaces, Wiley Series In Chemical Engineering, John Wiley & Sons Inc.* 108-110: 235-252, Isbn 0- 471-51185-4.

- Orbak, İ. 2009. *Aktif Karbon İle Çevre Kirleticisi Bazı Unsurların Giderilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Önal, G. 2013. *Doğal Kil Ve Ticari Kil İle Sulu Çözümlerden Boyar Madde Uzaklaştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Özcan, A. S. 2010. Doğal Bentonitin Karakterizasyonu ve Kurşun(II) İyonlarını Adsorpsiyon Yeteneği. *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*. 12(2): 85-97.
- Özguven, F. E. 2011. *Bir Bentonitik Kil İçindeki Simektit Mineralinin Nicel Olarak Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Paul Djomgoue, D. N. 2013. FT-IR Spectroscopy Applied for Surface Clays Characterization. *Journal of Surfafe Enginered Materials and Advaced Technology*, 275-282.
- Raffaella, D'auria, 2017. Specific Anion Effects on Na<sup>+</sup> Adsorption at the Aqueous Solution–Air Interface: MD Simulations, SESSA Calculations, and Photoelectron Spectroscopy Experiments. *The Journal of Physical Chemistry B* 122(2) ·DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b06981
- Ralp, E. G. ve Rowland, R. A. 1942. *Differential Thermal Analysis Of Clay Minerals and Other Hydrous Materials*. State of Illinois, Department of Registration and Education, Illinois, USA.
- Sarı, T. 2009. *Edirne Ve Çevresinde Otoban Kenarlarındaki Topraklarda Bazı Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Sayılğan, Ş., Ç. 2013. *Determination of Characteristics of Adsorbent for Adsorption Heat Pumps*. Master's Thesis. The Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology. İzmir
- Sazcı, H. 2001. Seramikte Kullanılan Killerin Tanımı. *4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu* 118-19 Ekim 2001, İzmir, Türkiye
- Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araş. Uygulama Mrkz. Müd. 2009. <https://www.webmaster.selcuk.edu.tr>. Erişim Tarihi: 10.10.2018.
- Tektaş, O. 2011. *Çitosan/Kil Kompozitlerinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Cu(II) Adsorpsiyonunda Kullanımı*. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır
- Uçar, B. 2009. *Tekstil Atık Sularındaki Reaktif Boyaların Farklı Katı Atıklar Kullanılarak Adsorpsiyonla Giderimi*. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Uddin, M. K. 2017. A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade. *Chemical Engineering Journal*, 308: 438-462.
- Uğur, F. A., 2005 *Kil Minerallerinin Radyoaktif Maddeleri Tutma Özelliklerinin, Kilin Yapısına ve İşlem Koşullarına Bağlılığının İncelenmesi* Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi.
- Uyanık, İ. 2011. *Sıvı, Sıvı Ara Yüzeyde Adsorpsiyon ve Kompleks Oluşumu* (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Uygun, Ö. A. (2016). *Ağır Metal Tayini İçin Biyosorpsiyon Temelli Mikrobiyal Sensör Geliştirilmesi*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Yamanoğlu, R. 2015. *Powder Metallurgy. (Toz Metalurjisi)*/Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ders Notları
- Yener, J. ;Z. A. 1999. Atıksulardaki Fenol ve Klorofenollerin Aktif Karbon ve Kurutulmuş Aktif Çamura Adsorpsiyonu. *Tr. J. of Engineering and Environmental Science* 23, 93-104.
- Yetiş, C., Demirkol, C., 1984 Kil Minerallerinin Diyajenetik ve Ortamsal Nitelikleri *Dergi Park Jeoloji Mühendisliği Dergisi* Cilt 8, Sayı 3 Sayfalar 39 - 44
- Yıldız, C. 2013. *Maxilon Yellow 4GL Boyar Maddesinin Bazı Oksit Mineralleri Yüzeyine Adsorpsiyonuna Ait Deneysel Dizaynı ve Optimizasyonu*. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir, 98
- Yiğitarlan, S. 2015 *Adsorpsiyon*. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı(II) Ders Notu

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Yüzüncü Yıl Üniversitesi BAP 5252 no'lu proje tarafından desteklenmiştir. Tüm laboratuvar çalışmalarında büyük katkılarından dolayı Prof. Dr. Ömer YAVUZ'a teşekkür ederiz.