

65596

**T.C.**  
**DİCLE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKTİF KARBONLA SULU ÇÖZELTİDEN BAZI AĞIR METALLERİN  
ADSORPSİYON KİNETİĞİ İLE İZOTERMLERİNİN İNCELENMESİ VE  
DİĞER BAZI ADSORPLAYICILARLA YÜZDE ADSORPSİYON  
SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

**İlhan UZUN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DİYARBAKIR-1997**

**T.C.**  
**DİCLE ÜNİVERSİTESİ**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**DİYARBAKIR**

Bu çalışma jürimiz tarafından Fizikokimya Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin Ünvanı, Adı Soyadı

İmza

Başkan : Doç. Dr. M. Kadir YURDAKOÇ.....



Üye : Doç. Dr. Fuat GÜZEL.....



Üye : Yrd. Doç. Dr. A. Haluk HYDİN.....



Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.


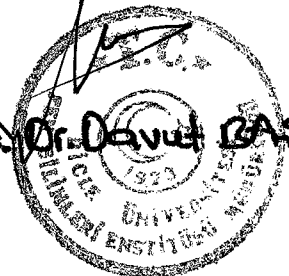
**23/9/1997**

İmza

Ünvanı, Adı Soyadı

Enstitü Müdürü v.

(Mühür)

  
**Prof. Dr. Davut BAŞARAN**  


## TEŐEKKÜR

Bu alıŐma, Dicle Ünisersitesi Fen-Edebiyat Fakóltesi Kimya Bölümü Fizikokimya Anabilim Dalı Öğretim Üyelerinden saygıdeğer hocam **Doç. Dr. Fuat GÜZEL**'in danıŐmanlıđında yürütölmüŐtür. Bu imkanı sağladıklarından ve her türlü yakın ilgilerinden dolayı kendilerine teŐekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca her zaman yakın ilgisini gördüğüm Dicle Ünisersitesi Fen-Edebiyat Fakóltesi Kimya Bölümü Fizikokimya Anabilim Dalı Başkanı **Prof. Dr. Zeki TEZ**'e ve deneysel çalıŐmalarım sırasında çok değerli yardımlarını gördüğüm Dicle Ünisersitesi Fen-Edebiyat Fakóltesi Kimya Bölümü Analitik Kimya Anabilim Dalı **Arş. Gör. Zahir DÜZ**'e ve **Arş. Gör. Fırat AYDIN**'a da teŐekkürlerimi sunarım.

**Arş. Gör. İlhan UZUN**

## İÇİNDEKİLER

<b>AMAÇ.....</b>	<b>IV</b>
<b>ÖZET .....</b>	<b>V</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>VI</b>
<b>BÖLÜM 1. ADSORPLAYICILAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER .....</b>	<b>1</b>
1.1. Giriş .....	1
1.2. Adsorpsiyon Hızı .....	3
1.3. Adsorpsiyon Dengesi .....	3
1.4. Adsorpsiyon İzotermi ve Denklemleri .....	4
1.5. Çözeltilerden Adsorpsiyon .....	10
<b>BÖLÜM 2. KULLANILAN ADSORPLAYICILAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....</b>	<b>13</b>
2.1. Aktif Karbon Hakkında Genel Bilgiler .....	13
2.2. Chitosan Hakkında Genel Bilgiler .....	19
2.3. Agar Hakkında Genel Bilgiler .....	19
<b>BÖLÜM 3. AĞIR METALLER VE İZ ELEMENTLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER .....</b>	<b>20</b>
<b>BÖLÜM 4. DENEYSEL KISIM .....</b>	<b>35</b>
4.1. Çalışmada Kullanılan Maddeler .....	35
4.2. Aktif Karbon ile Sulu Çözeltiden Bazı Ağır Maddelerin Adsorpsiyonuna İlişkin Deneysel Sonuçlar .....	35
4.2.1. Mn SO <sub>4</sub> . H <sub>2</sub> O Adsorpsiyonuna İlişkin Sonuçlar .....	35
4.2.2. Fe SO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O Adsorpsiyonuna İlişkin Sonuçlar .....	37
4.2.3. Ni SO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O Adsorpsiyonuna İlişkin Sonuçlar .....	38
4.2.4. Cu SO <sub>4</sub> . 5H <sub>2</sub> O Adsorpsiyonuna İlişkin Sonuçlar.....	39
4.3. Aktif Karbon, Chitosan ve Agar ile Sulu Çözeltiden Bazı Ağır Metallerle İlişkin Yüzde Uzaklaştırma Deney Sonuçları .....	40

4.3.1. $MnSO_4 \cdot H_2O$ Yüzde Uzaklaştırılmasına İlişkin Sonuçlar .....	40
4.3.2. $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ Yüzde Uzaklaştırılmasına İlişkin Sonuçlar.....	41
4.3.3. $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ Yüzde Uzaklaştırılmasına İlişkin Sonuçlar.....	41
4.3.4. $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ Yüzde Uzaklaştırılmasına İlişkin Sonuçlar .....	42
<b>BÖLÜM 5. SONUÇ VE TARTIŞMA .....</b>	<b>43</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ .....</b>	<b>46</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ .....</b>	<b>47</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>82</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>84</b>



## AMAÇ

Gelişen teknoloji ile birlikte canlı varlıkların ve onların yaşama ortamı olan çevreyi içeren ekosistemin sorunları da artmaktadır. Ekosistem sorunlarını oluşturan etkenler arasında ağır metal kirliliğinin merkezi bir yeri vardır. Bu yüzden, son zamanlarda ağır metal kirliliğini gidermek için araştırmalar büyük bir hızla artmaktadır.

Bu çalışmada da ekosistem sorunlarını artıran bazı toksik ağır metallerin sulu çözeltilerden adsorpsiyon yoluyla ve farklı adsorplayıcılar kullanılarak optimum uzaklaştırma koşulunun tayini, adsorpsiyon izotermelerinin uygunluğunun ve ilgili sabitlerin tayini amaçlanmıştır. Bunun için, aktif karbon, chitosan ve agar gibi maddeler adsorplayıcı olarak kullanıldı.



## ÖZET

Bu çalışmada, sulu çözeltilerden bazı ağır metallerin ( $MnSO_4 \cdot H_2O$ ,  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $NiSO_4 \cdot 7H_2O$  ve  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) çeşitli adsorplayıcılarla uzaklaştırılması incelendi. M-2514, chitosan ve agar adsorplayıcılar olarak kullanıldı. M-2514 ile ağır metallerin denge temas süreleri sırasıyla 4 gün, 2 gün, 2 gün ve 1.5 gün ve adsorpsiyon hız sabitleri sırasıyla  $0.0017 s^{-1}$ ,  $0.0209 s^{-1}$ ,  $0.0308 s^{-1}$  ve  $0.0395 s^{-1}$  olarak bulundu. Bu ağır metallerin adsorpsiyon izotermelerinin Freundlich adsorpsiyon izotermine uydukları görüldü. Freundlich denkleminin k sabitleri sırasıyla 0.0574, 0.9052, 0.5256 ve 2.3940 ve n sabitleri sırasıyla 1.3393, 1.3934, 2.2573 ve 2.5786 olarak bulundu. Ayrıca, M-2514, chitosan ve agar ağır metallerin yüzde uzaklaştırılma verimlerine göre karşılaştırıldı. 24 saat ve 200 ppm sırasıyla her bir ağır metal iyonunun temas süresi ve başlangıç konsantrasyonu olarak seçildi. Bu karşılaştırmada aşağıdaki sıra elde edildi; mangan için agar > aktif karbon  $\geq$  chitosan, demir için chitosan > aktif karbon > agar, nikel için chitosan > aktif karbon > agar ve bakır için chitosan > aktif karbon > agar.

## SUMMARY

In this study, removal of some heavy metals ( $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) from aqueous solution by different adsorbents was investigated. M-2514, chitosan and agar were used as adsorbents. Equilibrium contact times and adsorption rate constants of the heavy metals by M-2514 were determined as 4 days, 2 days, 2 days and 1.5 days and as  $0.0017 \text{ h}^{-1}$ ,  $0.0209 \text{ h}^{-1}$ ,  $0.0308 \text{ h}^{-1}$  and  $0.0395 \text{ h}^{-1}$  respectively. It was seen that adsorption isotherms of this heavy metals were fitted to Freundlich adsorption isotherm.  $k$  and  $n$  constants of the Freundlich equation were found as 0.0574, 0.9052, 0.5256, and 2.3940 and as 1.3393, 1.3934, 2.2573 and 2.5786, respectively. Besides, M-2514, chitosan and agar were compared according to the percent of removal outputs of the heavy metals. 24 hours and 200 ppm were chosen as a contact time and an initial concentration of each heavy metal ion, respectively. In this comparison, the following order was obtained; agar > activated carbon  $\geq$  chitosan for manganese, chitosan > activated carbon > agar for iron, chitosan > activated carbon > agar for nickel and chitosan > activated carbon > agar for copper.



## BÖLÜM 1: ADSORPSİYON HAKKINDA GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Atom, iyon ya da moleküllerin bir katı yüzeyinde tutunmasına **adsorpsiyon**, tutunan taneciklerin yüzeyden ayrılmasına **desorpsiyon**, katıya **adsorplayıcı**, katı yüzeyinde tutunan maddeye ise **adsorplanan** adı verilir [1].

Çeşitli maddelerin bir faz yüzeyinde değil de özümlelenerek o fazın yapısı içine girmesine ise **absorpsiyon** denir. Her iki olay yani adsorpsiyon ve absorpsiyon birlikte oluyor ve ayırt edilemiyorsa bu olaya da **sorpsiyon** denir [2].

Sabit sıcaklık ve sabit basınçta kendiliğinden olduğundan dolayı adsorpsiyon sırasındaki serbest entalpi değişimi yani **adsorpsiyon serbest entalpisi** ( $\Delta G$ ) daima eksi işaretlidir. Diğer taraftan, gaz ya da sıvı ortamında daha düzensiz olan tanecikler katı yüzeyinde tutunarak daha düzenli hale geldiğinden dolayı adsorpsiyon sırasındaki entropi değişimi yani **adsorpsiyon entropisi** ( $\Delta S$ ) de daima eksi işaretlidir. Adsorpsiyon serbest entalpisi ve adsorpsiyon entropisinin daima eksi işaretli olması

$$\Delta H = \Delta G + T\Delta S \quad \dots (1.1)$$

eşitliği uyarınca adsorpsiyon sırasındaki entalpi değişiminin yani **adsorpsiyon entalpisi** ( $\Delta H$ )'nin daima eksi işaretli olmasını gerektirmektedir. **Adsorpsiyon ısı** da denilen adsorpsiyon entalpisinin eksi işaretli olması adsorpsiyon olayının daima ısı veren yani ekzotermik olduğunu göstermektedir. Adsorpsiyon ısı katı yüzeyindeki doymamış kuvvetlerle adsorplanan tanecikler arasındaki etkileşmelerin bir göstergesidir. Bağ kuvveti arttıkça adsorplananın bir molü başına açığa çıkan ısı artar [3,4 ].

Gaz katının yüzeyine bağlı kaldığında, gaz ile katı arasında yoğunlaşmaya benzer zayıf bir etkileşme var ise **FİZİKSEL ADSORPSİYON** (:fizisorpsiyon ya da van der Waals adsorpsiyonu), kimyasal tepkimeye benzer kuvvetli bir etkileşme var ise bu tip adsorpsiyona da **KİMYASAL ADSORPSİYON** (:kemisorpsiyon) denir.

Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun çeşitli kriterlere göre birbirleriyle karşılaştırılması Çizelge 1.1 de verilmiştir [3-5].

**Çizelge 1.1** Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasında temel karşılaştırma kriterleri.

Karşılaştırma kriteri	Fizisorpsiyon	Kemisorpsiyon
Adsorplayıcı-adsorplanan ilişkisine bağlılık	Adsorplananın kritik sıcaklığı altında herhangi bir adsorplayıcı-adsorplanan ikilisi arasında cereyan eder.	Adsorplayıcı ile adsorplanan arasında özel bir kimyasal ilgiyi gerektirir ve her ikili arasında cereyan etmez.
Sıcaklığa bağlılık	Düşük sıcaklıklarda cereyan eder ve sıcaklık yükseldikçe azalır.	Yüksek sıcaklıklarda cereyan eder ve sıcaklık yükseldikçe artar.
Etkin olan kuvvetler	Van der Waals kuvvetleri etkindir.	Kimyasal bağ kuvvetleri etkindir.
Adsorpsiyon ısısı	Adsorplananın yoğunlaşma ısısı mertebesindedir. (5-10 kcal/mol)	Kimyasal tepkime ısısı mertebesinde olup, yüksektir. (10-100 kcal/mol)
Olayın hızı ve aktiflenme enerjisi	Çok hızlı olup, sifıra yakın bir aktifleme enerjisi eşliğinde yürür.	Kemisorpsiyonun hızını ise aktiflenme enerjisinin büyüklüğü belirler.
Yüzey örtünmesi	Tek tabakalı veya çok tabakalı adsorpsiyon olabilir.	En fazla tek tabaka kaplanması olabilir.
Tersinirlik	Adsorpsiyon dengesi tersinirdir ve fizisorplanmış bir gaz, sıcaklığın yükseltilip basıncın düşürülmesiyle kolayca ve tümüyle desorplanabilir.	Çoğu kez tersinmezdir, desorpsiyonu çok zordur ve desorpsiyon için çok zorlanılırsa beklenmedik başka reaksiyonlara yol açılabilir.

### 1.2. Adsorpsiyon Hızı

Gaz adsorpsiyonunda, gaz molekülleri katı yüzeyine esnek ya da esnek olmayarak çarpırlar. Esnek çarpımda herhangi bir enerji değışimi olmadan molekül geri sıçırar. Esnek olmayan çarpımda ise molekül, çarpıma ile desorpsiyon arasında katı yüzeyinde belirli bir süre temas halinde kalır.

Frenkel, dinamik adsorpsiyon dengesinin yürüyüşü sırasında adsorplanmış molekülün yüzeyde ortalama tutunma süresini ( $\tau$ ) şu denklemlle vermiştir.

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{Q/RT} \quad \dots (1.2)$$

Burada;

$\tau_0$ : Bir gaz molekülünün titreşim süresi olup, Lindemann tarafından çoğu sistemler için  $10^{-13}$  s civarında olduğu bulunmuştur. Bu süre, adsorplayıcı atomlarının titreşim süresi büyüklüğü mertebesindedir.

Q: Mol başına adsorpsiyon enerjisidir.

$\tau > \tau_0$  olduğu zaman molekülün adsorplandığı kabul edilir. Kimyasal adsorpsiyonda Q değerleri, fiziksel adsorpsiyona göre daha büyük olduğundan  $\tau \gg \tau_0$  dır. Bu nedenle kimyasal adsorpsiyon hızlı cereyan eder.

Gözenekli adsorplayıcılar dışındaki adsorplayıcılarda fiziksel adsorpsiyon dengesi çok hızlı kurulur ve tersinirdir. Gözenekli adsorplayıcılarda ise dengenin kurulması bazen uzun zaman alabilir [2].

### 1.3. Adsorpsiyon Dengesi

Verilen bir gaz için, verilen bir adsorplayıcının birim kütlesi başına adsorplanan miktar ( $V_a$ ), denge basıncının (P) ve sıcaklığın (T) bir fonksiyonudur.

$$V_a = f(P, T) \quad \dots (1.3)$$

Adsorpsiyonda bu üç değışikenden biri sabit tutularak çeşitli eğriler elde edilir [2]:

a) Adsorpsiyon izotermi : Sabit sıcaklıkta, adsorplanmış miktarın denge basıncına bağılılığını gösterir.

$$V_a = f(P)_T \quad \dots (1.4)$$

b) Adsorpsiyon izobarı : Sabit basınçta, adsorplanmış miktarın sıcaklığa bağılılığını gösterir.

$$V_a = f(T)_p \quad \dots(1.5)$$

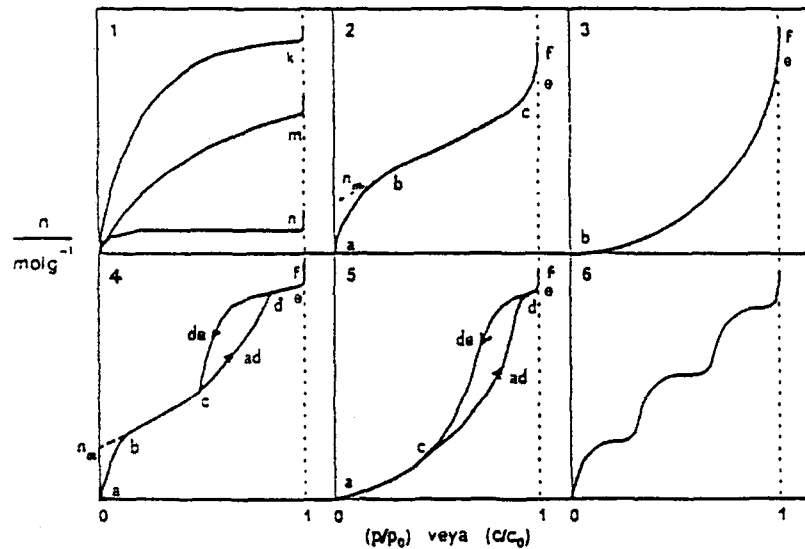
c) **Adsorpsiyon izosteri** : Adsorplanmış bir gazın belirli bir miktarı için, denge basıncının adsorpsiyon sıcaklığına bağlılığını gösterir.

$$P = f(T)_v \quad \dots (1.6)$$

#### 1.4. Adsorpsiyon İzotermi ve Denklemleri

Adsorplayıcı ile dengede bulunan adsorplanan madde miktarını, adsorplanan madde derişimine ya da basıncına bağlayan grafiğe ADSORPSİYON İZORTERMİ denir. İzoterm, sabit sıcaklıkta denge koşullarının bir grafiğidir [3]. Bir adsorpsiyon süreci en iyi şekilde izotermelerden anlaşılabilir, ama izotermelerden adsorpsiyon hızı hakkında bir bilgi edinilemez [4].

Denel yoldan belirlenen adsorpsiyon izotermi Şekil 1.1 de şematik olarak çizilen 6 tip izoterm eğrisinden birine daha çok benzemektedir. Daha çok buhar fazından adsorpsiyon için çizilen bu izotermelerin bazıları çözeltiden adsorpsiyon için de geçerlidir. Şekildeki  $P/P_0$  bağıl denge basıncını,  $C/C_0$  ise bağıl denge derişimini göstermektedir. Buradaki  $P_0$  doygun buharın basıncını  $C_0$  ise doygun çözeltinin derişimini yani çözünürlüğü göstermektedir. Aynı izotermi  $P/P_0$  yerine  $P$  denge basıncı  $C/C_0$  yerine de  $C$  denge derişimi alınarak da çizilebilir.



Şekil 1.1 Adsorpsiyon izotermi tip 1. Şekil, 6 farklı adsorpsiyon izotermi tipini göstermektedir. Her grafikte y ekseninde adsorpsiyon miktarı (n) ve x ekseninde bağıl denge basıncı (P/P<sub>0</sub>) veya bağıl denge derişimi (C/C<sub>0</sub>) yer almaktadır. Grafikler 1-6 numaralı bölümlere ayrılmıştır. Her bölüme farklı tip izotermi çizilmiştir. Grafik 1, 2 ve 3, 4 ve 5, 6. Grafikler, adsorpsiyon sürecinin farklı özelliklerini göstermektedir.

Şekildeki  $P/P_0 = 1$  ya da  $C/C_0 = 1$  değerlerinde adsorplanan madde yığın olarak ayrıldığından izoterm eğrileri dikey olarak yükselmeye başlamaktadır. Bu dikey yükselme

noktasına gelindiğinde adsorpsiyon tamamlanmış demektir. Bu izoterm tiplerini sırayla daha yakından incelemeye çalışacağız.

1. Monomoleküler yani tek tabakalı olan kimyasal adsorpsiyon izotermi k ve n eğrilerine benzemektedir. Diğer taraftan, mikrogözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi k eğrisine makrogözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi ise n eğrisine yakındır. Adsorplama gücü yüksek olan mikrogözeneklerin yüzeyleri monomoleküler olarak kaplandığında gözenekler tümüyle dolduğundan adsorpsiyon tamamlanmış olacaktır. Diğer taraftan, adsorplama gücü düşük olan makrogözeneklerin gözenekleri monomoleküler olarak kaplandığında adsorpsiyon yine tamamlanmış olacaktır. Bu nedenle, mikro- ve makrogözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi aralarındaki yükseklik farkı dışında şeklen birbirine benzemektedir. Çözeltideki adsorpsiyon izotermi k, n ve m eğrilerinden birine yakın olarak ortaya çıkmaktadır.

2. Birinci tabakanın adsorpsiyon ısı yoğunlaşma ısısından daha büyük olan ve kılcal yoğunlaşmanın az olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzemektedir. İzotermin ab parçası boyunca tek tabakalı adsorpsiyon, bc parçası boyunca ise çok tabakalı adsorpsiyon ve kılcal yoğunlaşma tamamlanmaktadır. İzotermin b noktasından sonraki doğrusal kısmının uzantısından  $V_m$  tek tabaka kapasitesi grafikten yaklaşık olarak okunabilir. Doygunluk noktasına gelindiğinden dolayı ef boyunca adsorplanan madde sıvı ya da katı olarak yığın halde ayrılır.

3. Birinci tabakanın adsorpsiyon ısı yoğunlaşma ısısından daha küçük olan ve kılcal yoğunlaşmanın az olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzemektedir. Adsorplama gücü çok küçük olan katılardaki adsorpsiyon izotermi bu tipe uymaktadır. Eğrinin gidişinden  $V_m$  tek tabaka kapasitesini bulmak olası değildir.

4. Birinci tabakanın adsorpsiyon ısı yoğunlaşma ısısından daha büyük olan ve kılcal yoğunlaşmanın çok olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzemektedir. Şekilde görüldüğü gibi adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermlerinin farklı yollar izlemesine **adsorpsiyon histerezi** denir. Bu durum, dar ağızlarından dolan gözeneklerin geniş ağızlarından boşalmasıyla açıklanabilmektedir. İzotermin ab parçası boyunca tek tabakalı adsorpsiyon, bc parçası boyunca çok tabakalı adsorpsiyon, cd parçası boyunca ise kılcal yoğunlaşma olmaktadır. Kılcal yoğunlaşma tamamlandıktan sonra gözeneklerin ağızlarındaki çukur yüzeyler de boyunca dolmakta ve ef boyunca adsorplanan madde

yığın olarak ayrılmaktadır. Genellikle mikro- ve mezogözenek içeren katılardaki adsorpsiyon izotermi bu tipe uymaktadır. Bu izotermden de  $V_m$  tek tabaka kapasitesi yaklaşık olarak bulunmaktadır.

5. Birinci tabakanın adsorpsiyon ısı yoğunlaşma ısısından daha küçük olan ve kılcal yoğunlaşmanın çok olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzemektedir. İzotermin ac parçası boyunca yüzey tek tabakalı ya da çok tabakalı olarak kaplandıktan sonra cd boyunca kılcal yoğunlaşma olmaktadır. Adsorplanma gücü düşük olan mezogözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi bu tipe benzemektedir.

6. Basamaklı olan bu izoterm tipine çok az rastlanmaktadır. Mikrogözenekler yanında farklı boyutlarda mezogözenek grupları içeren katılardaki adsorpsiyon izotermi bu tipe benzemektedir [1].

Denel yoldan belirlenen adsorpsiyon izotermi ve diğer adsorpsiyon verilerini değerlendirebilmek için çok sayıda denklem türetilmiştir. Adsorplanan ve adsorplayıcı maddelerin özelliklerine göre bir adsorpsiyon için bu eşitliklerden biri ya da birkaçı daha uygun olmaktadır. Burada, çok kullanılan adsorpsiyon denklemlerini kısaca incelemeye çalışacağız.

**Freundlich Adsorpsiyon İzotermi** : Freundlich izotermi denilen üstel izoterm, orta basınç veya derişimlerde adsorpsiyonu tamamen amprik olarak vermektedir [2,4]. Bu izoterm,

$$V_a = kP_d^{1/n} \quad \dots(1.7)$$

veya

$$C_a = kC_d^{1/n} \quad \dots(1.8)$$

biçimindedirler. Bunlardan ilki gaz adsorpsiyonuna, ikincisi ise çözülden adsorpsiyona uygulanır. Burada  $V_a$  ve  $C_a$  ile  $P_d$  ve  $C_d$  sırasıyla gaz fazından ve çözültü fazından adsorpsiyona ilişkin adsorplanan miktarları ile denge basıncı ve denge derişimini ifade etmektedir.  $k$  ve  $n$  terimleri sabit olup,  $k$ -terimi adsorplayıcının adsorplama yeteneği ile,  $n$ -terimi ise adsorplananın adsorplanma eğilimi ile orantılı olan büyüklüklerdir.  $k$ 'nın büyük olması adsorpsiyon izotermi daha yüksekten seyretmesi ile,  $n$ 'nin büyük olması ise izotermi düşük denge basıncında keskin köşe yapması ile sonuçlanır.

Freundlich izotermine göre düşük basınçlarda adsorplanmış hacim, basıncın birinci kuvveti ile orantılı olup ( $n=1$ ) Henry Kanunu ile özdeşleşir;

$$V_a = kP \quad \dots(1.9)$$

Yüksek basınçlarda adsorplanmış hacim basınca bağlı olmayıp ( $n = \infty$ ) sabit bir  $k$  değerine eşittir.

$$V_a = k \quad \dots(1.10)$$

Orta basınçlarda ise adsorpsiyon basıncın birden küçük sıfırdan büyük bir kuvveti ile orantılıdır ( $\infty > n > 1$ ).

Freundlich izoterm denkleminin çizgisel şekli;

$$\log V_a = \log k + \frac{1}{n} \log P_d \quad \dots(1.11)$$

olup  $\log P$  değerlerine karşı  $\log V_a$  değerleri grafiğe geçirilirse düşey eksenini kestiği nokta  $\log k$  ve eğimi  $1/n$  olan bir doğru elde edilir.

Freundlich adsorpsiyon izotermi iyonik katılardaki adsorpsiyonlarda gözlemlendiği gibi, fiziksel adsorpsiyon nicel olarak tamamlanan iyon değişimi gibi bir kimyasal olaydan sonra başlar. Çözeltinin derişimini sıfırlayarak yürüyên ve nicel olarak tamamlanan kimyasal adsorpsiyonda tutunan madde miktarını  $V_{ak}$ , çözeltinin derişimine paralel olarak artan fiziksel adsorpsiyonda tutunan madde miktarını ise  $V_{af}$  ile gösterdiğimizizde adsorpsiyonun herhangi bir anında tutunan toplam madde miktarı,

$$V_a = V_{ak} + V_{af} \quad \dots(1.12)$$

olacaktır. Bu durumda Freundlich denklemi,

$$\log (V_a - V_{ak}) = \log k + \frac{1}{n} \log C_d \quad \dots(1.13)$$

şeklinde yazılır. Adsorpsiyon izotermine  $C = 0$  iken sahip olduğu maksimum yükseklik  $V_{ak}$  kimyasal adsorpsiyon, daha sonraki artmalar  $V_{af}$  fiziksel adsorpsiyon olarak alınır. Kimyasal adsorpsiyondan katyon değiştirme kapasitesi gibi bazı kimyasal özelliklere, fiziksel adsorpsiyondan ise özgül yüzey alanına geçilebilmektedir [1,5].



Langmuir Adsorpsiyon İzotermi : Langmuir tarafından verilen adsorpsiyon izotermi kuramı fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon için verilen kuramların ilki olup izoterm denklemini her basınç aralığında kullanılabilir [2,3].

Langmuir izoterm kuramı, tek tabaka fizisorpsiyonu ve kemisorpsiyonunu yansıtır.

Adsorpsiyonda birbirine ters iki etki düşünülmektedir;

1. Gazın yüzeyde adsorpsiyonu,
2. Yüzeyde tutulan gaz moleküllerinin yüzeyden desorpsiyonu.

Bu iki olayın hızı eşit olduğunda adsorpsiyon dengesi kurulur. Yüzeyin adsorplanan moleküllerle kaplanan kesri ise;

$$\theta = \frac{V_a}{V_m} \quad \dots(1.14)$$

Burada  $V_a$  adsorplayıcının birim kütlesi başına adsorplanan gazın normal koşullardaki hacmi,  $V_m$  ise birim kütledeki adsorplayıcı yüzeyini tek tabakalı olarak örtecek gazın normal koşullardaki hacmi olup tek tabaka kapasitesi diye nitelenir.

$$\text{Adsorpsiyon hızı} = k_1 (1-\theta) P \quad \dots(1.15)$$

$$\text{Desorpsiyon hızı} = k_2 \theta \quad \dots(1.16)$$

$$\text{Dengede :} \quad k_1 (1-\theta)P = k_2 \theta \quad \dots(1.17)$$

adsorpsiyon ve desorpsiyon hız sabitlerinin oranı için  $b=k_1/k_2$  alınırsa,

$$\theta = \frac{bP}{1+bP} \quad \dots(1.18)$$

bulunur.

Adsorplayıcının birim kütlesi başına adsorplanan gaz hacmi,

$$V_a = V_m \theta = V_m \frac{bP}{1+bP} \quad \dots(1.19)$$

olur ve bu denklem, Langmuir izotermi denklemdir.

Düşük basınçlarda paydadaki  $bP$  terimi ihmal edilebilir ve denklem  $k'$  bir sabit olmak üzere

$$V_a = (V_m b)P = k' P \quad \dots(1.20)$$



biçimine, yani Henry kanununa indirgenir.

Yüksek basınçlarda ise paydadaki 1 terimi ihmal edilebilir ve denklem  $k''$  bir sabit olmak üzere

$$V_a = V_m = k'' \quad \dots(1.21)$$

biçimine indirgenir. Bu durum adsorplayıcının tek tabaka örtünmesine karşılık gelir.

Orta basınç aralığında Langmuir denklemi çizgisel biçimine dönüştürülebilir;

$$\frac{P}{V_a} = \frac{1}{V_m b} + \frac{P}{V_m} \quad \dots(1.22)$$

P değerlerine karşılık  $P/V_a$  değerleri grafiğe geçirildiğinde eğimi  $1/V_m$  ve kayması ise  $1/V_m b$  olan bir doğru elde edilir. Eğim ve kayma değerlerinden  $V_m$  ve b sabitleri bulunabilir.  $V_m$  sıcaklığa bağlı değildir. b sabiti ise Arrhenius denklemi fonksiyonelliğindeki hız sabitlerinin oranı olup sıcaklığa bağlıdır ve;

$$b = b_o \cdot \exp Q_{ads}/RT \quad \dots(1.23)$$

bağıntısı ile verilir. Langmuir denklemindeki b sabitinin değeri büyükse adsorpsiyon düşük basınçlarda tamamlanır ve adsorpsiyon izotermi keskin köşe yapar ve b- terimi büyük ise adsorplayıcının adsorplama yeteneği düşük denge basıncı aralığında iyi demektir.  $V_m$  büyük ise adsorplayıcının adsorplama kapasitesi büyüktür. Genel olarak adsorpsiyon ısı büyük ise b büyüktür ve adsorplayıcı geniş bir yüzey alanına sahip ise  $V_m$  büyüktür.

Aynı durum Freundlich izotermindeki k ve n sabitleri için de geçerlidir. Langmuir denklemindeki  $V_m$ -terimi, k-ya, b ise n-ye karşılık olmaktadır [3].

**Brunauer-Emmett-Teller (BET) denklemi** : Çok tabakalı fiziksel adsorpsiyon için türetilen bu denklem

$$\frac{P}{V_a (P_o - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1)}{V_m C} \cdot \frac{P}{P_o} \quad \dots(1.24)$$

şeklinde yazılabilir. Bağlı denge basıncı  $P/P_0$  yerine bağlı denge değişimi  $C/C_0$  alınarak çözümlenmeden adsorpsiyon için de kullanılabilir. Deney verileri bu denkleme göre grafiğe geçirildiğinde  $0.05 < P/P_0 < 0.35$  aralığında bir doğru bulunmaktadır. Bu doğrunun eğim ve kayması sırayla  $(C-1) / V_m C$  ve  $1/V_m C$  niceliklerine eşitlenerek bulunan iki denklemin ortak çözümünden  $V_m$  tek tabaka kapasitesiyle  $C$  sabiti bulunur. Adsorplama gücünün bir ölçüsü olan  $C$  sabiti

$$C = \exp [(q_1 - q_L) / RT ] \quad \dots(1.25)$$

olarak verilmektedir. Buradaki  $q_1$  birinci tabakanın adsorpsiyon ısısını,  $q_L$  adsorplanan maddenin yoğunlaşma ısısını,  $q_1 - q_L = q$  net adsorpsiyon ısısını göstermektedir. Yoğunlaşma ısısı belli olduğundan  $C$  sabitinden son bağıntı yardımıyla birinci tabakanın  $q_1$  adsorpsiyon ısısı bulunur. Yüzeyin adsorplama gücü yüksek olduğunda  $q_1$  çok büyük olacak ve  $q_L$  sabit olduğuna göre son bağıntı uyarınca  $C$  sabiti de çok yüksek olacaktır. Bu durumda BET denkleminde göre çizilen doğru merkezden geçer ve bu doğrunun eğimi  $1/V_m$  olur.

BET denklemindeki  $P_0$  adsorplananın deney sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı,  $P$  adsorpsiyonun ölçüldüğü esnadaki buhar basıncı,  $V_a$   $0^\circ\text{C}$  ve 1 atm basınçta adsorbe edilmiş gazın hacmi ve  $V_m$  ise daha önceden de belirtildiği gibi teorik olarak 1 gram adsorbeninin  $0^\circ\text{C}$  ve 1 atm basınçta yüzeyini tek tabaka halinde örtmeye yetecek miktardaki gazın hacmidir [1].

### 1.5. Çözümlenmeden Adsorpsiyon

Adsorplayıcılar sadece gazları değil, çözümlenmeden çözülmüş maddeleri ve bazı hallerde çözücü de adsorbe ederler. Çözümlenen maddenin molekül ağırlığı büyüdükçe, adsorpsiyon artacağından, molekül ağırlığı büyük olan bir çözümlenen, önceden adsorplanmış küçük molekül ağırlıklı çözümleneni yerinden çıkarıp kendisi adsorplanmaya eğilimlidir [6]. Çözümlenenden hiç adsorplanmaması halinde, adsorpsiyon sonucunda ölçülen konsantrasyon azalması çözümlenenin adsorplanan miktarına eşittir. Buna **POZİTİF ADSORPSİYON** denir. Yalnız çözümlenenden adsorplanması halinde ise adsorpsiyon

sonucunda ortamda çözünenin derişimi artmış gibi görünür. Bu tür adsorpsiyona da **NEGATİF ADSORPSİYON** denir.

Organik bileşiklerin adsorpsiyonunu etkileyen temel faktörler polarlanırlık, yapı ve molekül ağırlığıdır. Yüksekçe polar moleküller genellikle çok çözünenler. Çözünürlüğü büyük olan moleküller güçlükle adsorplanabildiğinden adsorpsiyon kolaylığını azaltır. Yüksek molekül ağırlıklı bileşikler genellikle daha az çözünenler ve bunun sonucu olarak genellikle daha kolay adsorplanırlar. Benzer şekilde yüzeyin çekim kuvveti, büyük adsorplanan molekül için daha büyüktür ve onlar daha kolay adsorplanırlar. Ancak bu kural, adsorplanan molekül, adsorplayıcının gözenek boyutundan daha küçük olduğu zaman geçerlidir [7].

Genelde sıvı-katı arayüzeyindeki yarışmalı adsorpsiyona etki eden etmenler şunlardır [8,9];

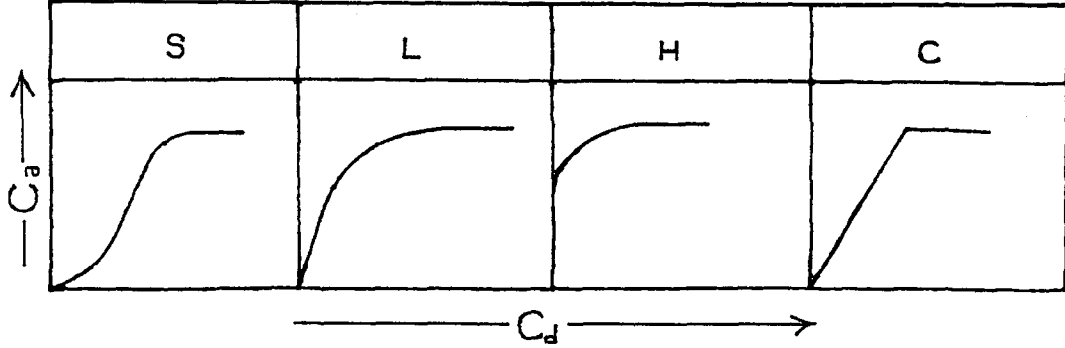
1. Polar katılar üzerinde polar bileşiklerin polar olmayan bileşiklere göre daha kuvvetle adsorplandığını ve bunun tersinin de polar olmayan katılar için doğru olduğu söylenebilir.

2. Homojen bir yüzey, ikili bir karışımın bir bileşenini ötekenden daha kuvvetli olarak adsorplayabilirse, bu durum U şeklinde bir karma izotermle sonuçlanır. Oksit adsorplayıcılarda genelde durum böyledir.

3. Başka etkiler mevcut olmadığında verilen bir çözünen madde, genel olarak zayıf çözücülerdeki çözeltilerinden kuvvetli çözücülerdekine oranla daha kuvvetle adsorplanabilir. Böylece çözünürlük arttıkça adsorpsiyon azalır.

Çözeltiden adsorpsiyona etki eden etmenlerden biri de sıcaklıktır [8,9]. Sıcaklık yükseldikçe izoterm daha düşük düzeylere düşer ve bu düşüş düşük derişim aralığında daha belirgindir. Bu durum, sıcaklık yükseldikçe çözünen ve katı yüzey arasındaki (ve de adsorplanmış komşu moleküller arasındaki) çekme kuvvetlerinin zayıflamasına ve buna karşılık olarak da çözünen çözünürlüğünün artmasına karşılık gelir.

Giles, çözünmüş madde ile çözücü rekabetinden dolayı çözeltiden adsorpsiyon izotermelerini Şekil 1.2 de görüldüğü gibi sınıflandırmıştır (Şekil 1.2) [8].



Şekil 1.2. Giles izoterm sınıflandırması [8].

**S-TİPİ** : Bu tip izoterm absis eksenine doğru dış bükeydir ve çözücünün kuvvetli olarak adsorplanmasında, adsorplanmış tabaka içinde kuvvetli bir moleküller arası etkileşmenin varlığında ve adsorplayıcının monofonksiyonel olmasında ortaya çıkar.

**L-TİPİ** : Langmuir tipi izoterm olup absis eksenine doğru iç bükeydir. Çözücü tarafından kuvvetli bir yarışmanın olmadığı durumlarda ortaya çıkar.

**H-TİPİ** : Başlangıç noktaları ordinat üzerinde bir noktada olup, adsorplayıcı ve adsorplanan arasındaki kuvvetli bir ilgiden, özellikle kemisorpsiyonda ortaya çıkar.

**C-TİPİ** : Orijinden geçen düz bir doğru şeklindedir. Bu durumda adsorplanacak maddenin çözücü faz ile katı faz arasındaki dağılımı sabittir. Derişim ile adsorplanan arasında sabit bir oran vardır.

Çözeltiden adsorpsiyon da genel olarak, gazlar için verilen ilkelere dayanır ve basınçlar yerine, derişim koymak suretiyle aynı denklemler kullanılır [8].

## **BÖLÜM 2: KULLANILAN ADSORPLAYICILAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER**

### **2.1. Aktif Karbon Hakkında Genel Bilgiler**

Aktif karbon çok sayıda karbon içerikli başlangıç maddelerinden elde edilen yüksek adsorpsiyon kapasiteli maddelere verilen bir addır [3,10-12].

Aktif karbon teriminin bir madde ailesini içerdiğinin akılda tutulması önemlidir. Bu aile üyelerinin hiç biri ne belirli bir yapısal formülle karakterize edilir, ne de kimyasal analizle biri diğerinden ayırt edilebilir. Ayırt edebilmek için tek ölçüt adsorplama ve kataliz özellikleridir.

Günümüzde değişik yollarla aktifleştirilmiş çok değişik amaçlara yönelik aktif karbonlar kullanılmaktadır.

Aktif karbonlar uygulama alanlarına göre kabaca iki gruba ayrılır ;

- 1- Gözücü geri kazanımında, gaz ve buhar saflaştırmalarında, sigara filtrelerinde ve gaz maskelerinde kullanılan gaz adsorpsiyon kömürleri,
- 2- Çözelti saflaştırmalarında ve renk gideriminde kullanılan sıvı faz kömürleridir [2].

Aktif karbon diye anılan adsorplayıcı odunun, hindistan cevizi kabuğunun, şeftali çekirdeği, odun talaşı, odun kömürü, balık, lignin, petrol koku (: zifti), kemik, pirinç kabuğu, karbon siyahı, ağaç fosili, polimerik madde, vb. gibi başka türden organik hammaddelerin fiziksel ya da kimyasal aktiflenme yollarıyla karbonize edilmesiyle elde edilir. Aktivasyon genelde hem yüzey alanını büyültme ve hem de yüzey oksitlerini artırarak aktif kömür elde etmek için uygulanır.

Karbon aktivasyonunda elde edilen aktif karbonun kimyasal ve adsorplama özelliklerini etkileyen değişkenler ;

- 1- Başlangıç maddenin doğası,
- 2- Aktivasyon ortamının bileşimi,
- 3- Aktivasyon süreçlerinin sıcaklığı ve süresidir.

Karbonize edilen başlangıç maddesinin gözenek büyüklük dağılımı, yüzey alanı ve kimyasal etkinliğini değiştiren aktifleme yöntemleri kabaca iki gruba ayrılır ;



adsorpsiyon özellikleri kazandıran geniş iç yüzeyli mikrogözenekli yapıyı oluşturur. Aktif karbonlar mikro-, mezo- ve makro- olmak üzere her üç tür gözenegide içermektedir.

Bir aktif karbonun makrogözenekleri, adsorplanan moleküllerin karbon parçacığının iç kısmında yerleşik daha küçük gözeneklere ulaşılmasını sağlayacak şekilde taşıyıcı gözenekler olarak davranırlar. Böylece makrogözenekler içlerindeki adsorplanan madde miktarı açısından bakıldığında önemli değildir, çünkü yüzey alanları çok düşüktür (1-2 m<sup>2</sup>/g'dan daha küçük). Fakat mezo- ve mikro- gözenekler içine yayınma hızını etkilerler.

Mikrogözenekler, iç yüzeyin en büyük kısmını oluştururlar ve sonuç olarak adsorpsiyon olayının çoğu bunların içlerinde gerçekleşir. Bir aktif karbonun toplam yüzey alanının en azından %90'ı mikrogözeneklere aittir.

Makrogözeneklerden ayrılan mezogözenekler (ya da geçiş gözenekleri) ise kılcak yoğunlaşmanın gerçekleştiği gözenekler olarak davranmalarının yanı sıra adsorplanan için mikrogözeneklere giden geçitler olarak da davranırlar.

Aktif karbonlar her ne kadar mikrogözenekli adsorplayıcı olarak biliniyorsa da, her üç tür gözenekliliği içerdiğinden genel adsorplayıcılar olarak da bilinmektedir [2].

Bir aktif karbonun gözenek yapısı geniş bir aralıkta değişen gözenek büyüklükleri tarafından oluşturulur. Genişliği 2 nm den küçük olanlara mikrogözenek, 2 nm ile 50 nm arasında olanlara mezogözenek, 50 nm den büyük olanlara ise makrogözenek adı verilmiştir. Katının bir gramında bulunan gözeneklerin toplam hacmine özgül gözenek hacmi, bu gözeneklerin sahip olduğu duvarların toplam yüzeyine ise özgül yüzey alanı denir. Gözenekler küçüldükçe duvar sayısı artacağından özgül yüzey alanı da artacaktır. Bir başka deyişle, özgül yüzey alanının büyüklüğü özgül gözenek hacminin büyüklüğünden çok gözeneklerin büyüklüğüne bağlıdır. Gözeneklerin büyüklük dağılımına adsorplayıcının gözenek boyut dağılımı denir. Bir katının adsorplama gücü bu katının doğası yanında özgül yüzey alanı, özgül gözenek hacmi ve gözenek boyut dağılımına bağlı olarak değişmektedir [3].

Aktif karbon için yüzey alanı büyüklükleri; gaz ve buhar adsorpsiyon kömürleri için 1000-1500, su arıtım kömürleri için 500-800 ve renk giderme kömürleri için ise 700-1400 m<sup>2</sup>/g olarak verilmiştir.



Belli bir uygulamada bir aktif karbonun kullanımı farklı büyüklüklerdeki gözeneklerin toplam gözeneklilik içindeki paylarıyla belirlenir. Böylece gazların ve buharların adsorpsiyonu için mikrogözenekli bir karbon yeterli olabilirken çözültiden adsorpsiyon için buna ek olarak, gelişkin bir mezo- ve makrogözeneklilik de gereklidir. Şüphesiz bir aktif karbonun adsorplama kapasitesi sadece gözenek yapısıyla değil ayrıca yüzeyin kimyasal doğasıyla da tanımlanır. Kimyasal doğası aktif karbonun yapısındaki grafit kristalitlerin kenar bölgelerinde oksijen içerikli doymamış karbon atomlu gruplar bağlıdır ki bunlar karbonların kenarlarında önemli reaksiyon merkezleri görevini görmekte ve ayrıca aktif karbonu polar kılmaktadır. Bu yüzey oksitleri arasında en sık rastlananlar, temelde en sık rastlanan karboksil grupları, fenolik OH grupları, lakton halkaları, kinon türünden yapı taşları, siklik peroksitler ve karboksilik asit anhidritleridir.

Genelde gözenekli aktif karbonların yüzeylerindeki grupların en önemli kısmını oksidasyon ya da onu izleyen aktivasyon sonucu oluşan negatif asidik gruplar oluşturur [3].

Aktif karbonun özgün adsorpsiyon özellikleri, mikrogözeneklerden ve bundan daha az oranda bulunan geçiş gözenekleri yani mezogözeneklerden kaynaklanır. Yüksek oranda mikrogözeneklere ve düşük oranda makrogözeneklere sahip olan aktif karbonlar küçük molekülleri özellikle gazları daha iyi adsorplamakta, büyük molekülleri az adsorplamaktadır.

Aktif karbonun kullanımı açısından, gözenek boyutu aralıklarına bağlı olarak yüzey alanı ya da gözenek hacminin dağılımı önemlidir. Dolayısıyla gözenek boyutu, adsorplanacak molekül büyüklüğüne ne kadar yakın ise adsorplayıcı ile adsorplanan arasındaki çekim kuvveti o kadar büyük olur. Bu nedenlerden dolayı, adsorplayıcıların çözülti adsorpsiyon uygulamalarında yüzey alanı ölçütü, adsorpsiyon açısından tek başına yeterli bir ölçüt değildir; önemli olan bu yüzey alanının hangi gözenek boyutuna göre dağıldığıdır.

Aktif karbonlar gerek gazların ve gerekse çözültiden çözünen organik ve anorganik maddelerin ayrılması ve arıtılması gibi endüstriyel işlemlerde genişçe kullanılmaktadır. Her ne kadar genelde geniş gözenek boyutu dağılımından dolayı evrensel adsorplayıcılar olarak düşünülmekte ise de çoklu adsorplanan karışımından bireysel bileşenleri seçme yeteneğine sahip olması daha çok ilgi görmektedir. Zeolitik



moleküler eleklerde mevcut olan moleküler eleme etkisi, aktif karbonlarda da mevcuttur. Böyle bir amaç için, büyük bir adsorplama kapasitesine sahip olan bir aktif karbona gerek vardır. Ancak nispeten ucuz başka adsorplayıcılar yerine aktif kömür kullanılması, uygulamada maliyeti yükseltici bir dezavantaja sahiptir.

Aktif karbon her ne kadar yüzey oksidasyonundan kaynaklanan hafifçe bir polarlık ortaya koyarsa da karbon yüzeyi temelde apolardır. Bunun sonucu olarak karbon adsorplayıcılar hidrofobik ve organofilik olmaya eğilimlidirler. Aktif karbondaki zayıfça adsorplanan kuvvetli polar moleküller için önde gelen adsorpsiyon merkezleri görevini görür. Bu özelliklerinden dolayı aktif karbonlar sudaki çözünürlükleri küçük olan hidrofobik organik çözünenleri inorganik moleküllere göre daha tercihli olarak adsorplarlar.

Grafit yapısı aromatik halkaya karşı kimyasal ilgi gösterdiğinden aktif karbonlar, alifatiklere oranla tercihli olarak aromatikleri adsorplarlar.

Aktif karbonun en başta gelen kullanım alanı, içme ve kullanma suyu elde etmek üzere kirli sulardan organik ve anorganik safsızlıkların uzaklaştırılmasıdır ve bu konuda rakipsiz bir adsorplayıcıdır. İçme suyu eldesinde adsorplayıcı olarak kullanılan aktif karbonun işlevi şunlardır ;

1- Mikroorganizmalar için beslenme maddesi olarak katkısı olan veya tat ve kokuyu bozan çözünmüş organik safsızlıkların adsorpsiyonu.

2- Suya mikrop öldürücü olarak aşırı miktarda katılan klor ve ozon, etkilerini gördükten sonra aktif karbon üzerinde  $Cl^-$  ya da  $O_2^-$  ye dönüşürler.

3- Çözülmüş  $Fe^{2+}$  ve  $Mn^{2+}$ , aktif karbon üzerinde katalitik olarak oksitlenir ve çözünmemiş oksit ya da hidroksit olarak ayrılır.

4- Katı asıltıların uzaklaştırılması için mekanik süzgeç görevini görür.

5- Artık sulardaki eser miktarda bulunan metal iyonlarının geri kazanımıdır. Bunlar adsorplanabilen bir organik ayıraçla kompleksleştirilir. Bu kompleks aktif karbon tarafından kolaylıkla adsorplanır.

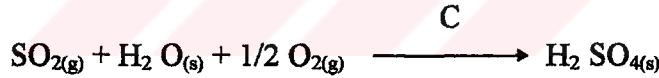
Aktif karbon ile slika jel türü adsorplayıcılar arasındaki en büyük fark, aktif karbonun hidrofobik karakterinden ileri gelir. Bu özelliğinden dolayı teknikte kömür gazında bulunan benzen kalıntılarını uzaklaştırmada seçici olarak aktif karbon kullanılır.

Aktif karbonlar şellak ve reçinelerin, gliserinin, parafin ve vazelinin, meyve sularının, şeker şerbetinin rengini gidermede, bira, şarap, şıra ve yemeklik yağların tat, koku ve renk giderilmesinde de kullanılır.

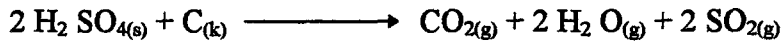
Pestisit, herbisit, insektisit v.b. gibi toksik maddelerin kontrollü uygulaması gerek sağlığa gerekse ekonomiye fayda sağlar. Ancak bunların gelişigüzel kullanılması çevreye kirlenme kaynağı oluşturabilir. Aktif karbon bu tür toksit maddelerin uzaklaştırılmasında da başarılı bir adsorplayıcıdır.

Aktif karbonların önemli kullanım alanlarından biri de üretim tesislerinde açığa çıkan karbon tetraklorür, metil etil keton v.s. gibi organik çözücülerin adsorpsiyon yoluyla geri kazanılmasıdır. Artık gazlar içindeki organik çözücü buharları aktif karbon balonu içinden geçirilip adsorplanır, sonra desorplanarak kıymetli maddeler ele geçer. Çözücü geri kazanımı kağıt, sentetik elyaf, patlayıcı madde, folye, sentetik deri, lastik ve asbest sanayilerinde uygulanır.

Hava kirliliği açısından en önemli kirlilik bileşeni kükürt dioksit gazıdır. Baca gazından kükürt dioksitin uzaklaştırılması çok güçtür, adsorpsiyonda tersinmez durumlar yaratılabilir. Bu amaçla aktif karbon kullanılabilir;



Sülfürik asiti tutmuş olan aktif karbonun dejenerasyonu, su ile yıkayıp 500 °C'nin üstünde ısıtılarak yapılır. Isıtma esnasında sülfürik asit ile aktif karbon arasında bir reaksiyon oluşur, tekrar kükürt dioksit gazı meydana gelir;



Aktif karbon farmakolojide de iyi bir adsorplayıcı olarak kullanılır. Örneğin, tedavide aktif karbon toz, granül ve tablet halinde kullanılabilir. Bu amaçla sindirim sisteminde bağırsak gazlarının adsorpsiyonunda, inorganik tuzların sulu çözeltilerinden pirojen maddelerin adsorpsiyonunda, oral yolla alınan mantar zehirlerinin adsorpsiyonunda, dispepsi (: hazımsızlık) ve diyarede (: ishal) de aktif karbon kullanılır [3].

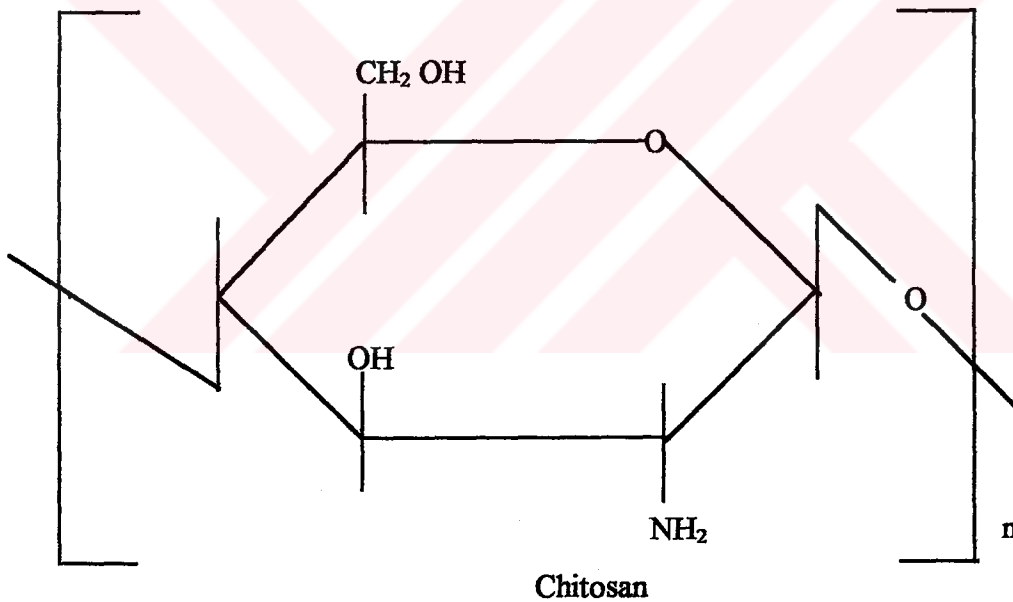
## 2.2. Chitosan Hakkında Genel Bilgiler

Son yıllarda yaygın olarak kullanılan chitosan, su ve artık sudan özellikle ağır metalleri ve organik bileşikleri uzaklaştırmada yüksek bir adsorplama yeteneğine sahiptir. Kitinin deasetilasyonu ile elde edilen bir polisakkarit olup eklembacaklılar kolundan kabuklular ve böceklerin dış kabuğunu oluşturur.

Chitosan oldukça yeni bir adsorplayıcı olduğundan çok az sayıda çalışmada kullanılmış ve bu çalışmalarda da aşağıdaki iki amaç güdülmüştür. Su ve artık sudan ;

- a) Ağır metalleri uzaklaştırmak,
- b) Organik bileşikleri uzaklaştırmak,

Chitosan'daki amino ve hidroksit gruplarının şelatlayıcı bir ligand olarak davrandıklarına inanılır. Hidroksit grubu adsorpsiyonu uyarma yeteneğine sahiptir, bu etki pKa etkisinden daha güçlüdür [13-15].



## 2.3. Agar Hakkında Genel Bilgiler :

Ağar, yosun türünden olan bazı deniz bitkilerinde bulunan bir galaktoz polimeridir. Yapısında başlıca galaktoz birimleri birbirlerine  $1\beta\text{-O-4}$  bağlarıyla bağlanmıştır. Ağarın binde birlik çözeltisi bile oldukça kıvamlıdır ve içinde çok fazla su tutar. Bu nedenle peklkte yumuşatıcı olarak verilebilir. Ağar, mikrobiyolojide besiyeri jellerinin hazırlanmasında ve elektroforez jellerinin hazırlanmasında kullanılır. Asitli ortamda hidrolizlendiğinde başlıca galaktoz verir [16].

## **BÖLÜM 3 - AĞIR METALLER VE İZ ELEMENTER HAKKINDA GENEL BİLGİLER**

### **3.1. Giriş :**

Bu bölümde, çoğu geçiş elementleri olarak bilinen ve fazla yoğunluğa sahip olan bazı metaller üzerinde durulacaktır. Bunların bir kısmı tarımda iz elementleri veya mikrobeyin elementleri olarak adlandırılan ve toprakta nispeten az bulunan, fakat bitki büyümesi için gerekli olan elementlerdir. Bu elementler şunlardır : Arsenik (As), Kadmiyum (Cd), Kobalt (Co), Krom (Cr), Bakır (Cu), Civa (Hg), Molibden (Mo), Nikel (Ni), Kurşun (Pb), Selenyum (Se), Vanadyum (V), Çinko (Zn). Her bir elementi ve geriye kalan diğer ağır metalleri (Bizmut (Bi), Baryum (Ba), Talyum (Tl), Tellür (Te), Mangan (Mn), Demir (Fe) ve Antimon (Sb)) ayrıntılı olarak vermeden önce genellikle iki veya daha fazlasını içeren karışımları oluşturan bazı kaynaklara değinmek mümkündür. Çok çeşitli endüstriyel artıklar ağır metallerin neden olduğu hava kirliliğine ve sonuçta bu elementler toprak yüzeyine ulaştığında da toprak kirliliğine neden olabilmektedir. Bir örnek olarak maden cevheri tasfiye endüstrisi verilebilir. Nitekim bitkiler ve hayvanlar üzerinde şiddetli zararların çinko tasfiyehanelerinden kaynaklandığı zaman zaman bildirilmektedir.

Sağlık kuruluşlarından artakalan katı artıkların arazi dolguları olarak kullanılması halinde de bu dolguların içinde kırılmış klinik termometrelerinden dökülen civanın yanı sıra her türlü yiyecek içecek artığına dahi rastlanabilmektedir. Yine kanalizasyon arıtma tesislerindeki sular ve kanalizasyon çamurları, araziye gübreleme amacıyla döküldüğünde sadece bitki besin elementi ilave etmekle kalmayıp, toprakta ağır metallerin artmasına da neden olmaktadır.

Bugün bilinen elementlerin sayısı 106 dır. Bunlardan 84 tanesi metaldir. Metaller toksik ve toksik olmayanlar diye ikiye ayrılır. Canlı bünyesine girdiği zaman ona zararlı olan metallere toksik metaller denir. Toksik olanların sayısı toksik olmayanların sayısından daha azdır. Ayrıca toksik olanlardan bir kısmı yer kabuğunda eser oranda bulunur, bir kısmının da tuzları suda çok az çözünür. Bunlardan en yaygın civa ve kurşundur. Eser elementler veya metaller çevre kirlenmesi bakımından, bol bulunan elementlerden çok daha tehlikelidir.

Toksiklik metalden metale, canlıdan canlıya değiştiği gibi derişime bağlı olarak da değişir. Toksik metaller günümüzde en zararlı evre kirleticiler arasında yer alır. Diğer evre kirleticiler başlıca ; deterjanlar, pestisitler, partiküller, gazlar ve petrol ürünleridir.

Bazı ağır metaller bitkilerin büyümesi için gerekli ise de belirli bir konsantrasyondan sonra, ağır metaller hem bitkiler için hem de mikroorganizmalar için zehirli olmaktadır. Örneğin, Bor bitkiler için mikro planda önemli bir besi maddesi olmasına rağmen, 2 ppm lik derişim pek çok bitki için zehir etkisi yapar.

Ağır metaller, pestisitler, radyoaktif maddeler gibi zehirli kirleticilerin biyolojik büyüme üzerine ilave kronik bir etkisi vardır. Son otuz yıldan beri topraklardaki pestisit kalıntılarının, çevreden bulaşan ağır metaller ve iz elementler gibi çeşitli maddelerin toprak organizmaları ve onların srdrdğu biyokimyasal olaylar üzerine olan etki ve yan etkilerinin izlenmesi toprak bilim araştırmalarında yerleşmiş bir disiplin haline gelmiştir.

Ağır metaller enzimler üzerine de etkimektedir. Çeşitli metal iyonlarının toprakta organik bileşiklerin mineralizasyonundan sorumlu olan çeşitli enzimleri engellediği de saptanmıştır. Özellikle reaz ve fosfataz toprak verimliliğinde önemli görevleri olan enzimlerdir. Çünkü bilindiği gibi üreaz hem hayvansal dışkılar yolu ile hem de ticari gübre olarak toprağa ulaşan üreyi mineralize eden enzimdir. Fosfataz ise büyük ölçüde toprak organik fosforunun hidrolizinden sorumlu olmasından dolayı özel bir öneme sahiptir.

Ağır metallerle ilgili bir başka önemli risk, bu maddelerin uzun vadede toprakta birikim yapmasıdır. Ağır metaller, toprağın adsorpsiyon, kimyasal reaksiyon ve iyon değişimi sonucu toprakta tutulur. Genel olarak, çinko, bakır ve nikel toplam ağır metallerin büyük bir kısmını teşkil eder.

Topraklarda etkili olabilecek ağır metal “dozu” sadece kabaca tahmin edilebilir. Topraklardaki toplam miktarı ve çözelti fazındaki ağır metal iyonları arasındaki dengeyi tayin eden “Kimyasal evre” dir.

Ayrıca toprakta birikmiş Cd, Zn, ve Cu’nun CO<sub>2</sub> retimine etkisi gözlenmiş ve bu metallerin derişimi arttığı CO<sub>2</sub> oluşumu engellenmesinin de arttığı gözlenmiştir.

Sıvı artıkların yüzey altına sızdırılmasında ağır metallerin yeraltı suyuna karışma olasılığı mutlaka göz önünde tutulmalıdır. Bu durumda yeraltı suyunun en az 4,50 m derinde olması gerekir.

Sulama suyunda önerilen maksimum derişimler **izelge 3.1** de verilmiştir.

**Çizelge 3.1** Sulama suları için önerilen maksimum eser element derişimleri [17].

Element	Sürekli olarak her cins zemin için kullanılan sular için ppm	pH 6 ile 8,5 olan ince yapılı topraklarda 20 yıla kadar kullanılan sular için ppm
Aluminyum	5,0	20,0
Arsenik	0,10	2,0
Berilyum	0,10	0,50
Boron	0,75	2,0-10,0
Kadmiyum	0,01	0,05
Krom	0,10	1,00
Kobalt	0,05	5,0
Bakır	0,20	5,0
Florür	1,0	15,0
Demir	5,0	20,0
Kurşun	5,0	10,0
Manganez	0,20	10,0
Molibden	0,01	0,05
Nikel	0,20	2,0
Çinko	2,0	10,0

Metalik kirlenmelerin çoğu sularda toplanır. Sularda toplanma, sularda çözünme şeklinde olabileceği gibi, çözünmeden suların dibinde toplanma şeklinde de olabilir. Bu şekilde bir kirlenme şehir, endüstriyel ve ziraî artıklardan ileri geldiği gibi herhangi bir yolla atmosfere verilen metalik maddelerden de gelebilir. Atmosfere verilen metalik maddeler sonunda yeryüzüne dönerler ve akarsular vasıtasıyla su yataklarına sürüklenirler. Mekanik kirlenmeler, organik kirlenmeler gibi kimyasal ve biyolojik yollarla parçalanmazlar. Olsa olsa, bir metal bileşiği bir başka bileşiğine dönüşür. Dönüşme ne olursa olsun, metal iyonu kaybolmaz. Bu dönüşmeler esnasında bazen bir metalin çok toksik ve suda çözünen bileşiği de meydana gelebilir ( metil civa gibi ). Bütün bunlara ilave olarak, metalik kirlenmeler konveksiyon rüzgar ve sular vasıtasıyla bir yerden bir başka yere sürüklenirler. Bu şekilde bir dağılmanın yararlı yönleri yanında (derişim azalması) hiç kirlenmemiş temiz bölgelere dağılacağı için zararlı yönleri de vardır.



Yeryüzüne inen toksik metal bileşikleri nehir, yağmur ve kar sularıyla yeryüzü sularına (deniz, göl, gölet, baraj gibi ) ulaştırıldığı gibi yağmur ve kar sularıyla topraktan sızma suretiyle eser oranda da olsa yeraltı sularına da karışabilir. Bu nedenle bazen yeraltı suları da, çeşitli toksik metaller ihtiva edebilir. İçme suları da bu kaynaklardan temin edildiğinden, içlerinde çeşitli toksik metaller bulunabilir.

Toksik maddeler, suda düşük derişimlerde bulunmaları halinde bile (örneğin 1,0 g/m<sup>3</sup>), insan sağlığına zarar vererek hastalıklara ve hatta ölüme neden olabilirler.

En önemli konulardan birisi de, toksik metallerin gıda yapısında birikmesidir. Birikme sonucu metallerin derişimleri sudakinin ve havadakinin çok üstüne çıkabilir. Böyle büyük oranda toksik metal ihtiva eden bir gıdayı alan insan veya hayvan zehirlenebilir. Ayrıca insan vücudunun bazı toksik metalleri biriktirme özelliği de vardır. Örneğin, kurşunun insan vücudundaki yarılanma ömrü 1460, kadmiyumun ki 200, çinkonun ki ise 933 gündür. Hava kirleticiler arasında sayılan bazı elementler bitkisel ve hayvansal hayat için gereklidir. Ancak, böyle elementler hangi derişimlerde yararlı, hangi derişimlerde zararlıdır, bilinmesi gerekir. Bunlar Na, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Sn, Co, Cr, Mn, Mo ve V dir.

Şimdi başta belirttiğimiz ve “Ağır Metaller ” olarak nitelendirdiğimiz metalleri sırasıyla inceleyelim [17];

### **ARSENİK, As.**

Arsenik bileşikleri boya pigmentleri olarak ve tekstil ve deri tabaklama endüstrisinde kullanılmaktadır. Yine deterjanlar önemli miktarda arsenik (10-70 ppm) içerebilir. Arsenik bileşiklerinin çoğunun yüksek derecede toksik olması nedeniyle fungusitler, herbisitler, insektisitler ve rodentisitler gibi pestisitlerin tümünün ana kaynağını arsenik oluşturur.

Arseniğin özellikle patates kabuklarında biriktiği çok iyi bilinmektedir. Ren nehrinin çevresindeki topraklarda yetiştirilen patates bitkileri, her yıl zaman zaman ortaya çıkan taşmalar esnasında arsenikle bulaşmış nehir suyu etkisiyle kabuklarında izin verilebilir düzeyin üzerinde arsenik biriktirebilmektedir. Bitkilerin yenen kısımları için izin verilebilir düzey 2.6 ppm dir. İnsan ve hayvanlar için toksik olan arsenik düzeyi bitkiler için de toksik olduğundan, insan ve hayvanların arsenikli bitkileri yiyerek zehirlenmeleri

ihtimali ortadan kalkmaktadır. Her ne kadar inorganik arsenik bileşikleri tarımda geniş ölçüde kullanılmıyorsa da, geçmişte yapılan fazla arsenik uygulamalarının kalıcı etkisi hâlâ dikkate alınmaktadır.

### **KADMIYUM, Cd.**

Kadmiyum geniş ölçüde kaplama materyali olarak kullanılır. Yine boya pigmentleri ve plastik endüstrisinde kadmiyum bileşiklerinden çok yararlanır. Motor yağında ve otomobil lastiklerinde kadmiyum varlığı, yol kenarlarındaki topraklarda nispi kadmiyum birikmesinin nedenidir. Kadmiyum ve çinko arasındaki jeokimyasal ilişki bu iki elementin genellikle birbirine bağlı olarak var olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle çinko tasfiyhanelerinin saldığı duman içerisinde ZnO ve CdO birlikte bulunur. CdO, ZnO'den daha fazla uçucu olduğundan orijinal maden cevherine oranla duman içerisinde CdO nispeten daha fazla yer alır. Maden cevherindeki Zn/Cd oranı 900 civarındadır. Fosforlu gübrelerde mevcut kadmiyum, topraklara kadmiyum bulaşmasının bir nedenidir. Fosforlu gübrelerden tersiyer kalsiyum fosfatın bileşiminde 1-2 ppm, süper fosfatta ise 50-170 ppm kadmiyum vardır.

Fazla kadmiyum alınması sonucu insan ve hayvanlarda yüksek kan basıncı veya hipertansiyon ve çoğu kez de damar hastalıkları ortaya çıkmaktadır. Farklı bitkilerin kadmiyum fazlalığına karşı gösterdikleri hassasiyet ise büyük ölçüde farklı olmakla birlikte, genellikle bitki büyümesi ortamdaki kadmiyum derişiminin artması ile azalmaktadır.

Kirlenmeyen alanlardaki toprağın kadmiyum içeriği genellikle 1 ppm'nin altındadır. Kadmiyum bulaşmış pirinç topraklarında Cd düzeyi 50 ppm'e kadar artmıştır. Bir çinko tasfiyhaneşi yakınındaki üst toprakta kadmiyum miktarının 1700 ppm kadar yüksek olduğü bildirilmiştir .

### **KOBALT, Co.**

Kobalt alaşımlar, boya, vernik, kozmetik ve mürekkep yapımında kullanılır. Vitamin B<sub>12</sub> nin bileşimi olarak işlev gördüğünden insanlar için de çok gerekli bir elementtir. Atmosferik nitrojeni kullanabilen bitkiler kendi kök nodül mikrobiyal sistemi için kobalta ihtiyaç duyarlar. Ancak yüksek kobalt derişimleri bitkilere fazlaca toksik



olabilmektedir. Fazla kobalt demir eksikliğine neden olabilir. Çoğu bitkilerin ihtiyaç duyduğu çözültideki kobalt konsantrasyonu 0.1 ppm'i geçmez.

Topraktaki kobalt içeriği 10 ppm'e kadardır. Ancak bazı özel hallerde 380 ppm'e kadar çıktığı da belirtilmektedir. Kobalt, kil mineralleri üzerinde katyon değişim kapasitesinin çok düşük bir yüzdesini oluşturacak şekilde iz miktarda adsorbe olmaktadır. Bu adsorpsiyon değişebilir ve değişemez olmak üzere iki şekilde gerçekleşebilmektedir.

Kobaltın kanalizasyon çamurları gibi artık maddelerde bile az miktarda bulunması nedeniyle bu ağır metalin topraklardaki zararlı etkileri üzerinde çok az durulmaktadır.

### **KROM, Cr.**

Krom, metal ve kromatlar formunda olmak üzere geniş ölçüde korozyon önleyici olarak kullanılır. Evlerde, trafikte ve endüstride kullanılan çoğu metaller uzun süre dayanıklı olabilmeleri için kromla kaplanır. Krom az miktarda vernik, mürekkep ve kumaş boyası yapımında da kullanılmaktadır.

Krom, insanlar ve hayvanlar için gerekli bir elementtir. Kandaki fazla glikoz düzeyinin normal düzeye dönmesinde krom esas rol oynar. Krom aktivitesinin insülinle ilgili olması nedeniyle şeker hastalığının önlenmesinde de oldukça önemli olması muhtemeldir. İnsan ve hayvanlarda krom fazlalığından dolayı herhangi bir zararlanma bu güne kadar bildirilmemiştir.

Kromun insanlar tarafından fazlaca alınması istenirse içme suyuna Cr ilave edilebilir. Bitkilerin krom içeriğinin artırılması zordur. Çoğu topraklarda kromun hareketsiz oluşu nedeniyle fazla çözünebilir krom tuzları dahi kullanılsa, kromlu bileşiklerle gübreleme genellikle az etkiye sahiptir. Özellikle serpentin topraklarında yüksek düzeydeki kromun toksik olduğu bildirilmiştir. Ancak bitkideki hareketliliğin az olması ve bitki tarafından alındığı yerde kalması nedeniyle, Cr içeriği fazla olan artıklar toprağa ilave edilse bile krom topraklarda bir sorun yaratmaz.

### **BAKIR, Cu**

Bakır öncelikle tel yapımında ve diğer bir çok metallerle birlikte alaşımlar olarak kullanılır. Bakır sülfat ( $\text{CuSO}_4$ ) formunda meyve ve patatesler için bir fungusit olarak da

kullanılmaktadır. Bakır sülfat tavuk ve domuz yemlerine ilave edildiğinde bu hayvanların gübreleri vasıtasıyla toprakta bakır birikebilmektedir.

Topraktaki fazla bakır içeriği bitkilerin belirli iz elementleri almasını etkilemektedir. Örneğin tipik şekliyle klorosis olarak bilinen demir eksikliğine neden olmaktadır. Yine bakır ve çinko arasında bir antagonizm gözlenmiştir. Bakır fazlalığı molibden alınmasını önlemekte, molibdenin fazlalığı da bakır eksikliğine neden olmaktadır. Bu nedenle uygun bitki besleme için uygun Cu-Mo dengesi önemlidir.

Toprak çözeltilisindeki bakır konsantrasyonu 0.1 ppm'i geçtiğinde bitkilerin ters yönde etkilendiği bildirilmektedir. İnsanlar için içme suyundaki emniyetli bakır düzeyi, içme suyu standartlarına göre 1.0 ppm'den az derişimlerdir.

Koyunların yüksek bakır düzeylerine karşı hassas olduğu bilinmektedir; yemlerdeki Cu konsantrasyonları 20 ppm'i geçerse koyunlar için toksik etki söz konusudur.

### **CİVA, Hg.**

Civa, manometre ve termometre gibi ölçme ve kontrol aletlerinde, ayrıca plastik üretiminde bir katalizör olarak kullanılır. Tohum ilaçlamasında olduğu gibi fungusit olarak tarımsal amaçla kullanılan civa miktarı toplam endüstriyel civa tüketiminin ancak % 5 veya daha azı kadardır. Bir fungusit olarak yine tahtaların korunmasında dolayısıyla kağıt hamuru ve kağıt üretim endüstrisinde çok az da olsa civa kullanılmaktadır. Yanan kömür ve petrol ise çevreye hava yoluyla civa salınmasının en önemli kaynağıdır. Okyanuslarda civa içeren kayalar ve minerallerin kimyasal ve fiziksel ayrışmalarının bir sonucu olarak 230 ton civarında civa salıverildiği tahmin edilmektedir.

Farklı civa bileşikleri arasında toksik etki yönünden büyük farklar vardır. Fenil-civa aromatik Hg bileşikleri ve alkoksialkil Hg bileşikleri en az toksiktir. Bunları inorganik civa tuzları ve metalik civa takip etmekte, tohum ilaçlamasında kullanılan alkil bileşikleri (metil ve etil civa) ise en tehlikeli olanlarıdır. Alkil bileşikleri fazlaca eriyebilir ve kararlı oluşu nedeniyle kolayca insan ve hayvan dokusuna nüfuz etmekte ve sonunda oksijen taşınmasını bloke edebilmektedir.

Civanın katyon formları toprağın yapı maddeleri üzerinde kolayca adsorbe olabilir. Az eriyebilir fosfat, karbonat ve sülfat gibi civa formlarının hareketsiz oluşu

topraklardaki civa taşınmasını önleyen diğer bir nedendir. Metalik civadan yüksek derecede erimeyen HgS oluşumu sülfat indirgeyen mikroorganizmalarda kolaylaştırılmaktadır.

### **MOLİBDEN, Mo.**

Molibden çelik ve alaşım üretiminde kullanıldığı gibi az da olsa pigment ve elektronik tüp gibi malzemelerin yapımında yer alır. Bitki büyümesi için gerekli oluşu nedeniyle aynı zamanda tarımda bir mikrobesein gübresi olarak kullanılır.

Molibden eksikliği halinde bitki üretimi azalmaktadır. Bu azalış molibden içeren nitrat redüktazı ve nitrojenaz gibi nitrojen asimilasyonunda etkili olan özel enzimlerdeki molibden fonksiyonuna bağlanmaktadır. Nitrat redüktazı nitrat asimilasyonu için gerekli, nitrojenaz ise  $N_2$ 'in  $NH_3$  (amonyak) şeklinde fiske edilmesinde rol oynamaktadır.

Molibden ile diğer bazı elementler arasında antagonistik etkileşimler vardır. Bakırla olan antagonizme daha önce değinilmiştir. Molibdenin bitkiler tarafından alınması fosfor ve kükürtçe önlenebilmektedir. Buna karşılık molibdenin kendisi de demir alınması üzerinde antagonistik etkiye sahip olabilir.

Hayvanlarda ve muhtemelen insanlarda çok yüksek molibdenin toksik etkisi nedeniyle molibdenosis denilen bir hastalık ortaya çıkabilmektedir. Özellikle ruminantlar bu hastalığa karşı çok hassastırlar.

Bitkilerin normal molibden içeriği kuru madde üzerinden 0.1 ppm civarındadır. Ancak nitrojen asimilasyonundaki fonksiyonu nedeniyle baklagillerde bir dereceye kadar fazla (0.3-0.5 ppm) olabilmektedir. Bitkilerdeki molibden içeriği 200-300 ppm'i aştığında molibden toksisitesi arazları belirlemektedir. Toprağın toplam molibden içeriği genellikle 1-5 ppm civarında değişir.

### **NIKEL, Ni.**

Nikel çelik ve alaşım üretiminde önemli yer tutar. Ayrıca bu element boya pigmentleri, kozmetikler ve makine parçaları, bateri yapımında kullanılır.

Nikelin bitki büyümesindeki rolü iyi anlaşılmamıştır ve şimdiye kadar bu elementin bitkiler için gerekli olduğu ispatlanmamıştır. Nikelin genç piliçlerin büyümesi ve gelişmesi için önemli olduğu gösterilmiştir. Nikel bitkilerce topraktan kolaylıkla alınabilmekle

birlikte bitkiler için fazlaca toksik olması nedeniyle kanalizasyon çamuru veya diğer artıkların toprağa uygulanmasında çok dikkatli olunması gerekmektedir.

Normal şartlarda bitkinin, nikel içeriği kuru madde üzerinde 1 ppm'i geçmez. Toprağın toplam nikel içeriği 5-500 ppm (kabaca ortalama 100 ppm) arasında değişirse de serpentin topraklarında daha fazla olabilmektedir.

Nikel içeriği fazla olan topraklara fosfat ilavesiyle nikel toksisitesi azaltılabilir.  $Ni_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$  ve  $Ni_3(PO_4)_2 \cdot 2NiHPO_4$  gibi az eriyebilir nikel fosfatların teşekkülü toprak çözeltisindeki nikel derişiminde önemli azalmaya neden olur.

### **KURŞUN, Pb.**

Kurşun çoğunlukla otomobil endüstrisinde, bateri üretiminde ve tetraetil ve tetrametil kurşun halinde benzin fazlalığından ortaya çıkan vuruş sesini önleyici madde olarak kullanılır. Az da olsa tarımda kurşun içerikli pestisitlerin uygulanması çevresel bir sorun olmaktadır.

Her türlü trafik araçlarında kullanılan benzin öncelikle hava kirliliğine neden olur. Böylece havaya karışan kurşun parçaları yağışla toprak yüzeyine ulaşarak toprak kirliliği yaratır. Kurşunun sağlığı bozucu etkisi anlaşıldıktan sonra özellikle araştırmalar keşif trafik alanları çevresinde yoğunlaştırılmıştır.

İnsanlar (ve hayvanlar) tarafından özellikle et ve sebze formunda fazla düzeyde kurşun alınması, karaciğer, böbrek ve kemiklerde birikmeyi takiben toksik etki oluşturabilmektedir. Katı gıda halindeki kurşun alınmasının günde 600 mikrogramı geçmemesi istenir. Bu nedenle bitkilerin kurşun içeriği ve kurşun alımları insan sağlığı için doğrudan önem taşır. Bitkinin kurşun alma mekanizması henüz açıklığa kavuşmamıştır ve toprak sisteminden ve havadan alınan miktarlar konusunda fikir birliğine varılamamıştır.

Çoğu bitki türlerinin kurşun içeriği normal olarak 0.5-3 ppm arasındadır. Ancak bazıları için kurşun toksisite düzeyi çok yüksektir. Bu durum oldukça tehlikeli olabilir. Çünkü bu tür bitkiler insan tüketimi için zararlı düzeyde kurşun içerdikleri halde hiçbir toksik belirti göstermezler ve gayet sağlıklı görünürler. Kurşun birikimine karşı marul bitkisinin yulafa oranla daha fazla hassas olduğu belirtilmiştir. Yine mısır bitkisinin gövdesinde önemli miktarda kurşun artışı olduğu halde tanelerde olmadığı bulunmuştur.

Bu sonuç kurşunla bulaşmış topraklarda yetiştirilen mısırın silaj olarak kullanılmasının tane halinde kullanmaya oranla daha tehlikeli olabileceğini göstermektedir.

### **SELENYUM, Se.**

Selenyum elektronik ve elektrik endüstrisinde, örneğin voltaj regülatörleri ve fotoelektrik hücrelerin yapımında kullanılır. Ayrıca boya ve mürekkeplerde, kozmetiklerde ve boya gidericilerde de yer alır.

Selenyum hayvan besinlerinde gerekli olarak bilinir. Eksikliği halinde özellikle kuzu ve danalarda olmak üzere çiftlik hayvanlarında ve tavuklarda beyaz kas hastalığı veya kas distrofisi denilen hastalık ortaya çıkmaktadır. Selenyum işlevi tam anlaşılmamakla birlikte vitamin E ile bir ilişkisi olduğu gözlenmiştir. Beyaz kas hastalığı gıda içerisindeki selenyum içeriği 0.03-0.1 ppm'den az olduğunda ortaya çıkar. Ayrıca bu miktar 5 ppm'i geçtiğinde bu kez selenyum toksisitesi gözlenmiştir.

Selenyumca eksik topraklara en iyi şekilde selenitler ( $K_2SeO_3$  gibi) verilebilir. Bunların çözünürlüğü fazla değildir. Halbuki selenatların ( $K_2SeO_4$ ) çözünürlüğü fazla olduğundan bitkinin toksik düzeyde selenyum almasına neden olacağından arzu edilmezler.

### **VANADYUM, V.**

Vanadyum çelik ve demirsiz alaşım üretiminde kullanılır. Ayrıca katalizör bileşiklerinde, fotoğrafçılıkta, boya ve vernik yapımında yer alır.

Vanadyumun bitkiler için gerekli olduğunu gösteren bulgular olmamakla birlikte az miktardaki vanadyumun bitki büyümesinde yararlı etkilerinden bahsedilmektedir. Özellikle bitkiye nitrojen sağlayan mikroorganizmaların gelişmesi için gerekli olabileceği ve böylece bitki nitrojeninin artmasını sağladığı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra bitkiler üzerinde vanadyumun toksik etkileri belirlenmiştir. Vanadyum toksisitesi bitki türü ve vanadyum formuna bağlı olarak 0,5-1 ppm kadar düşük vanadyum derişimlerinde başlayabilir. Vanadyumun hayvanların kanındaki kolesterol düzeyini kontrol etmede önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir. Aynı durum insanlar için de gerekli olabilir. İnsan ve hayvanlar için vanadyum toksisitesi 5 ppm ve daha fazla olduğunda ortaya çıkabilmektedir.

### **ÇİNKO, Zn.**

Çinko büyük ölçüde alaşımlarda, mürekkep, kopya kağıdı, kozmetikler ve boyaların yapımında, ayrıca bir metal kaplayıcı olarak kullanılır. Fazla endüstrilemiş alanlarda asitliği artarak çinko içerikli yapı malzemelerini korozyona uğratan yağışlar ve maden tasfiyehaneleri bu yörelerdeki artık sulardaki çinko düzeyinin artmasına neden olmaktadır.

Çinko bitkiler ve hayvanlar için gerekli bir elementtir. Hayvan metabolizmasında birçok enzimin bileşimine girdiğinden önem taşır ve eksikliği halinde enzim aktivitesi geriler. Aynı şekilde bitki büyümesinde dehidrojenaz ve peptidaz gibi enzimler için gereklidir.

Yüksek derişimlerde çinko toksisitesinden bahsedilir. Özellikle kanalizasyon çamurları gibi çok fazla çinko içerikli (50.000 ppm'e kadar) artık ürünler toprağa uygulandığında toprakta çinko birikebilmektedir.

Çinko toksisitesine fosfor ve demir gibi diğer gerekli elementlerin bitkilerce alınmasında ortaya çıkan interaksiyonlar neden olur. Çoğu bitkiler için çinko eksikliği belirtileri Zn düzeyi 20-25 ppm'den daha az olduğunda başlar. Toksik düzeyler ise yaklaşık 400 ppm ve daha fazladır. Hayvanlarda ise toksisite günlük besindeki (diyetteki) Zn içeriği kabaca 100 ppm'i geçtiğinde başlar. Bitkilerin çoğu bu kadar yüksek Zn düzeylerinden şiddetli zarar görür. Bitkilerin hayvanlara oranla bu şekilde çinko toksisitesine karşı hassas olması, gıda zincirinde çinko birikimine karşı otomatik korunmayı sağlar. Toprağın normal şartlardaki çinko düzeyi 10-300 ppm arasında, kabaca ortalama 30-50 ppm civarındadır.

### **BİZMUT, Bi.**

Metalik bizmut, düşük ergime noktası istenilen alaşımlarda kullanılır. Bu çeşit alaşımlar, elektrik sigortalarını otomatik yangın alarm cihazlarını, otomatik pülverizatörlerinin ve buhar kazanları emniyet supaplarının yapımında kullanılır. Bu çeşit alaşımlara örnek olarak, 71 °C'da eriyen "odun metalı" adı verilen alaşımı verebiliriz. Bu alaşımın terkihi, % 50 Bizmut, % 25 Kurşun, % 12,5 Kadmiyum ve % 12,5 Kalay'dan ibarettir.



Bazik bizmut tuzları gastrit hastalıklarında, mide mukozasını koruyucu ve asitli gıdaları nötralleştirici bir rol oynadıklarından, ilaç fabrikalarında büyük miktarda kullanılan önemli bileşiklerdir.

Bizmut bileşikleri, aynı zamanda kozmetik yapımında ve tıpta Frengi hastalığına karşı ilaç olarak kullanılır .

### **BARYUM, Ba.**

Baryumun doğada işlenmeye müsait başlıca iki filizi vardır. Bunlar, **Viterit** adı verilen baryum karbonat  $BaCO_3$  ile **Baritin** adı verilen baryum sülfat  $BaSO_4$ 'tır.

Baryum sülfat boya ve kağıt endüstrisinde dolgu maddesi olarak kullanılan beyaz renkli ağır katı bir maddedir. Baryum sülfat, boyanın dayanıklılığını artırır. Kağıt endüstrisinde beyaz ambalaj kağıdı ve karton yapımında bu maddelere ağırlık ve sağlamlık kazandırır. Baryumun röntgen ışınlarını absorbe etmesinden dolayı, mide röntgen filmleri alınırken hastaya  $BaSO_4$  içirtilir. Baryum sülfat çözülmediği için zehirli değildir.

İyi bir oksitleyici olan baryum peroksit  $BaO_2$ , işaret ve eğlence fişeklerinin yapımında ve bir miktar da hidrojen peroksidin imâlinde kullanılır.

Baryum nitrat beyaz renkli katı bir kristaldir. Bu bileşik de stronsiyum bileşikleri gibi işaret, eğlence fişekleri yapımında kullanılır. Bütün baryum bileşikleri alevi sarımsı-yeşile boyarlar.

### **TALYUM, Tl.**

Talyum çok açık mavimsi-beyaz renkli bir metaldir. Bu metal bir kağıt parçasına sürüldüğünde siyah bir leke bırakacak kadar veya tırnak ile çizilebilecek derecede yumuşaktır. Eser halinde bir çok minerallerde bulunur.

Talyumun başlıca iki önemli bileşik serisi vardır. Bunlar talyumun +1 yükseltgenme basamağında bulunduğu **Tallo** ve +3 yükseltgenme basamağında bulunduğu **Talli** bileşik serileridir.

İyonlaşma değerinden de bekleneceği şekilde 3 elektron verme eğilimi çok zayıf olan Talyum atomunun meydana getirdiği talli bileşikleri oldukça kuvvetli yükseltgeyici

cisimler olup stanno iyonu, sülfüröz asiti  $H_2SO_3$ , arsenöz iyonu ve metalik talyum gibi indirgen cisimler karşısında Tallo bileşiklerine indirgenirler.

Tallo bileşikleri çözünürlükleri bakımından genel olarak ilgili gümüş veya kurşun bileşiklerine, talli- bileşikleri de ilgili alüminyum bileşiklerine çok benzerler.

Gerek Tallo (Talyum I) ve gerekse Talli (Talyum III) bileşikleri kurşun bileşikleri gibi çok zehirli maddelerdir.

Örneğin, Tallo sülfat (Talyum I sülfat)  $Tl_2SO_4$  bileşiği haşerat ve bilhassa fare zehiri olarak çok kullanılmaktadır.

### TELLÜR, Te.

Atom sayılarının artmasına paralel olarak elementlerin metalik özelliklerinin de artması dolayısıyla Tellürün ametal şekilleri bulunmaz. Bu elementin, gümüş beyazlığında, parlak ve çok sert olmayan hali, en dayanıklı şeklidir.

Tellürün dioksit ve trioksit tuzları ile birlikte ilgili asidi elde edilmiştir. Tellürik asit, sülfürik ve selenik asitlere nazaran daha az bir asidik özelliğe sahiptir. Bu element asidinin formülü belki de tellür iyonu yarıçapının çok büyük oluşu sebebiyle  $H_2TeO_4$  yerine  $H_6TeO_6$  şeklindedir.

$H_2Te$  bileşiği tiksindirici kokulu renksiz ve zehirli bir gazdır. Su ile muamele edildiğinde, zayıf asit meydana getirir.

### MANGAN, Mn.

Mangan elementi endüstriyi celbedecek miktarda bileşikler halinde bulunur. Mangan elementi metaller arasında sekizinci sırayı almakta olup yeryüzü kabuğu volkanik kayaların % 0,1'ini teşkil etmektedir.

Manganın en önemli filizi, formülü  $MnO_2$  olan mangan dioksittir. Prolüzit adı verilen bu filiz, siyah renkli yumuşak bir mineraldir. Doğada rastlanan diğer Mangan filizleri ise; Braunit  $Mn_2O_3$ , Hausmannit  $Mn_3O_4$ , Manganit  $Mn_2O_3 \cdot H_2O$  ve Rodokrozit  $MnCO_3$  tır. Mangan filizleri de krom filizleri gibi doğada demir oksit bileşikleriyle birlikte bulunurlar.

Yüksek sıcaklıklarda manganın karbon ile reaksiyona girerek mangan karbür  $Mn_3C$  bileşiğini meydana getirme eğilimi bulunması nedeniyle, manganın oksitli



bileşiklerinin karbon ile indirgenmesinden saf mangan metali elde edilemez. Saf mangan metali elde edilmesinde yegâne ticarî metot, mangan sülfat veya mangan klorür çözeltilerinin elektrolizi yoludur.

Manganın endüstride başlıca iki önemli görevi vardır. Bunlardan birincisi ve çok önemlisi, ergimiş çelik kütlelerinde bulunan eser halindeki oksijen ve kükürt gibi yabancı maddeleri MnO ve MnS bileşikleri yaparak çelikten uzaklaştırması ve çeliğin kalitesini yükseltmesidir. İkinci vazifesi ise % 10 veya daha fazla mangan içeren çelik alaşımlarının yapılmasında kullanılmasıdır. Bu çeşit çelikler çok sert olup, sürtünme ve aşınmaya karşı çok dayanıklıdır. Özellikle demiryolu makaslarında, konkasörlerde (taş, kaya kırıcıları) ve toprak kazıcı buharlı aletlerde çok kullanılırlar.

Prolüsit'ten (MnO<sub>2</sub>), cam endüstrisinde çok istifade edilir. Ayrıca çok miktarda kuru pil yapımında kullanılır.

### DEMİR, Fe.

Doğada metaller arasında demir alüminyumdan sonra ikinci gelir. Yeryüzü volkanik kayaların % 5'ini teşkil eder. Henüz tamamı ile paslanmamış, yakın zaman meteorları hariç, yeryüzünde demir hiç bir zaman serbest halde bulunmaz. Volkanik kayalarda bulunan demir, daha ziyade pirit FeS<sub>2</sub> gibi sülfürler ve (Mg, Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> gibi ferro-silikatlar halinde bulunur. Bu cevherler endüstri için saf demir elde edilmesinde pek elverişli değildirler. Fakat bu volkanik taşlar aynı zamanda büyük ölçüde daha basit demir bileşiklerini içerirler. Bu bileşiklerden serbest demir daha kolaylıkla elde edilir. Bunlar;

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Hematit.

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. x H<sub>2</sub> O, Limonit veya kahve renkli hematit

FeCO<sub>3</sub>, Siderit, demir karbonat.

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Ferrozoferrik oksit veya magnetit

Bir çok yeryüzü kayalarının kahve veya kırmızı renkleri, ihtiva ettikleri demir oksitlerden ileri gelir. Demir, kompleks bileşikleri halinde bitkiler, hayvan metabolizması ve insan yapısında çok önemli rol oynar. Örneğin, kırmızı kan hücrelerindeki hemoglobin demir içeren kompleks bir bileşiktir.

Dökme demir, düşük erime noktasına sahip demir çeşitlerinden biridir. Bu demir kolaylıkla eritilerek kalıplara dökülebilir. Dökme demir, fond demiri ile yeterli miktarda

hurda demirin birlikte eritilmesi ile elde edilir. Bütün dökme demirler % 2'den daha fazla karbon ve bilhassa silis ve mangan olmak üzere, çeşitli yabancı maddeleri ihtiva ederler. Bu demirler gayet sert ve kırılğan olup, kaynak yapılarak ve dövülerek işlenemezler. Başlıca kullandıkları yerler büyük direnç göstermeyen kalorifer radyatörleri ve ocaklarıdır.

Yüksek fırında elde edilen demirin büyük kısmı, çelik imalatında kullanılmaktadır. Çelik, %0,1'den %1,7 mertebesine kadar karbon ve çeşitli miktarlarda diğer elementleri içeren bir demir alaşımıdır.

Demir-karbon alaşımı sertliği, karbon miktarına orantılı olarak artar. % 1,7 oranında karbon ihtiva eden bir alaşım, çeliğin en sert bir çeşididir.

### **ANTİMON, Sb.**

Antimon en fazla kurşun akümülatörlerin yapımında kullanılır. Antimon ihtiva eden kurşunun dayanıklılığı arttığından, akümülatörlerde bilhassa kurşun plakaların yapımında kullanılır. Antimonlu kurşun, aynı zamanda mermi ve kovan imalatında da kullanılır.

Alçak ergime noktaları bulunması ve ergimiş kütlelerinin donarken genişlemesi sebebi ile, kurşun-antimon alaşımı daktilo ve matbaa harflerinin yapımında kullanılır. Böyle bir alaşımın % 15 ile 30'u antimon ve geriye kalan % 85 ile % 70'i kurşundan ibarettir.

Potasyum antimonil tartarat,  $K(SbO)C_4H_4O_6$ , tıpta kusturucu ilacı olarak kullanılır [18-24].

## BÖLÜM 4 : DENEYSEL KISIM

### 4.1. Çalışmada Kullanılan Maddeler

Bu çalışmada adsorplayıcı ve adsorplanan olarak kullanılan kimyasal maddeler aşağıda verilmiştir;

<u>Madde İsmi</u>	<u>Formülü</u>	<u>Firma</u>	<u>Katalog No</u>
Aktif karbon	–	Merck	2514
Chitosan	polimerik	Sigma	3646
Agar	polimerik	Difco	–
Mangan sülfat Monohidrat	$MnSO_4 \cdot H_2O$	Merck	5959
Demir sülfat Heptahidrat	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Merck	3963
Nikel sülfat Heptahidrat	$NiSO_4 \cdot 7H_2O$	Fluka	72285
Bakır sülfat pentahidrat	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	Merck	2787

### 4.2. Aktif Karbon ile Sulu Çözeltide Bazı Ağır Metallerin Adsorpsiyonuna İlişkin Deneysel Sonuçlar

#### 4.2.1. $MnSO_4 \cdot H_2O$ Adsorpsiyonuna İlişkin Deneysel Sonuçlar

$MnSO_4 \cdot H_2O$ 'un sulu çözeltiden adsorpsiyonu için UNICAM 929 Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) kataloğunda belirlenen en hassas çalışma dalga boyu  $\lambda=280.1$  nm de çalışıldı. Bu çalışma dalga boyunda Çizelge 1 de görüldüğü gibi çeşitli  $MnSO_4 \cdot H_2O$  derişimlerine karşılık gelen absorpsiyonlar (A) belirlenerek Şekil 1 de görüldüğü gibi çalışma eğrisi elde edildi.

Sonra katının adsorpsiyon dengesine erişmesi için gerekli olan çözelti ile temas süresinin belirlenmesi amacıyla kinetik çalışma yapıldı. Bunun için adsorplayıcı olarak Merck-2514 (M-2514) ticari aktif karbon kullanıldı. Bunun yaklaşık 1 g'ı alınarak

başlangıç derişimi 200 ppm olan  $MnSO_4.H_2O$ ' un 50 mL'si ile  $30^{\circ}C$ 'a ayarlanmış bir sulu çalkalayıcı yardımıyla 140 rpm de çalkalandı. Çizelge 2 de görüldüğü gibi çeşitli zaman (t) aralıklarında çalışma eğrisinden uygun seyreltmelerle adsorplanmadan ortamda kalan denge derişimleri ( $C_d$ ) belirlendi. Sonra Şekil 2 de görüldüğü gibi zamana karşı denge derişimleri grafiğe geçirilerek denge temas süresi en az 4 gün olarak belirlendi. Ayrıca elde edilen kinetik verilerin birinci dereceden kinetik ifade (Denklem 4.1) değerlendirilmesi (Çizelge 3) ile ( $t-\ln C_d$ ) grafiği çizildi (Şekil 3) ve adsorpsiyon hız sabiti ( $k_a$ ) belirlendi (Çizelge 21).

$$C_d = C_b \cdot e^{-k_a t} \quad \dots(4.1)$$

Bu ön çalışmalardan sonra  $MnSO_4.H_2O$ 'un sulu çözeltiden adsorpsiyon izotermi için stok çözeltisinden hazırlanan farklı başlangıç derişimli ( $C_b$ ) çözeltilerin 50 mL'si ile M-2514 ticari aktif karbonunun yaklaşık 1 g'ı  $30^{\circ}C$ 'a ayarlanmış bir sulu çalkalayıcı yardımıyla 140 rpm de 5 gün süreyle çalkalandı. Bu süre sonunda adsorplayıcı  $MnSO_4.H_2O$  çözeltileri santrifüjlenip uygun seyreltmelerle seyreltildi ve  $\lambda = 280.1$  nm dalga boyunda adsorplanmadan ortamda kalan denge derişimleri belirlendi. Başlangıç derişiminden denge derişimini çıkarmakla da adsorplanan derişim ( $C_a$ ) bulundu. Bulunan  $C_a$  değeri gram karbon başına adsorplanan mg  $Mn^{2+}$  'ye çevrildi (Çizelge 4). Sonra denge derişimine karşı adsorplanan miktar grafiğe geçirilerek Şekil 4 te görüldüğü gibi adsorpsiyon izotermi çizildi. Elde edilen izotermin Freundlich izoterm tipine uyduğu görülerek, sonuçlar Freundlich çizgisel izoterm denkleminde (Denklem 1.8) değerlendirildi (Çizelge 5).  $\log C_d$ 'ye karşı  $\log C_a$  grafiği çizildi (Şekil 5) ve k ve n Freundlich sabitleri bulundu (Çizelge 22).

### **$MnSO_4.H_2O$ un Belirli Bir Derişimi İçin Örnek Hesaplama**

10.000 ppm'lik stok çözeltisinden hazırlanan 100 ppm'lik başlangıç çözeltisinin 50 mL'si ile 1 g M- 2514 ticari aktif karbon 5 gün süre ile  $30^{\circ}C$ 'a ayarlanmış bir sulu çalkalayıcı yardımıyla 140 rpm de çalkalandı. Bu süre sonunda çözelti santrifüjlenerek uygun seyreltme ile AAS'de  $\lambda = 280.1$  nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak denge derişimi ( $C_d$ ) belirlendi;

$C_b$ (ppm)	A	$C_d$ (ppm)
100	0.612	27.54

Adsorplanan derişim ise;

$$C_a = C_b - C_d \quad \dots(4.2)$$

bağıntısından,

$$C_a = 100 - 27.54$$

$$C_a = 72.46 \text{ ppm}$$

olarak hesaplandı.

#### 4.2.2. FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O Adsorpsiyona İlişkin Deneysel Sonuçlar

FeSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O'un sulu çözeltiden adsorpsiyonu için UNICAM 929 AAS katalogunda belirlenen en hassas çalışma dalga boyu  $\lambda = 248.8 \text{ nm}$  de çalışıldı. Sonra bu çalışma dalga boyunda Çizelge 6 da görüldüğü gibi çeşitli FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O derişimlerine karşılık gelen absorpsanslar (A) belirlenerek Şekil 6 da görüldüğü gibi çalışma eğrisi elde edildi.

Sonra katının adsorpsiyon dengesine erişmesi için gerekli olan çözelti ile temas süresinin belirlenmesi amacıyla kinetik çalışma yapıldı. Bunun için absorplayıcı olarak M-2514 ticari aktif karbon kullanıldı. Bunun yaklaşık 1g'ı alınarak başlangıç derişimi 200 ppm olan FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O'un 50 mL'si ile 30 °C'a ayarlanmış bir sulu çalkalayıcı yardımıyla 140 rpm de çalışıldı. Çizelge 7 de görüldüğü gibi çeşitli zaman aralıklarında çalışma eğrisinden uygun seyreltmelerle adsorplanmadan ortamda kalan denge derişimleri (C<sub>d</sub>) belirlendi. Sonra Şekil 7 de görüldüğü gibi zamana karşı denge derişimleri grafiğe geçirilerek denge temas süresi en az 2 gün olarak belirlendi. Ayrıca elde edilen kinetik verilerin birinci dereceden kinetik ifadede (Denklem 4.1) değerlendirilmesi (Çizelge 8) ile (t-lnC<sub>d</sub>) grafiği çizildi (Şekil 8) ve adsorpsiyon hız sabiti k<sub>a</sub> belirlendi (Çizelge 21).

Bu ön çalışmalardan sonra FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O'un sulu çözeltiden adsorpsiyon izotermi için stok çözeltisinden hazırlanan farklı başlangıç derişimli (C<sub>b</sub>) çözeltilerin 50mL'si ile M-2514 ticari aktif karbonunun yaklaşık 1g'ı 30°C'a ayarlanmış bir sulu çalkalayıcı yardımıyla 3 gün süreyle çalkalandı. Bu süre sonunda adsorplayıcı FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O

çözeltileri santrifüjlenip uygun seyreltmelerle seyreltildi ve  $\lambda = 248.8$  nm dalga boyunda adsorplanmadan ortamda kalan denge derişimleri belirlendi. Başlangıç derişiminden denge derişimini çıkarmakla da adsorplanan derişim ( $C_a$ ) bulundu. Bulunan  $C_a$  değeri gram karbon başına adsorplanan mg  $Fe^{2+}$ 'ye çevrildi (Çizelge 9). Sonra denge derişimine karşı adsorplanan miktar grafiğe geçirilerek Şekil 9 da görüldüğü gibi adsorpsiyon izotermi çizildi. Elde edilen izotermin Freundlich izoterm tipine uyduğu görülerek, sonuçlar Freundlich çizgisel izoterm denkleminde (Denkleml.8) değerlendirildi (Çizelge 10).  $\log C_d$ 'ye karşı  $\log C_a$  grafiği (Şekil 10) çizildi ve k ve n Freundlich sabitleri bulundu (Çizelge 22).

#### 4.2.3. $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ Adsorpsiyonuna İlişkin Deneysel Sonuçlar

$NiSO_4 \cdot 7H_2O$ 'un sulu çözeltiden adsorpsiyonu için UNICAM 929 AAS katalogunda belirlenen en hassas çalışma dalga boyu  $\lambda = 234.6$  nm de çalışıldı. Sonra bu çalışma dalga boyunda Çizelge 11 de görüldüğü gibi çeşitli  $NiSO_4 \cdot 7H_2O$  derişimlerine karşılık gelen absorbanlar (A) belirlenerek Şekil 11 de görüldüğü gibi çalışma eğrisi elde edildi.

Sonra katının adsorpsiyon dengesine erişmesi için gerekli olan çözelti ile temas süresinin belirlenmesi amacıyla kinetik çalışma yapıldı. Bunun için adsorplayıcı olarak M-2514 ticari aktif karbon kullanıldı. Bunun yaklaşık 1g'ı alınarak başlangıç derişimi 200 ppm olan  $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ 'un 50mL'si ile  $30^0C$ 'a ayarlanmış bir sulu çalkalayıcı yardımıyla 140 rpm de çalkalandı. Çizelge12 de görüldüğü gibi çeşitli zaman aralıklarında çalışma eğrisinden uygun seyreltmelerle adsorplanmadan ortamda kalan denge derişimleri ( $C_d$ ) belirlendi. Sonra Şekil 12 de görüldüğü gibi zamana karşı denge derişimleri grafiğe geçirilerek denge temas süresi en az 2 gün olarak belirlendi. Ayrıca elde edilen kinetik verilerin birinci dereceden kinetik ifadede (Denkleml. 4.1) değerlendirilmesi (Çizelge 13) ile  $(t-\ln C_d)$  grafiği çizildi (Şekil 13) ve adsorpsiyon hız sabiti ( $k_a$ ) belirlendi (Çizelge 21).

Bu ön işlemlerden sonra  $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ 'un sulu çözeltiden adsorpsiyon izotermi için stok çözeltisinden hazırlanan farklı başlangıç derişimli ( $C_b$ ) çözeltilerin 50 mL'si ile M-2514 ticari aktif karbonunun yaklaşık 1 g'ı  $30^0C$ 'a ayarlanmış bir sulu çalkalayıcı yardımıyla 140 rpm de 3 gün süreyle çalkalandı. Bu süre sonunda adsorplayıcı  $NiSO_4 \cdot 7H_2O$  çözeltileri santrifüjlenip uygun seyreltmelerle seyreltildi ve  $\lambda=234.6$  nm



dalga boyunda adsorplanmadan ortamda kalan denge derişimleri belirlendi. Başlangıç derişiminden denge derişimini çıkarmakla da adsorplanan derişim ( $C_a$ ) bulundu. Bulunan  $C_a$  değeri gram karbon başına adsorplanan mg Ni  $^{2+}$ ’ye çevrildi (Çizelge 14). Sonra denge derişimine karşı adsorplanan miktar grafiğe geçirilerek Şekil 14 te görüldüğü gibi adsorpsiyon izotermi çizildi. Elde edilen izotermin Freundlich izoterm tipine uyduğu görülerek, sonuçlar Freundlich çizgisel izoterm denkleminde (Denklem 1.8) değerlendirildi (Çizelge 15).  $\log C_d$ ’ye karşı  $\log C_a$  grafiği çizildi (Şekil 15) ve k ve n Freundlich sabitleri bulundu (Çizelge 22).

#### 4.2.4. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Adsorpsiyonuna İlişkin Deneysel Sonuçlar

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ’un sulu çözeltiden adsorpsiyonu için UNICAM 929 AAS kataloğunda belirlenen en hassas çalışma dalga boyu  $\lambda = 327.4$  nm de çalışıldı. Sonra bu çalışma dalga boyunda Çizelge 16 da görüldüğü gibi çeşitli  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  derişimlerine karşılık gelen absorbanslar (A) belirlenerek Şekil 16 da görüldüğü gibi çalışma eğrisi elde edildi.

Sonra katının adsorpsiyon dengesine erişmesi için gerekli olan çözelti ile temas süresinin belirlenmesi amacıyla kinetik çalışma yapıldı. Bunun için adsorplayıcı olarak M-2514 ticari aktif karbon kullanıldı. Bunun yaklaşık 1 g’ı alınarak başlangıç derişimi 200 ppm olan  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ’un 50 mL’si ile 30  $^{\circ}\text{C}$ ’a ayarlanmış bir sulu çalkalayıcı yardımıyla 140 rpm de çalkalandı. Çizelge 17 de görüldüğü gibi çeşitli zaman aralıklarında çalışma eğrisinden uygun seyreltmelerle adsorplanmadan ortamda kalan denge derişimleri ( $C_d$ ) belirlendi. Sonra Şekil 17 de görüldüğü gibi zamana karşı denge derişimleri grafiğe geçirilerek denge temas süresi en az 1.5 gün olarak belirlendi. Ayrıca elde edilen kinetik verilerin birinci dereceden kinetik ifadede (Denklem 4.1) değerlendirilmesi (Çizelge 18) ile ( $t - \ln C_d$ ) grafiği çizildi (Şekil 18) ve adsorpsiyon hız sabiti ( $k_a$ ) belirlendi (Çizelge 21).

Bu ön çalışmalardan sonra  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ’un sulu çözeltiden adsorpsiyon izotermi için stok çözeltisinden hazırlanan farklı başlangıç derişimli ( $C_b$ ) çözeltilerin 50 mL’si ile M-2514 ticari aktif karbonunun yaklaşık 1 g’ı 30 $^{\circ}\text{C}$ ’a ayarlanmış bir sulu çalkalayıcı yardımıyla 140 rpm de 2.5 gün süreyle çalkalandı. Bu süre sonunda adsorplayıcı  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  çözeltileri santrifüjlenip uygun seyreltmelerle seyreltildi ve  $\lambda = 327.4$  nm dalga boyunda adsorplanmadan ortamda kalan denge derişimleri belirlendi. Başlangıç



derişiminden denge derişimini çıkarmakla da adsorplanan derişim ( $C_a$ ) bulundu. Bulunan  $C_a$  değeri gram karbon başına adsorplanan mg  $Cu^{2+}$ ’ye çevrildi (Çizelge 19). Sonra denge derişimine karşı adsorplanan miktar grafiğe geçirilerek Şekil 19 da görüldüğü gibi adsorpsiyon izotermi çizildi. Elde edilen izotermin Freundlich izoterm tipine uyduğu görüldükten sonra sonuçlar Freundlich çizgisel izoterm denkleminde (Denklem 1.8) değerlendirildi (Çizelge 20).  $\log C_d$ ’ye karşı  $\log C_a$  grafiği çizildi (Şekil 20) ve  $k$  ve  $n$  Freundlich sabitleri bulundu (Çizelge 22).

### 4.3. Aktif Karbon, Chitosan ve Agar İle Sulu Çözeltiden Bazı Ağır Metallere İlişkin Yüzde Uzaklaştırılma Deney Sonuçları

#### 4.3.1. $MnSO_4 \cdot H_2O$ Yüzde Uzaklaştırılmasına İlişkin Sonuçlar

200 ppm’lik 50 mL  $MnSO_4 \cdot H_2O$ ’un sulu çözeltisi sırasıyla aktif karbon, chitosan ve agarın yaklaşık 1’er gramları ile 24 saat süresince  $30^{\circ}C$ ’a ayarlanmış bir sulu çalkalayıcı yardımıyla 140 rpm de ayrı ayrı çalkalandı. Sonra belirli miktar adsorplayıcı çözeltiden alınıp santrifüjlenerek çözeltinin berrak kısmı uygun seyreltmelerle UNICAM 929 AAS kataloğında belirlenen en hassas çalışma dalga boyu  $\lambda = 280.1$  nm de analiz edildi. Sonuçlar Şekil 1 deki kalibrasyon eğrisinde değerlendirilerek denge derişimleri ( $C_d$ ) ve hesapla adsorplanan derişimler ( $C_a$ ) elde edildi. Sonra denge derişimleri ve adsorplanan derişimlerden yararlanarak yüzde uzaklaştırılma (% U);

$$\%U = \frac{C_b - C_d}{C_b} \cdot 100 \quad \dots(4.3)$$

bağıntısından hesaplandı (Çizelge 23).

#### Sulu Çözeltiden Aktif Karbonla $Mn^{2+}$ Yüzde Uzaklaştırılmasına İlişkin Örnek Hesaplama

$C_b$ (ppm)	A	$C_d$ (ppm)
200	0.042	192.654

verilerinden yararlanarak 4.3 bağıntısından,

$$\% U = \frac{C_b - C_d}{C_b} \times 100$$

$$\% U = \frac{200 - 192.654}{200} \times 100$$

$$\% U = 3.673$$

olarak hesaplandı.

#### 4.3.2. FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O Yüzde Uzaklaştırılmasına İlişkin Sonuçlar

200 ppm'lik 50 mL FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O'un sulu çözeltisi sırasıyla aktif karbon, chitosan ve agarın 1'er gramları ile 24 saat süresince 30<sup>0</sup>C'a ayarlanmış bir sulu çalkalayıcı yardımıyla 140 rpm de ayrı ayrı çalkalandı. Sonra belirli miktar adsorplayıcı çözeltiden alınıp santrifüjlenerek çözeltinin berrak kısmı uygun seyreltmelerle UNICAM 929 AAS kataloğunda belirlenen en hassas çalışma dalga boyu  $\lambda = 248.8$  nm de analiz edildi. Sonuçlar Şekil 6 daki kalibrasyon eğrisinden değerlendirilerek denge derişimleri (C<sub>d</sub>) ve hesapla adsorplanan derişimler (C<sub>a</sub>) elde edildi. Sonra denge derişimleri ve adsorplanan derişimlerden yararlanarak yüzde uzaklaştırılma (%U) 4.3 bağıntısından hesaplandı (Çizelge 24).

#### 4.3.3. NiSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O Yüzde Uzaklaştırılmasına İlişkin Sonuçlar

200 ppm'lik 50 mL NiSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O'un sulu çözeltisi sırasıyla aktif karbon, chitosan ve agarın 1'er gramları ile 24 saat süresince 30<sup>0</sup>C'a ayarlanmış bir sulu çalkalayıcı yardımıyla 140 rpm de ayrı ayrı çalkalandı. Sonra belirli miktar adsorplayıcı çözeltiden alınıp santrifüjlenerek çözeltinin berrak kısmı uygun seyreltmelerle UNICAM 929 AAS kataloğunda belirlenen en hassas çalışma dalga boyu  $\lambda = 234.6$  nm de analiz edildi. Sonuçlar Şekil 11 deki kalibrasyon eğrisinde değerlendirilerek denge derişimleri (C<sub>d</sub>) ve hesapla adsorplanan derişimler (C<sub>a</sub>) elde edildi. Sonra denge derişimleri ve adsorplanan derişimlerden yararlanarak yüzde uzaklaştırılma (%U) 4.3 bağıntısından hesaplandı (Çizelge 25).

#### 4.3.4. CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O Yüzde Uzaklaştırılmasına İlişkin Sonuçlar

200 ppm'lik 50 mL Cu SO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O'un sulu çözeltisi sırasıyla aktif karbon, chitosan ve agarın 1'er gramı ile 24 saat süresince 30<sup>0</sup>C'a ayarlanmış bir sulu çalkalayıcı yardımıyla 140 rpm de ayrı ayrı çalkalandı. Sonra belirli miktar adsorplayıcı çözeltiden alınıp santrifüjlenerek çözeltinin berrak kısmı uygun seyreltmelerle UNICAM 929 AAS kataloğunda belirlenen en hassas çalışma dalga boyu  $\lambda=327.4$  nm de analiz edildi. Sonuçlar Şekil 16 daki kalibrasyon eğrisinde değerlendirilerek denge derişimleri (C<sub>d</sub>) ve hesapla adsorplanan derişimler (C<sub>a</sub>) elde edildi. Sonra denge derişimleri ve adsorplanan derişimlerden yararlanarak yüzde uzaklaştırılma (%U) 4.3 bağıntısından hesaplandı (Çizelge 26).

## BÖLÜM 5: SONUÇ VE TARTIŞMA

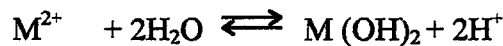
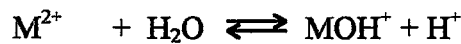
Çizelge 2, Çizelge 7, Çizelge 12 ve Çizelge 17 M-2514 ticari aktif karbon ile sulu çözeltilerden sırasıyla Mn, Fe, Ni ve Cu'a ilişkin çeşitli zamanlardaki denge derişimlerini ve adsorplanan derişimleri içermektedir. Bu çizelgelerdeki deneysel verilerin birinci dereceden kinetik ifadede (Denklem 4.1) değerlendirilmesi ile elde edilen verilerden Çizelge 3, Çizelge 8, Çizelge 13 ve Çizelge 18 deki veriler elde edildi. Bu verilerden yararlanarak Şekil 3, Şekil 8, Şekil 13 ve Şekil 18 deki grafikler çizildi ve bunların birinci dereceden kinetik ifadeye uydukları görüldü. Bundan yararlanarak adsorpsiyon hız sabitleri ( $k_a$ ) belirlendi (Çizelge 21).

Adsorpsiyon hız sabitinin ( $k_a$ ) büyük olması adsorplananın adsorplayıcı tarafından daha hızlı adsorplandığını gösterir. Adsorplanan olarak kullandığımız ağır metaller adsorpsiyon hız sabitlerine göre  $Mn^{2+} < Fe^{2+} < Ni^{2+} < Cu^{2+}$  sırasında değişmektedir. Şekil 2, Şekil 7, Şekil 12 ve Şekil 17 deki kinetik eğrilere baktığımız zaman yukarıdaki sıralamayı denge temas süreleri de doğrulamaktadır. Bu sonuç, büyük olasılıkla kullandığımız metallerin hidroliz sabitlerinin (Çizelge 5.1) farklılığından kaynaklanmaktadır. Çizelge 5.1

**Çizelge 5.1** Bazı ağır metal iyonlarının hidroliz sabitleri ve iyonik yarıçapları

Ağır metal iyonları	$Mn^{2+}$	$Fe^{2+}$	$Ni^{2+}$	$Cu^{2+}$
$pK_h$	10.7	10.1	9.40	7.53
İyonik yarıçap (pm)	80	76	72	70

deki hidroliz sabiti değerlerinden,  $Cu^{2+} > Ni^{2+} > Fe^{2+} > Mn^{2+}$  sırasında daha fazla aşağıda belirtilen hidroliz reaksiyon dengesi, yani ilk aşamada  $MOH^+$  oluşmakta ve aktif karbon üzerindeki negatif gruplarla kısa sürede etkileşerek adsorpsiyon olayı hızlı bir şekilde tamamlanmaktadır.



Bu çalışmada ağır metallerin adsorplanabilme sırasının hız sabiti ve hidroliz sabiti dışında bunların iyonik yarıçapına da bağlı olduğu görüldü. İyonik yarıçap azaldığı zaman ağır metalin daha fazla adsorlandığını görüyoruz. Kullandığımız ağır metallerin iyonik yarı çapları  $Mn^{2+} > Fe^{2+} > Ni^{2+} > Cu^{2+}$  sırasında değişmektedir (Çizelge 5.1). Bu çalışmada kullandığımız aktif karbonun daha önce yapılan bir çalışmada [3] mikrogözenekli bir adsorplayıcı olduğu belirlenmiştir. İyonik yarıçap küçüldüğü zaman ağır metalin bu gözeneklere girmesi kolaylaşır. Yukarıdaki sıralamaya göre  $Mn^{2+}$ 'nin en az  $Cu^{2+}$ 'nin ise en fazla adsorplanması gerekir. Bu da deneysel sonuçlarımızla uyuşmaktadır.

Ayrıca adsorplanan olarak kullandığımız ağır metallerin kompleks kararlılıklarına sırası olan Irving-Williams serisi  $Mn < Fe < Ni < Cu$  olarak verilmektedir [25]. Bu sıralamaya göre  $Mn^{2+}$ 'nin en az ve  $Cu^{2+}$ 'nin ise en fazla adsorplanması gerekir. Çünkü kompleksi kararlı olan ağır metal adsorplayıcı üzerinde daha çok kararlı kompleks halinde bulunacaktır ve bu da söz konusu ağır metalin daha fazla adsorplanmasına neden olacaktır. Deneysel sonuçlarımız bununla da uyuşmaktadır.

Şekil 4, Şekil 9, Şekil 14 ve Şekil 19 M-2514 ticari aktif karbon üzerinde sulu çözeltiden Mn, Fe, Ni ve Cu'a ilişkin adsorpsiyon izotermelerini göstermektedir. Bu izotermilerin Freundlich adsorpsiyon izotermine uydukları görüldü. Bu uygunluk sırasıyla Şekil 5, Şekil 10, Şekil 15 ve Şekil 20 deki Freundlich çizgisel adsorpsiyon izotermelerinde de görülmektedir. Bu şekillerdeki Freundlich çizgisel adsorpsiyon izotermelerinin kayma ve eğimlerinden sırasıyla adsorplayıcıya ve adsorplanana özgü olan k ve n sabitleri belirlendi (Çizelge 22). k-sabiti adsorplayıcının adsorplama yeteneği ile n-sabiti ise adsorplananın adsorplanma eğilimi ile orantılı olan büyüklüklerdir. Çizelge 22 de görüldüğü gibi adsorplanan ağır metallerin n sabitleri  $Cu^{2+} > Ni^{2+} > Fe^{2+} > Mn^{2+}$  sırasında değişmektedir. Elde edilen n sabitlerinin de Irving-Williams serisine uydukları görüldü. Çünkü oluşturduğu kararlı kompleks ağır metalin adsorplanabilme yeteneğini artırıp n sabitinin yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu da deneysel sonuçlarımızla uyuşmaktadır. Bu sonuçlara göre aktif karbon üzerinde  $Cu^{2+}$ 'nin adsorplanabilme yeteneği en fazla ve  $Mn^{2+}$ 'nin ise en azdır.

Çizelge 23, Çizelge 24, Çizelge 25, Çizelge 26 ve Çizelge 27 ise aktif karbon, chitosan ve agar ile sulu çözeltiden sırasıyla Mn, Fe, Ni ve Cu'a ilişkin % uzaklaştırılma deneysel verilerini içermektedir. Bu çizelgelerdeki verilerden manganın adsorplayıcılar

tarafından adsorplanabilme sırası agar>aktif karbon>chitosan sırasında, demirin chitosan>aktif karbon>agar sırasında, nikelin chitosan>aktif karbon>agar sırasında ve bakırın ise chitosan>aktif karbon>agar sırasında değişmektedir.

Adsorplayıcıların seçicilik özelliklerinden dolayı genel olarak aynı büyüklük sırasında adsorplananları adsorpladıklarını söyleyebiliriz. Örneğin yukarıda görüldüğü gibi Mn hem aktif karbon ve hem de chitosan tarafından diğer ağır metallere nazaran daha az adsorplandığı halde agar tarafından seçici olarak diğer ağır metallere nazaran daha fazla adsorplanmaktadır. Aynı bir adsorplayıcı için metallerin adsorplanabilme sırası ise aktif karbon için  $Cu^{2+}>Ni^{2+}>Fe^{2+}>Mn^{2+}$  sırasında, chitosan için  $Cu^{2+}>Ni^{2+}>Fe^{2+}>Mn^{2+}$  sırasında ve agar için ise  $Mn^{2+}>Cu^{2+}>Ni^{2+}>Fe^{2+}$  sırasında değişmektedir.

Sonuç olarak koşulları değiştirmeksizin sulu çözeltilerden ağır metalleri adsorpsiyon yoluyla uzaklaştırmak için adsorplayıcılar açısından optimum koşulların tayininde adsorplayıcıların farklı yüzey özelliklerinden dolayı değişik adsorplayıcıların denenmesi gerektiğini söyleyebiliriz. Çünkü bir adsorplanan için iyi bir adsorplayıcı olan bir madde diğer bir adsorplanan için iyi bir adsorplayıcı olmayabilir.

**ÇİZELGE LİSTESİ**

- Çizelge 1.**  $MnSO_4 \cdot H_2O$ 'ün çalışma eğrisine ilişkin veriler.
- Çizelge 2.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Mn^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin kinetik veriler
- Çizelge 3.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Mn^{2+}$  adsorpsiyonunda kinetik verilerin birinci dereceden tepkime kinetiğinde değerlendirilmesi.
- Çizelge 4.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Mn^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin sonuçlar.
- Çizelge 5.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Mn^{2+}$  adsorpsiyon verilerinin Freundlich çizgisel denkleminde değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar.
- Çizelge 6.**  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 'un çalışma eğrisine ilişkin veriler.
- Çizelge 7.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Fe^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin kinetik veriler.
- Çizelge 8.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Fe^{2+}$  adsorpsiyonunda kinetik verilerin birinci dereceden tepkime kinetiğinde değerlendirilmesi.
- Çizelge 9.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Fe^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin sonuçlar.
- Çizelge10.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Fe^{2+}$  adsorpsiyon verilerinin Freundlich çizgisel denkleminde değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar.
- Çizelge 11.**  $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ 'un çalışma eğrisine ilişkin veriler.
- Çizelge 12.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Ni^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin kinetik veriler.
- Çizelge 13.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Ni^{2+}$  adsorpsiyonunda kinetik verilerin birinci dereceden tepkime kinetiğinde değerlendirilmesi.
- Çizelge 14.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Ni^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin sonuçlar.
- Çizelge 15.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Ni^{2+}$  adsorpsiyon verilerinin Freundlich çizgisel denkleminde değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar.
- Çizelge 16.**  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 'un çalışma eğrisine ilişkin veriler.
- Çizelge 17.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Cu^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin kinetik veriler.
- Çizelge 18.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Cu^{2+}$  adsorpsiyonunda kinetik verilerin birinci dereceden tepkime kinetiğinde değerlendirilmesi.



- Çizelge 19.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Cu}^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin sonuçlar.
- Çizelge 20.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Cu}^{2+}$  adsorpsiyon verilerinin Freundlich çizgisel denkleminde değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar.
- Çizelge 21.** Kaktif karbonla sulu çözeltiden  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  ve  $\text{Cu}^{2+}$  'ye ilişkin adsorpsiyon hız sabitleri.
- Çizelge 22.** Aktif karbonla sulu çözeltiden  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  ve  $\text{Cu}^{2+}$  'ye ilişkin Freundlich sabitleri.
- Çizelge 23.** Aktif karbon, chitosan ve agar ile sulu çözeltiden  $\text{Mn}^{2+}$  yüzde uzaklaştırılmasına ilişkin sonuçlar.
- Çizelge 24.** Aktif karbon, chitosan ve agar ile sulu çözeltiden  $\text{Fe}^{2+}$  yüzde uzaklaştırılmasına ilişkin sonuçlar.
- Çizelge 25.** Aktif karbon, chitosan ve agar ile sulu çözeltiden  $\text{Ni}^{2+}$  yüzde uzaklaştırılmasına ilişkin sonuçlar.
- Çizelge 26.** Aktif karbon, chitosan ve agar ile sulu çözeltiden  $\text{Cu}^{2+}$  yüzde uzaklaştırılmasına ilişkin sonuçlar.
- Çizelge 27.** Aktif karbon, chitosan ve agar ile sulu çözeltiden  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  ve  $\text{Cu}^{2+}$ 'ye ilişkin yüzde uzaklaştırılma (%U) sonuçları.

### ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 1.**  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 'ya ilişkin çalışma eğrisi.
- Şekil 2.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Mn}^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin kinetik eğri
- Şekil 3.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Mn}^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin birinci dereceden kinetik eğri.
- Şekil 4.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Mn}^{2+}$ 'ye ilişkin adsorpsiyon izotermi.
- Şekil 5.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Mn}^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich çizgisel izotermi.
- Şekil 6.**  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 'ya ilişkin çalışma eğrisi .
- Şekil 7.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Fe}^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin kinetik eğri.
- Şekil 8.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Fe}^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin birinci dereceden kinetik eğri.

- Şekil 9.** M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Fe^{2+}$ 'ye ilişkin adsorpsiyon izoterminin grafiği.
- Şekil 10.** M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Fe^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich çizgisel izoterminin grafiği.
- Şekil 11.**  $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ 'ya ilişkin çalışma eğrisinin grafiği.
- Şekil 12.** M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Ni^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin kinetik eğrinin grafiği.
- Şekil 13.** M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Ni^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin birinci dereceden kinetik eğrinin grafiği.
- Şekil 14.** M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Ni^{2+}$ 'ye ilişkin adsorpsiyon izoterminin grafiği.
- Şekil 15.** M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Ni^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich çizgisel izoterminin grafiği.
- Şekil 16.**  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 'ya ilişkin çalışma eğrisinin grafiği.
- Şekil 17.** M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Cu^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin kinetik eğrinin grafiği.
- Şekil 18.** M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Cu^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin birinci dereceden kinetik eğrinin grafiği.
- Şekil 19.** M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Cu^{2+}$ 'ye ilişkin adsorpsiyon izoterminin grafiği.
- Şekil 20.** M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Cu^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich çizgisel izoterminin grafiği.

**Çizelge 1.**  $MnSO_4 \cdot H_2O$ 'un çalışma eğrisine ilişkin veriler.

A	C (ppm)
0.000	0.000
0.179	10.00
0.346	20.00
0.516	30.00
0.679	40.00
0.831	50.00

**Çizelge 2.** M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Mn^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin kinetik veriler.

t (saat)	m (g)	A	$C_d/100$ (ppm)	$C_d$ (ppm)	$C_a$ (ppm)	$C_a$ ( $mg\ g^{-1}$ )
3	1.0060	0.043	1.990	198.979	1.021	0.051
6	1.0027	0.043	1.986	198.641	1.359	0.068
12	1.0028	0.042	1.960	195.958	4.042	0.202
24	1.0010	0.042	1.927	192.654	7.346	0.367
48	1.0040	0.040	1.843	184.325	15.675	0.781
72	1.0013	0.039	1.770	176.956	23.044	1.151
96	1.0015	0.038	1.699	169.881	30.119	1.504
120	1.0005	0.037	1.623	162.260	37.740	1.886
144	1.0017	0.036	1.566	159.400	43.430	2.168

**Çizelge 3.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Mn^{2+}$  adsorpsiyonunda kinetik verilerin birinci dereceden tepkime kinetiğinde değerlendirilmesi.

t (saat)	$C_d$ (ppm)	$\ln C_d$ (ppm)
3	198.979	5.293
6	198.641	5.291
12	195.958	5.278
24	192.654	5.261
48	184.325	5.217
72	176.956	5.176
96	169.881	5.135
120	162.260	5.089
144	156.570	5.054

**Çizelge 4.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Mn^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin sonuçlar.

$C_o$	m (g)	A	$C_d$ (ppm)	$C_a$ (ppm)	$C_a$ ( $mg \cdot g^{-1}$ )
20 ppm	1,0030	0,232	13,12	6,88	0,343
30 ppm	1,0040	0,347	19,88	10,12	0,504
40 ppm	1,0010	0,458	26,43	13,57	0,678
50 ppm	1,0005	0,569	32,95	17,05	0,852
70 ppm	1,0024	0,822	47,82	22,18	1,106
100 ppm	1,0002	0,613	71,00	29,00	1,450
140 ppm	1,0010	0,848	98,76	41,24	2,060
190 ppm	1,0043	0,819	142,89	47,11	2,345
250 ppm	1,0032	0,831	193,40	56,60	2,821
400 ppm	1,0026	0,929	324,78	75,22	3,751

**Çizelge 5.** M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Mn^{2+}$  adsorpsiyon verilerinin Freundlich çizgisel denkleminde değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar.

$\log C_d$ (ppm)	$\log C_a$ ( $mg \cdot g^{-1}$ )
1,118	-0,465
1,298	-0,298
1,422	-0,169
1,518	-0,070
1,680	0,044
1,851	0,161
1,995	0,314
2,155	0,370
2,286	0,450
2,512	0,574

**Çizelge 6.**  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 'un çalışma eğrisine ilişkin veriler.

A	C (ppm)
0.003	0.000
0.019	10.00
0.062	30.00
0.099	50.00
0.132	70.00
0.170	90.00

**Çizelge 7.** M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Fe^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin kinetik veriler.

t (saat)	m (g)	A	$C_d/25$ (ppm)	$C_a$ (ppm)	$C_a$ (ppm)	$C_a$ (mg g <sup>-1</sup> )
3	1.0080	0.018	7.500	187.500	12.500	0.620
6	1.0013	0.017	7.030	175.795	24.250	1.211
12	1.0010	0.015	6.181	154.516	45.480	2.272
24	1.0002	0.013	4.775	119.379	80.621	4.030
40	1.0000	0.010	3.385	84.631	115.369	5.768
48	1.0030	0.009	2.850	71.257	128.743	6.418
72	1.0005	0.006	1.701	42.534	157.466	7.869
96	1.0009	0.005	1.016	25.389	174.611	8.723
120	1.0003	0.004	0.606	15.155	184.845	9.239
144	1.0011	0.004	0.420	10.501	189.499	9.465

**Çizelge 8.** M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Fe^{2+}$  adsorpsiyonunda kinetik verilerin birinci dereceden tepkime kinetiğinde değerlendirilmesi.

t (saat)	$C_d$ (ppm)	$\ln C_d$ (ppm)
3	187.500	5.234
6	175.795	5.169
12	154.516	5.040
24	119.379	4.782
40	84.631	4.438
48	71.257	4.266
72	42.534	3.750
96	25.389	3.234
120	15.155	2.718
144	10.501	2.351

**Çizelge 9.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden Fe<sup>2+</sup> adsorpsiyonuna ilişkin sonuçlar.

C <sub>o</sub>	m (g)	A	C <sub>d</sub> (ppm)	C <sub>a</sub> (ppm)	C <sub>a</sub> (mg.g <sup>-1</sup> )
50 ppm	1.0029	0.011	4.374	45.626	2.275
60 ppm	1.0013	0.013	5.125	54.875	2.740
70 ppm	1.0020	0.015	6.520	63.480	3.168
100 ppm	1.0034	0.018	8.183	91.817	4.575
130 ppm	1.0025	0.021	9.686	120.31	6.001
170 ppm	1.0017	0.023	15.60	154.40	7.707
220 ppm	1.0020	0.026	24.42	195.58	9.760
300 ppm	1.0007	0.027	37.92	262.08	13.095
400 ppm	1.0012	0.035	69.00	331.00	16.530

**Çizelge 10.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden Fe<sup>2+</sup> adsorpsiyon verilerinin Freundlich çizgisel denkleminde değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar.

log C <sub>d</sub> (ppm)	log C <sub>a</sub> (mg.g <sup>-1</sup> )
0.641	0.357
0.710	0.438
0.814	0.501
0.913	0.660
0.986	0.778
1.193	0.887
1.388	0.989
1.579	1.117
1.839	1.218



**Çizelge 11.** NiSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O'un çalışma eğrisine ilişkin veriler.

A	C (ppm)
-0.000	0.000
0.059	20.00
0.120	40.00
0.172	60.00
0.220	80.00
0.265	100.0

**Çizelge 12.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden Ni<sup>2+</sup> adsorpsiyonuna ilişkin kinetik veriler

t (saat)	m (g)	A	C <sub>d</sub> /50 (ppm)	C <sub>d</sub> (ppm)	C <sub>a</sub> (ppm)	C <sub>a</sub> (mg g <sup>-1</sup> )
3	1.0050	0.017	3.643	182.126	17.874	0.889
6	1.0012	0.016	3.317	165.853	34.147	1.705
12	1.0034	0.014	2.831	141.538	58.462	2.913
24	1.0022	0.011	1.812	90.585	109.415	5.459
48	1.0070	0.009	0.895	44.732	155.268	7.709
72	1.0001	0.007	0.423	21.156	178.844	8.941
96	1.0016	0.007	0.240	12.005	187.995	9.385
120	1.0020	0.006	0.089	4.446	195.554	9.758
144	1.0010	0.006	0.048	2.382	197.618	9.871

**Çizelge 13.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Ni^{2+}$  adsorpsiyonunda kinetik verilerin birinci dereceden tepkime kinetiğinde değerlendirilmesi.

t (saat)	$C_d$ (ppm)	$lnC_d$ (ppm)
3	182.126	5.205
6	165.853	5.111
12	141.538	4.953
24	90.585	4.506
48	44.732	3.801
72	21.156	3.052
96	12.005	2.485
120	4.446	1.492
144	2.382	0.868

**Çizelge 14.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $Ni^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin sonuçlar.

$C_o$	m (g)	A	$C_d$ (ppm)	$C_a$ (ppm)	$C_a$ ( $mg.g^{-1}$ )
70 ppm	1.0034	0.085	26.21	43.79	2.182
80 ppm	1.0004	0.107	33.76	46.24	2.311
90 ppm	1.0022	0.121	38.42	51.58	2.573
100 ppm	1.0004	0.133	42.48	57.52	2.875
120 ppm	1.0012	0.172	55.44	64.56	3.224
150 ppm	1.0029	0.231	74.91	75.09	3.744
190 ppm	1.0034	0.162	103.74	86.26	4.298
240 ppm	1.0029	0.216	139.90	100.10	4.991
305 ppm	1.0032	0.201	194.97	110.03	5.484
400 ppm	1.0004	0.216	280.52	119.48	5.972

**Çizelge 15.** M-2514 üzerinde sulu çözüldüden Ni<sup>2+</sup> adsorpsiyon verilerinin Freundlich çizgisel denkleminde değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar.

log C <sub>d</sub> (ppm)	log C <sub>a</sub> (mg.g <sup>-1</sup> )
1.418	0.339
1.528	0.364
1.585	0.410
1.628	0.459
1.744	0.508
1.875	0.573
2.016	0.633
2.146	0.698
2.290	0.739
2.448	0.776

**Çizelge 16.** CuSO.5H<sub>2</sub>O'un çalışma eğrisine ilişkin veriler.

A	C (ppm)
-0.000	0.000
0.079	10.00
0.157	20.00
0.233	30.00
0.321	40.00
0.394	50.00

**Çizelge 17.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Cu}^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin kinetik veriler.

t (saat)	m (g)	A	$C_d/50$ (ppm)	$C_d$ (ppm)	$C_a$ (ppm)	$C_a$ ( $\text{mg.g}^{-1}$ )
3	1.0010	0.027	3.395	169.745	30.255	1.511
6	1.0020	0.025	3.128	156.382	43.618	2.177
12	1.0017	0.020	2.446	122.278	73.722	3.880
24	1.0022	0.011	1.435	71.758	128.242	6.398
48	1.0060	0.004	0.559	27.947	172.053	8.551
72	1.0015	0.002	0.218	10.884	189.116	9.442
96	1.0000	0.002	0.209	10.447	189.553	9.478
120	1.0001	0.000	0.029	1.460	198.540	9.926

**Çizelge 18:** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Cu}^{2+}$  adsorpsiyonunda kinetik verilerin birinci dereceden tepkime kinetiğinde değerlendirilmesi.

t (saat)	$C_d$ (ppm)	$\ln C_d$ (ppm)
3	169.745	5.134
6	156.382	5.052
12	122.278	4.806
24	71.758	4.273
48	25.947	3.330
72	10.884	2.387
96	10.447	2.346
120	1.460	0.378

**Çizelge 19.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Cu}^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin sonuçlar.

$C_o$	m (g)	A	$C_d$ (ppm)	$C_a$ (ppm)	$C_a$ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )
50 ppm	1.0013	0.008	0.978	49.022	2.448
60 ppm	1.0018	0.016	2.050	57.950	2.892
70 ppm	1.0030	0.030	3.716	66.284	3.304
80 ppm	1.0018	0.017	2.088	77.912	3.889
100 ppm	1.0022	0.036	8.972	91.028	4.541
130 ppm	1.0006	0.030	7.610	122.39	6.116
170 ppm	1.0013	0.054	20.08	149.92	7.486
220 ppm	1.0033	0.058	28.95	191.05	9.521
280 ppm	1.0010	0.073	45.48	234.52	11.714
400 ppm	1.0020	0.136	118.86	281.14	14.029

**Çizelge 20.** M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Cu}^{2+}$  adsorpsiyon verilerinin Freundlich çizgisel denkleminde değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar.

$\log C_d$ (ppm)	$\log C_a$ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )
-0.010	0.389
0.312	0.461
0.570	0.519
0.320	0.590
0.953	0.657
0.881	0.786
1.303	0.874
1.462	0.979
1.658	1.069
2.075	1.147

**Çizelge 21.** Aktif karbonla sulu çözümlerden  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  ve  $Cu^{2+}$ ye ilişkin adsorpsiyon hız sabitleri.

Adsorplanan	$k_a$ ( $s^{-1}$ )
$Mn^{2+}$	0.0017
$Fe^{2+}$	0.0209
$Ni^{2+}$	0.0308
$Cu^{2+}$	0.0395

**Çizelge 22.** Aktif karbonla sulu çözümlerden  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  ve  $Cu^{2+}$ ye ilişkin Freundlich sabitleri.

Adsorplanan	k	n
$Mn^{2+}$	0.0574	1.3393
$Fe^{2+}$	0.9052	1.3934
$Ni^{2+}$	0.5256	2.2573
$Cu^{2+}$	2.3940	2.5786

**Çizelge 23.** Aktif karbon, chitosan ve agar ile sulu çözümlerden  $Mn^{2+}$  yüzde uzaklaştırılmasına ilişkin sonuçlar.

Adsorplayıcı	$C_d$ (ppm)	$C_a$ (ppm)	U (%)
Aktif Karbon	192.700	1.300	3.65
Chitosan	192.720	7.280	3.64
Agar	98.840	101.160	50.53

**Çizelge 24.** Aktif karbon, chitosan ve agar ile sulu Çözeltiden  $Fe^{2+}$  yüzde uzaklaştırılmasına ilişkin sonuçlar.

Adsorplayıcı	$C_d$ (ppm)	$C_a$ (ppm)	U (%)
Aktif Karbon	119.375	80.625	40.30
Chitosan	38.800	161.200	80.60
Agar	120.975	79.025	39.48

**Çizelge 25.** Aktif karbon, chitosan ve agar ile sulu çözeltiden  $Ni^{2+}$  yüzde uzaklaştırılmasına ilişkin sonuçlar.

Adsorplayıcı	$C_d$ (ppm)	$C_a$ (ppm)	U (%)
Aktif Karbon	90.600	109.400	54.58
Chitosan	31.680	168.320	84.01
Agar	112.320	87.680	43.73

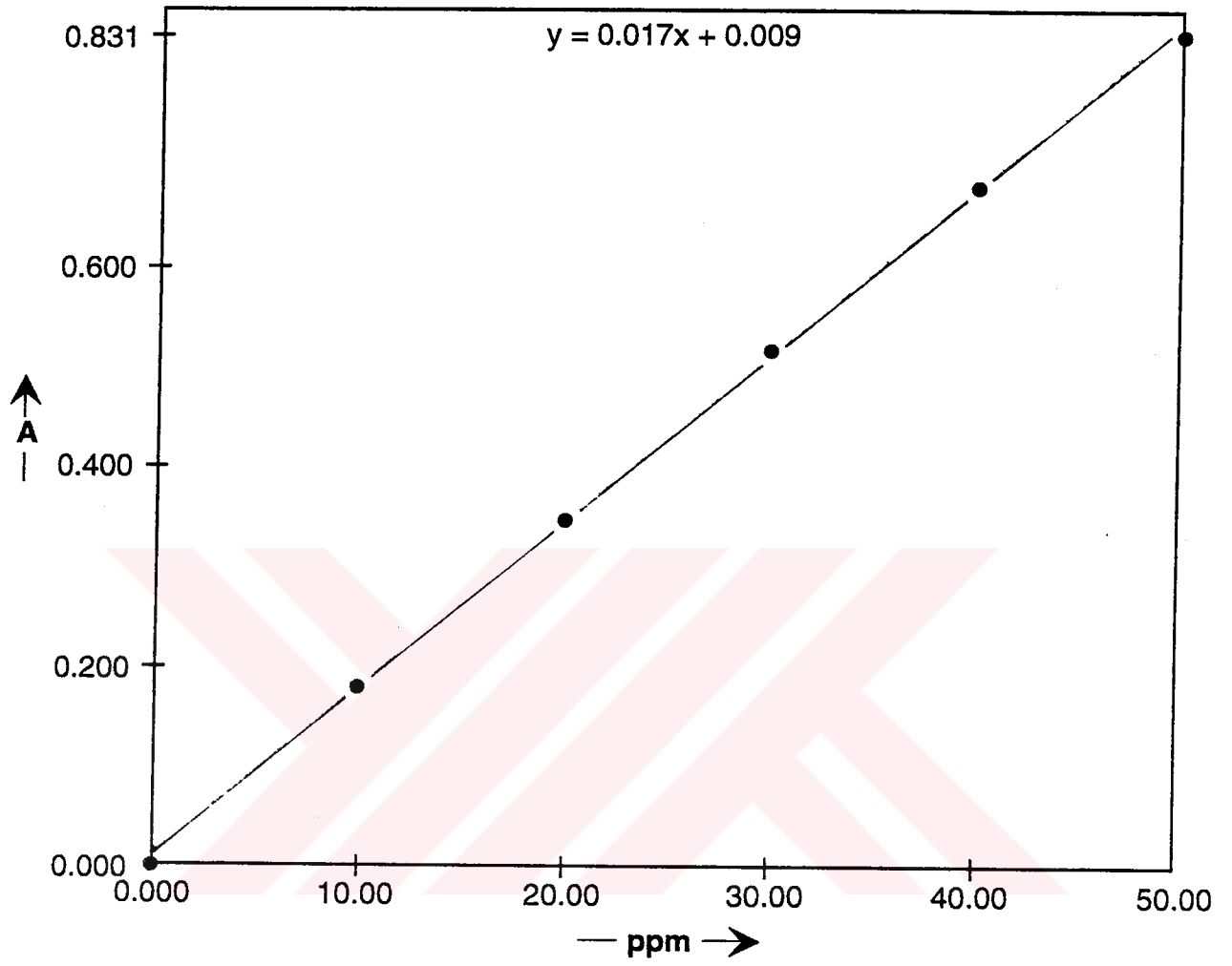
**Çizelge 26.** Aktif karbon, chitosan ve agar ile sulu çözeltiden  $Cu^{2+}$  yüzde uzaklaştırılmasına ilişkin sonuçlar.

Adsorplayıcı	$C_d$ (ppm)	$C_a$ (ppm)	U (%)
Aktif Karbon	71.750	128.250	63.99
Chitosan	1.300	198.700	99.25
Agar	102.200	97.800	48.71

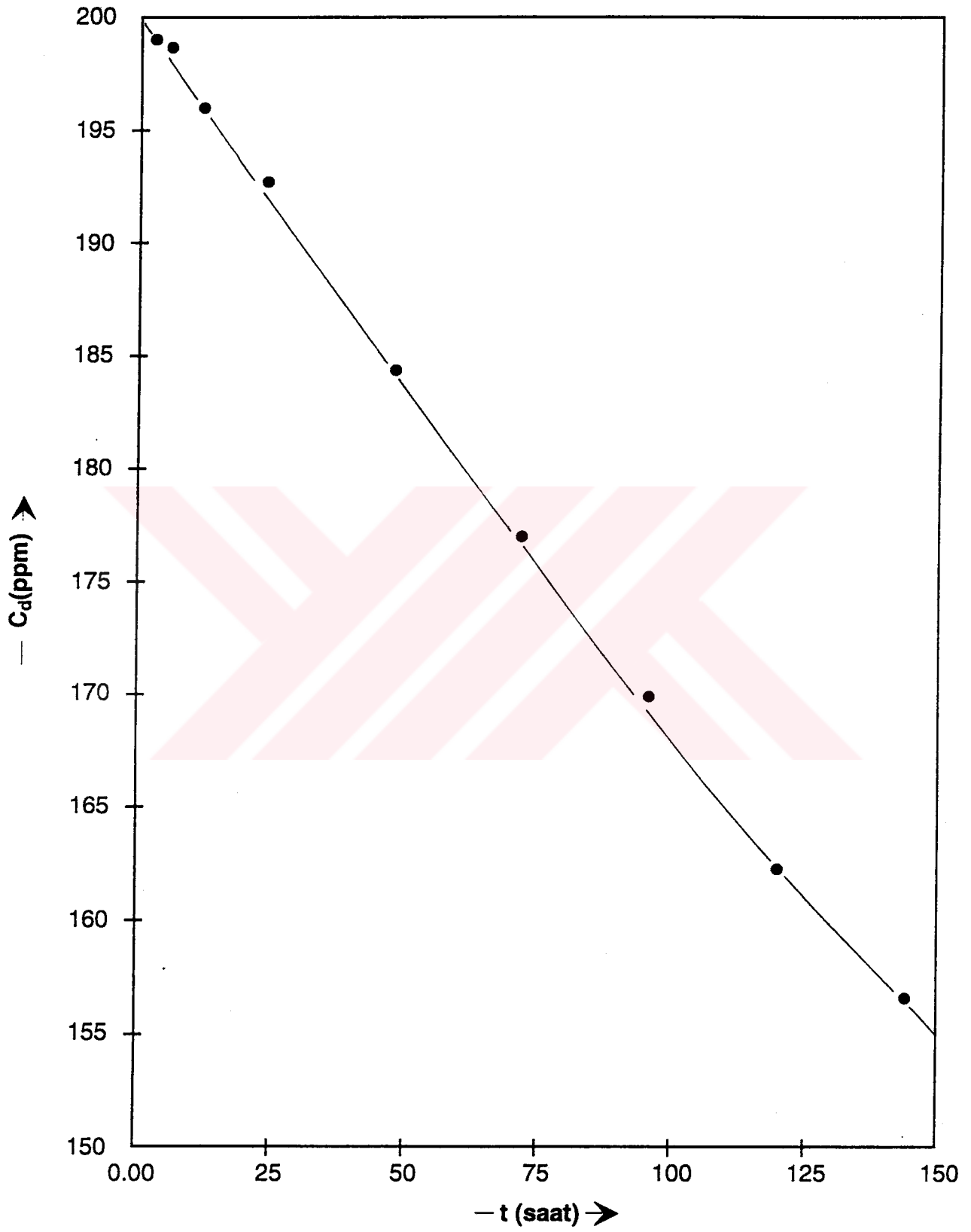


**Çizelge 27.** Aktif karbon, chitosan ve agar ile sulu çözümlerden  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  ve  $Cu^{2+}$ ye ilişkin yüzde uzaklaştırılma (% U) sonuçları.

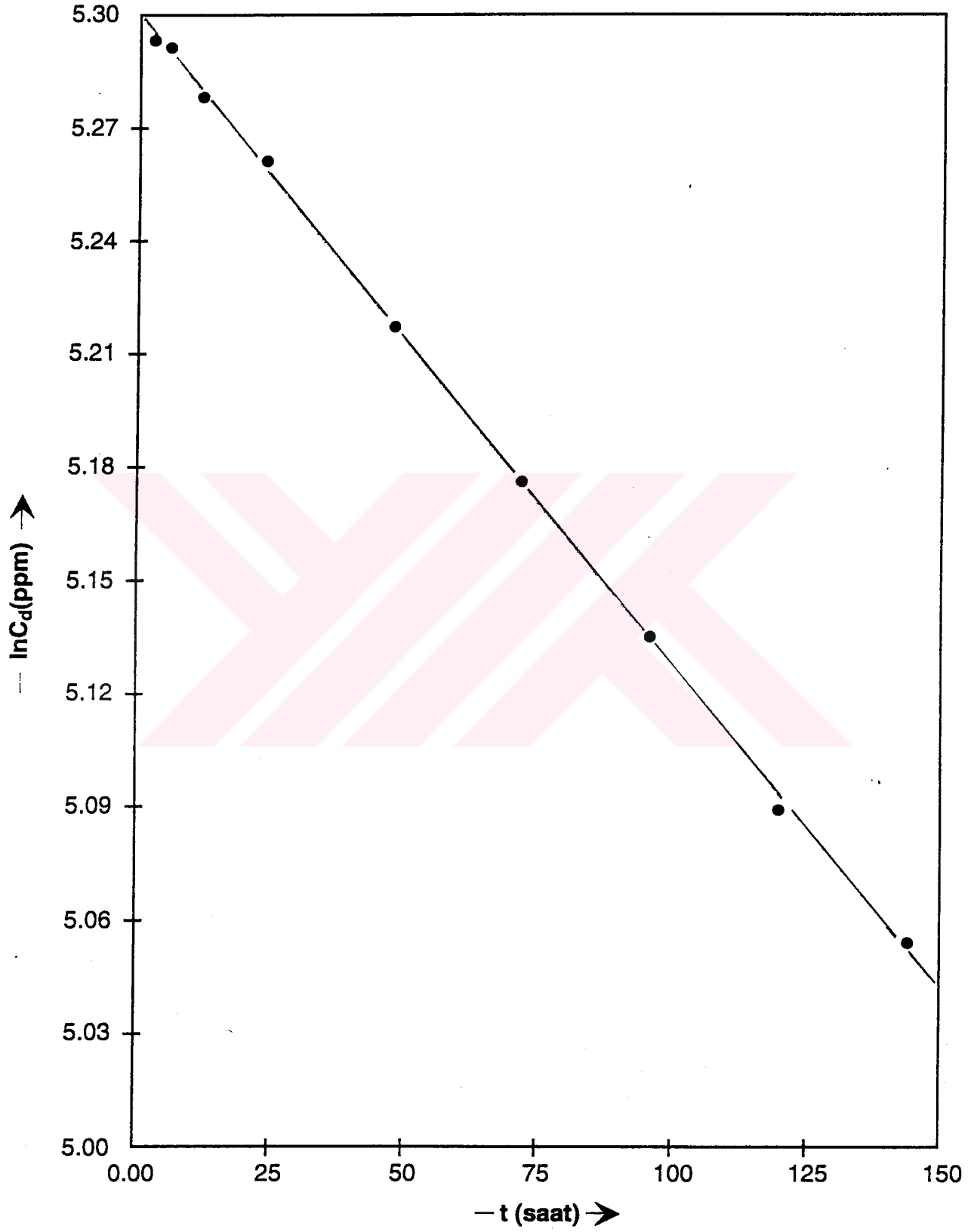
Adsorplanan	Adsorplayıcı		
	Aktif Karbon	Chitosan	Agar
$Mn^{2+}$	3.65	3.64	50.53
$Fe^{2+}$	40.30	80.60	39.48
$Ni^{2+}$	54.58	84.01	43.73
$Cu^{2+}$	63.99	99.25	48.71



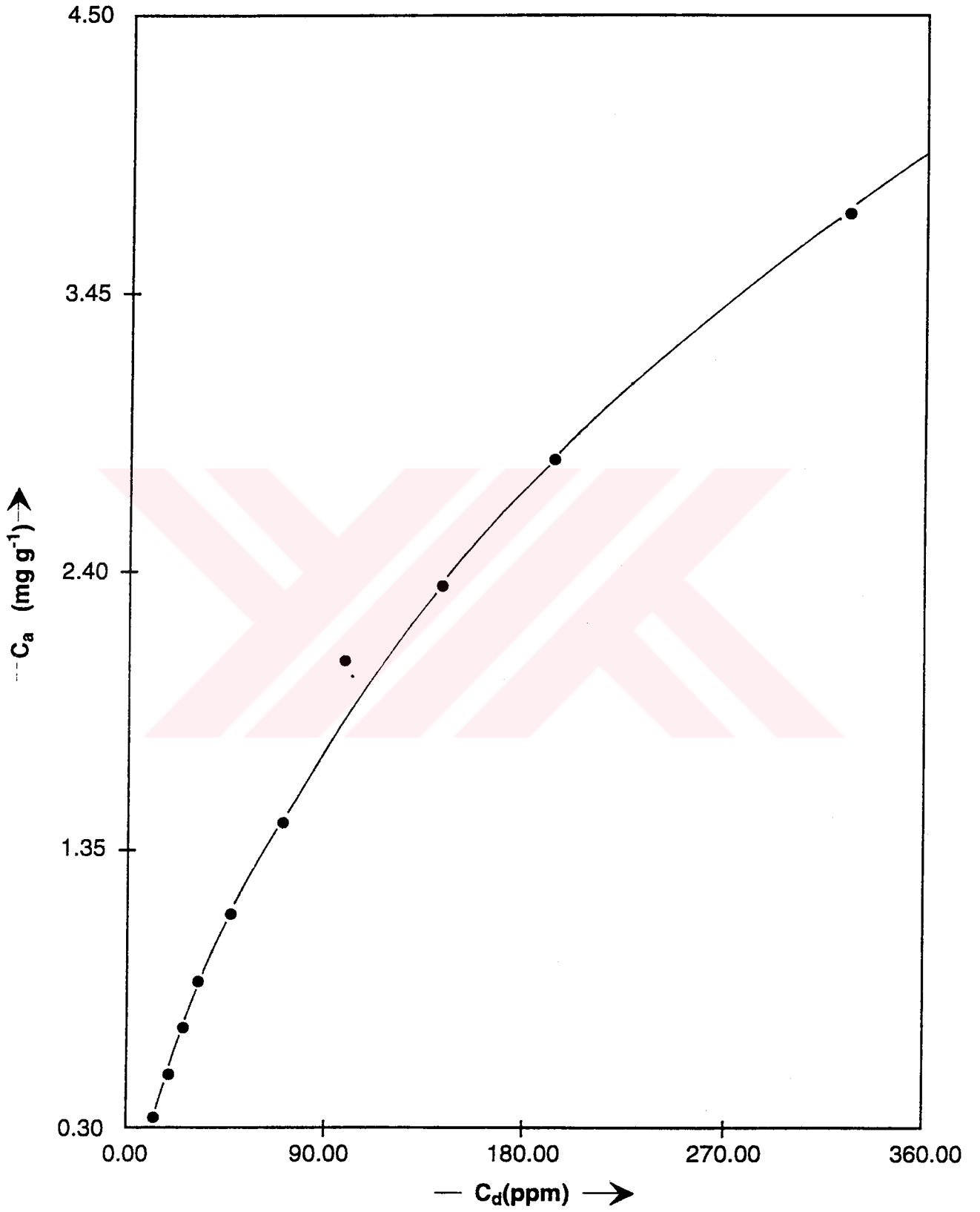
Şekil - 1:  $MnSO_4 \cdot H_2O$ 'ya ilişkin çalışma eğrisi



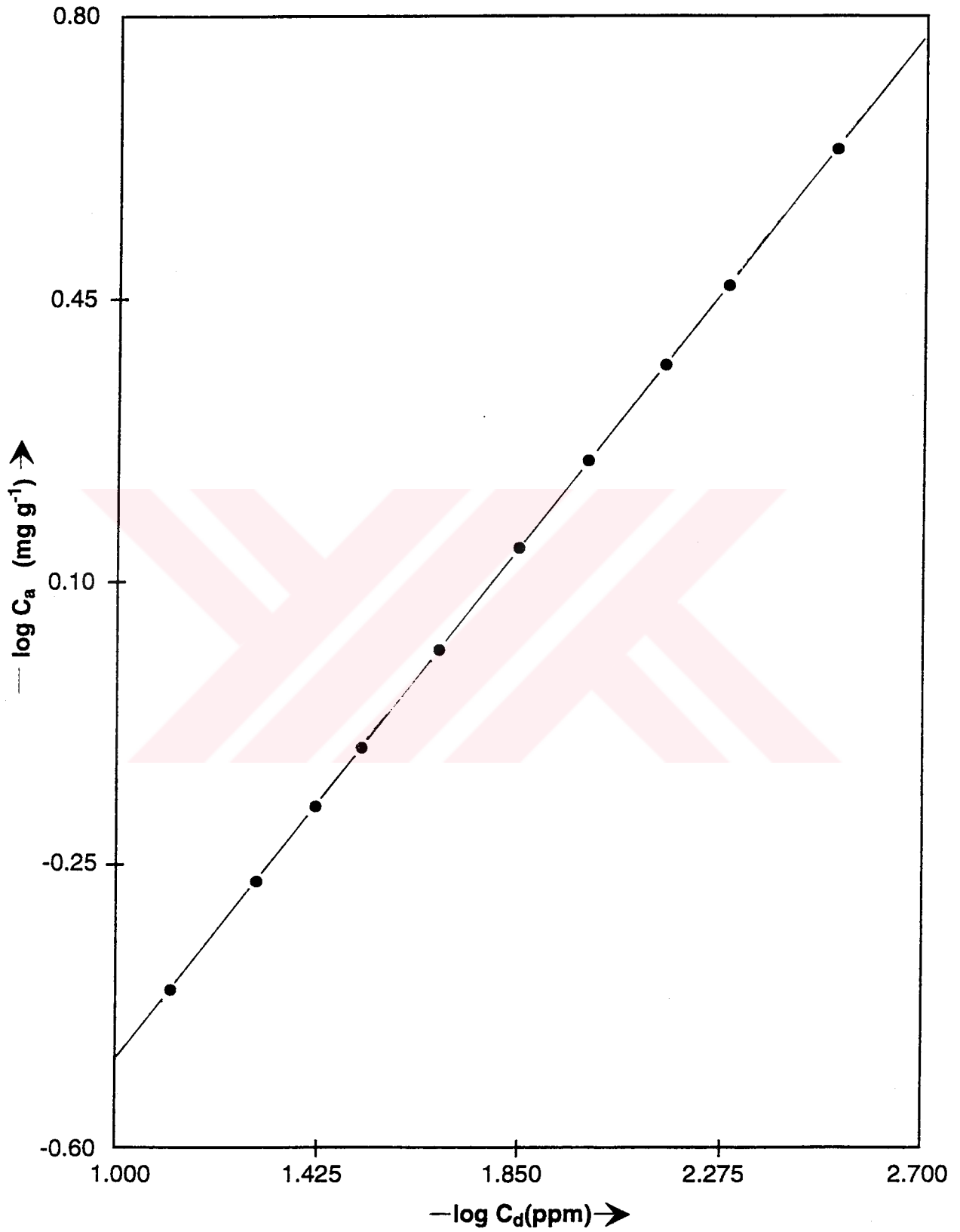
Şekil - 2 : M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Mn^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin kinetik eğri



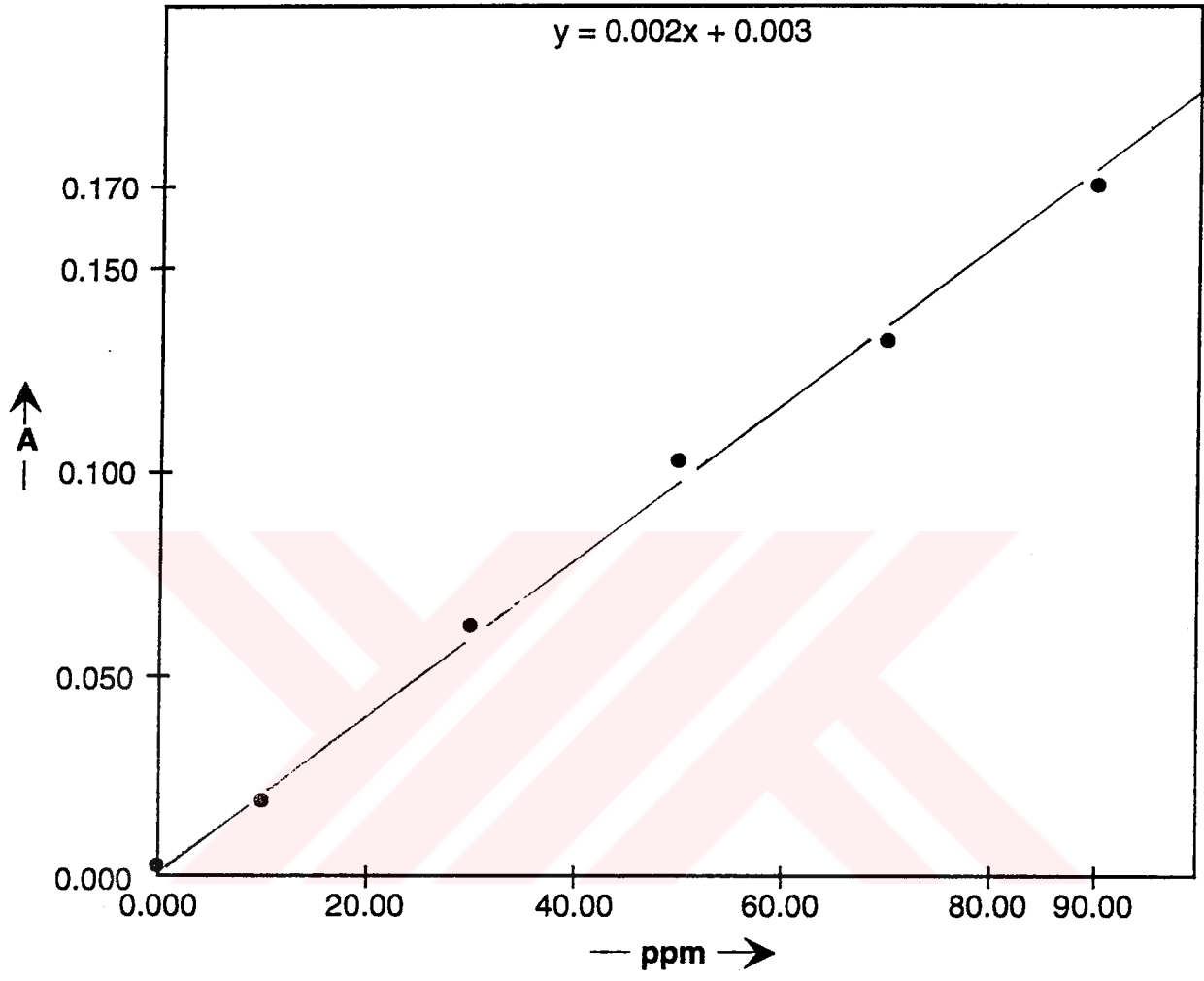
Şekil - 3 : M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Mn}^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin birinci dereceden kinetik eğri



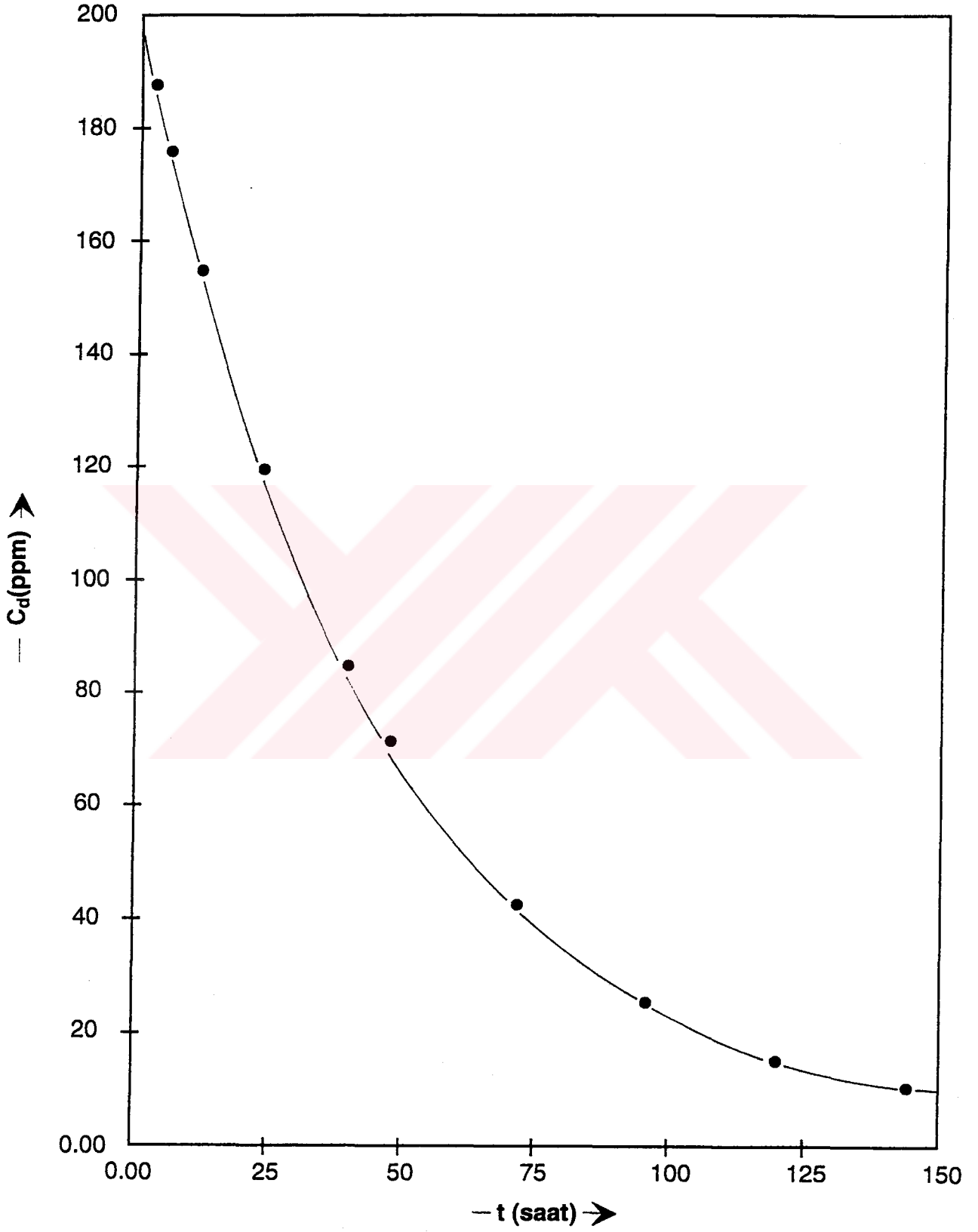
Şekil - 4 : M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden Mn<sup>2+</sup> 'ye ilişkin adsorpsiyon izotermi



Şekil - 5 : M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Mn}^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich çizgisel izotermi

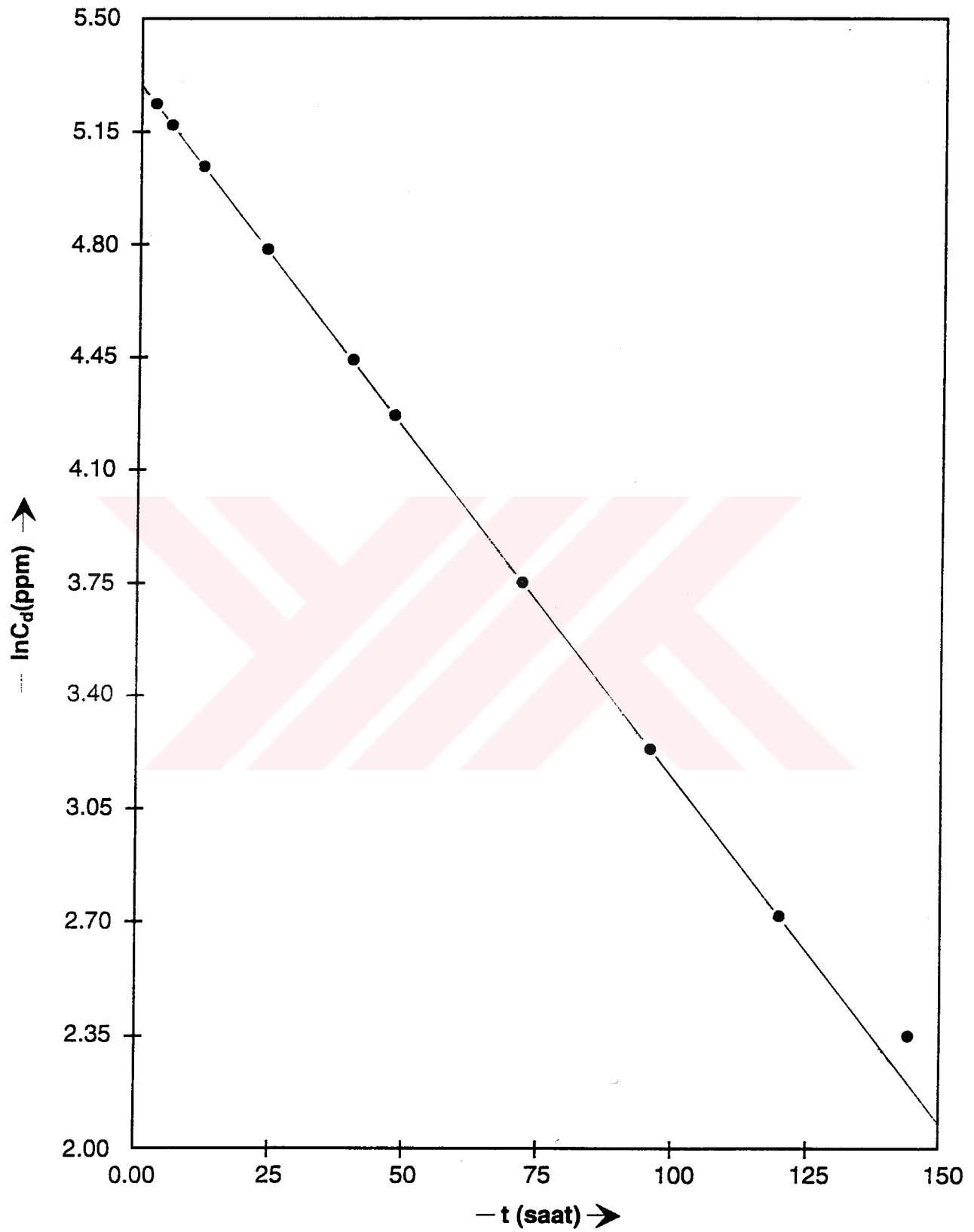


Şekil - 6:  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 'ya ilişkin çalışma eğrisi

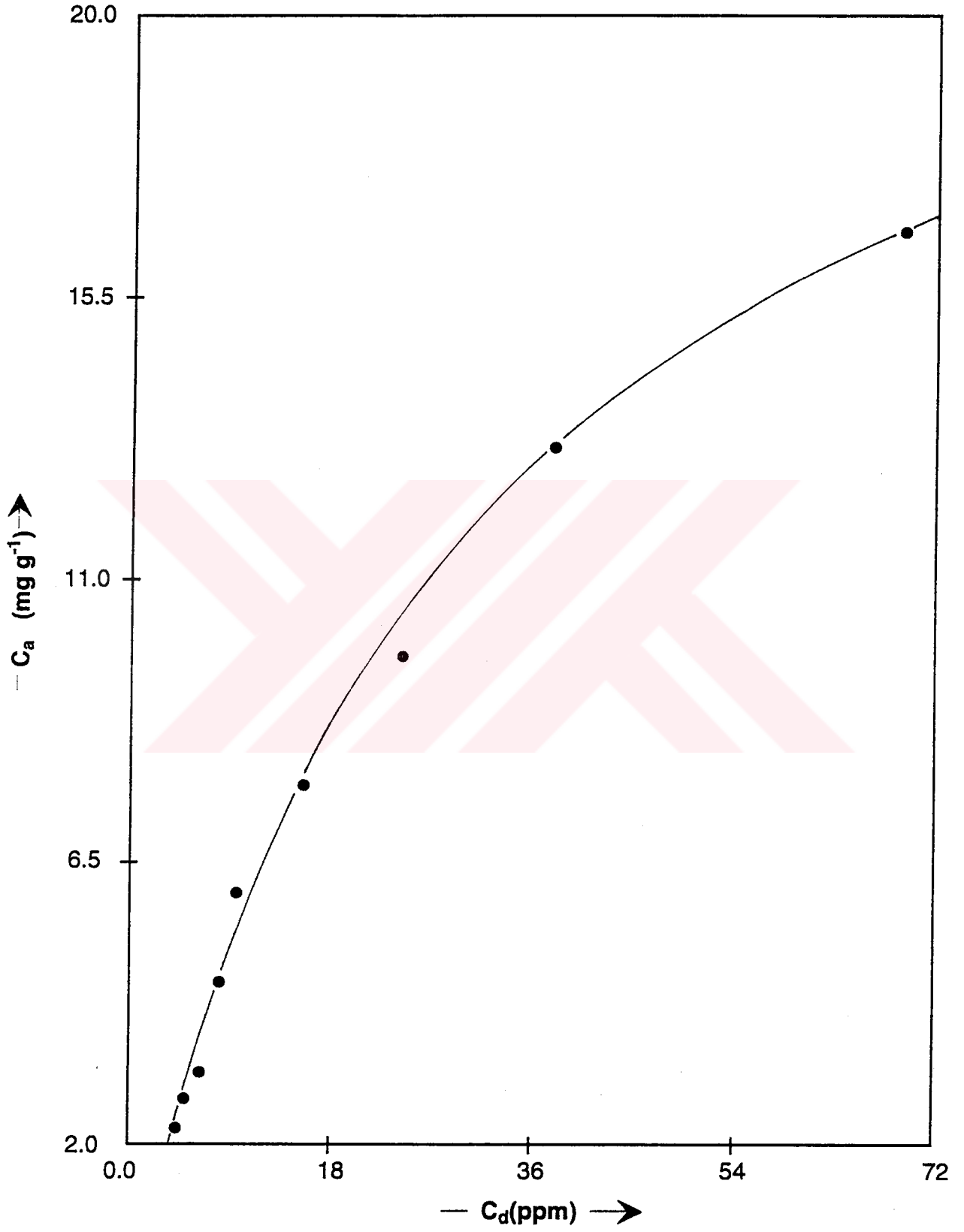


Şekil - 7 : M-2514 üzerinde sulu çözeltiden Fe<sup>2+</sup> adsorpsiyonuna ilişkin kinetik eğri

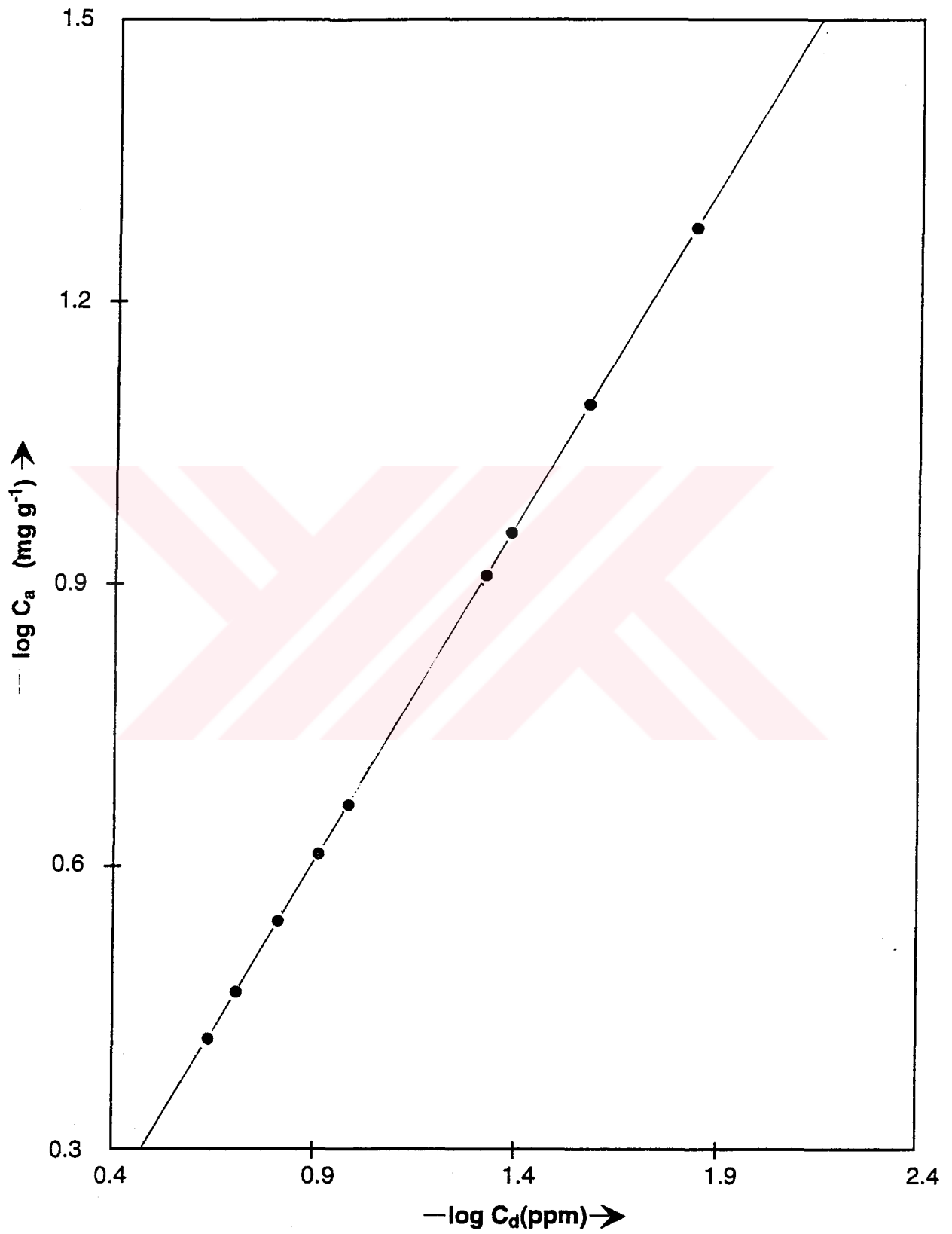




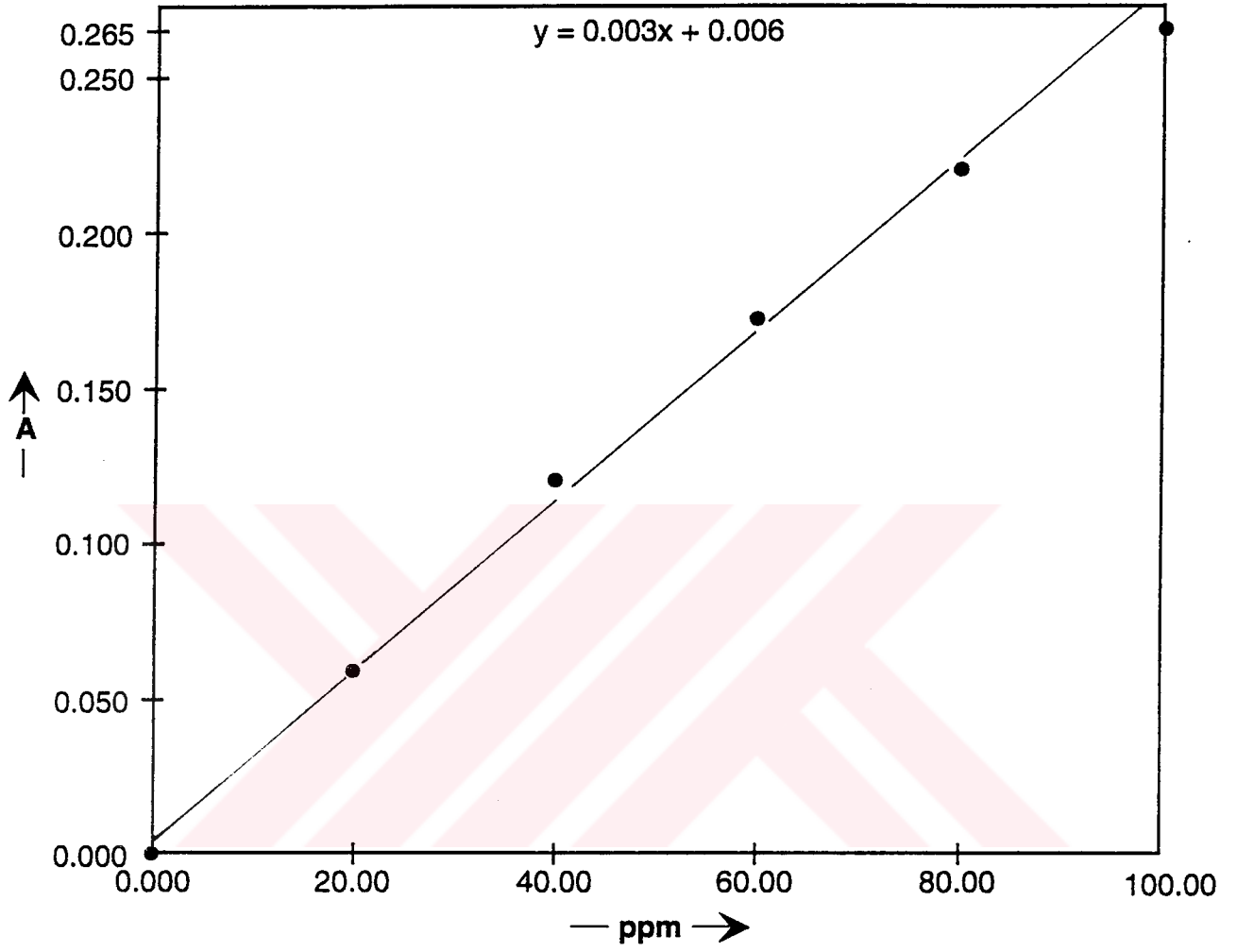
**Şekil - 8** : M-2514 üzerinde sulu çözülden  $\text{Fe}^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin birinci dereceden kinetik eğri



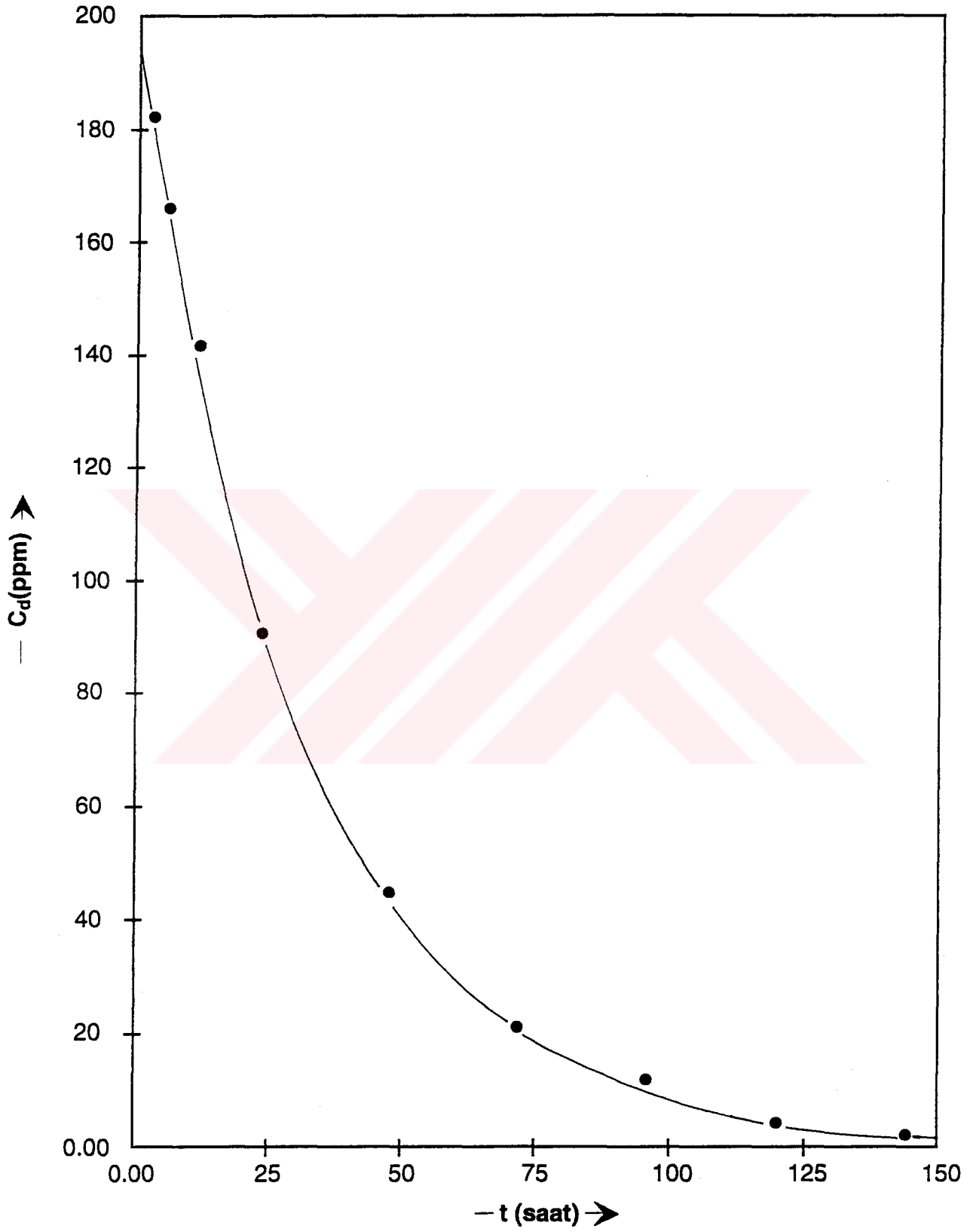
Şekil - 9 : M-2514 üzerinde sulu çözeltiden Fe<sup>2+</sup> 'ye ilişkin adsorpsiyon izotermi



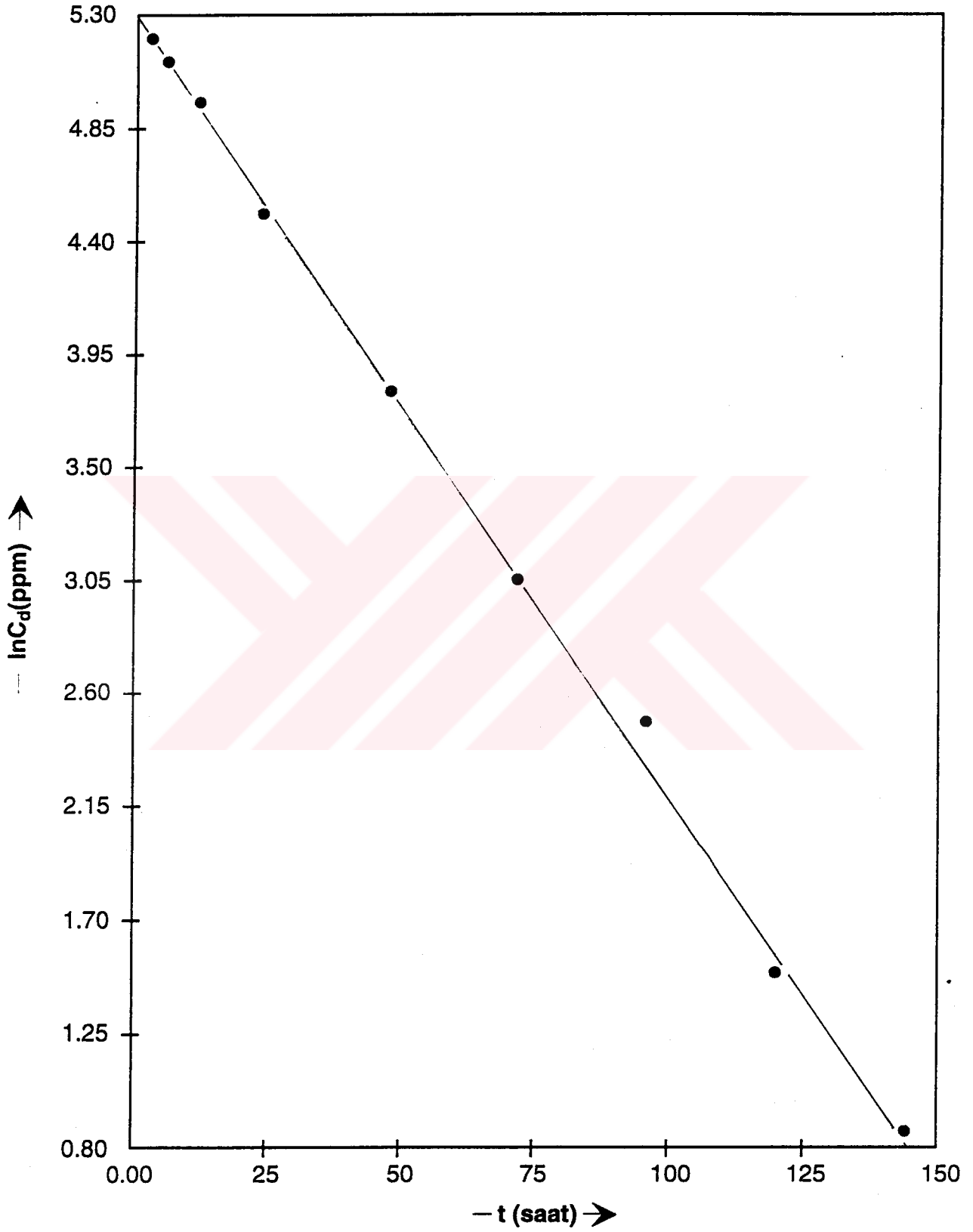
**Şekil - 10** : M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Fe}^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich çizgisel izotermi



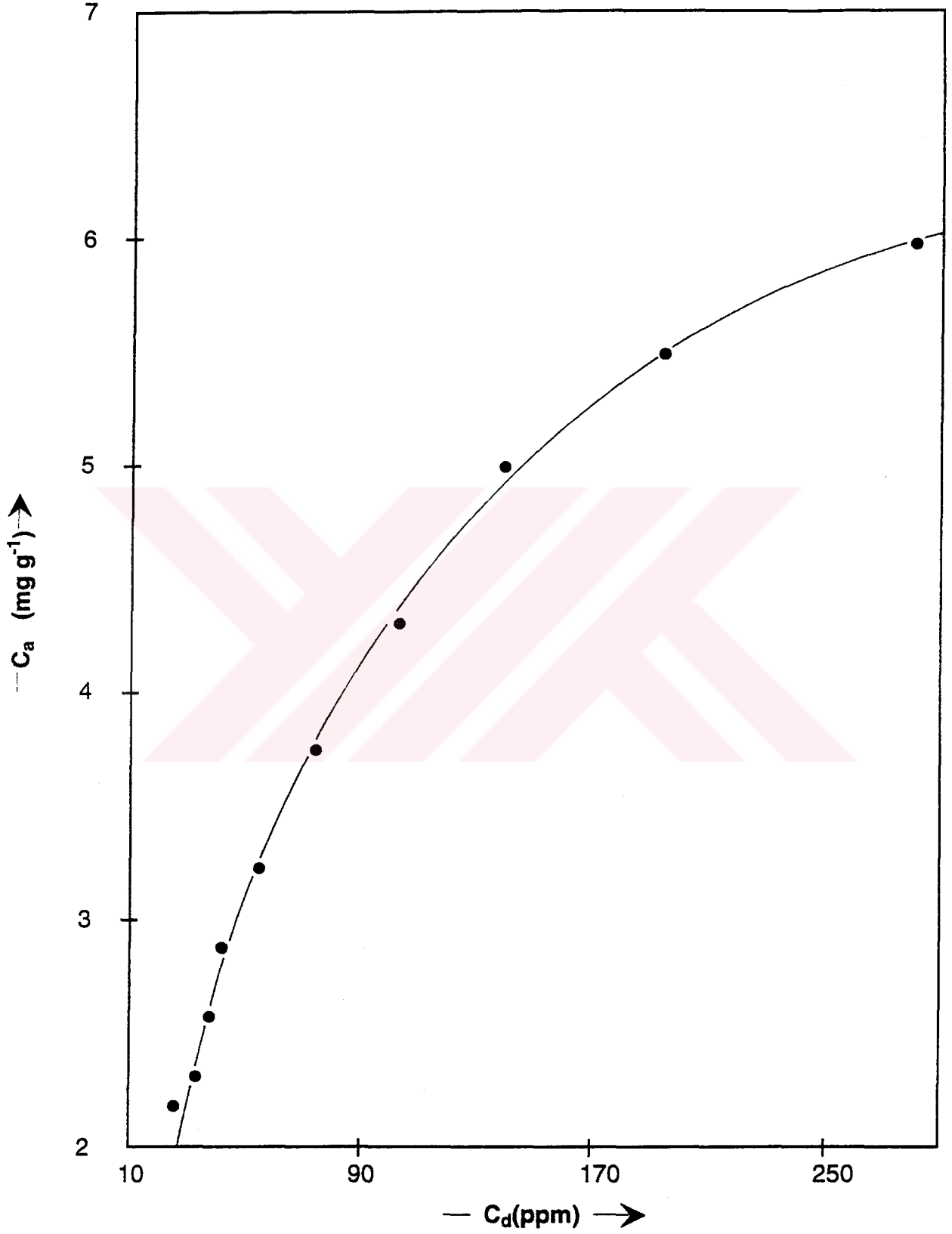
Şekil - 11:  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 'ya ilişkin çalışma eğrisi



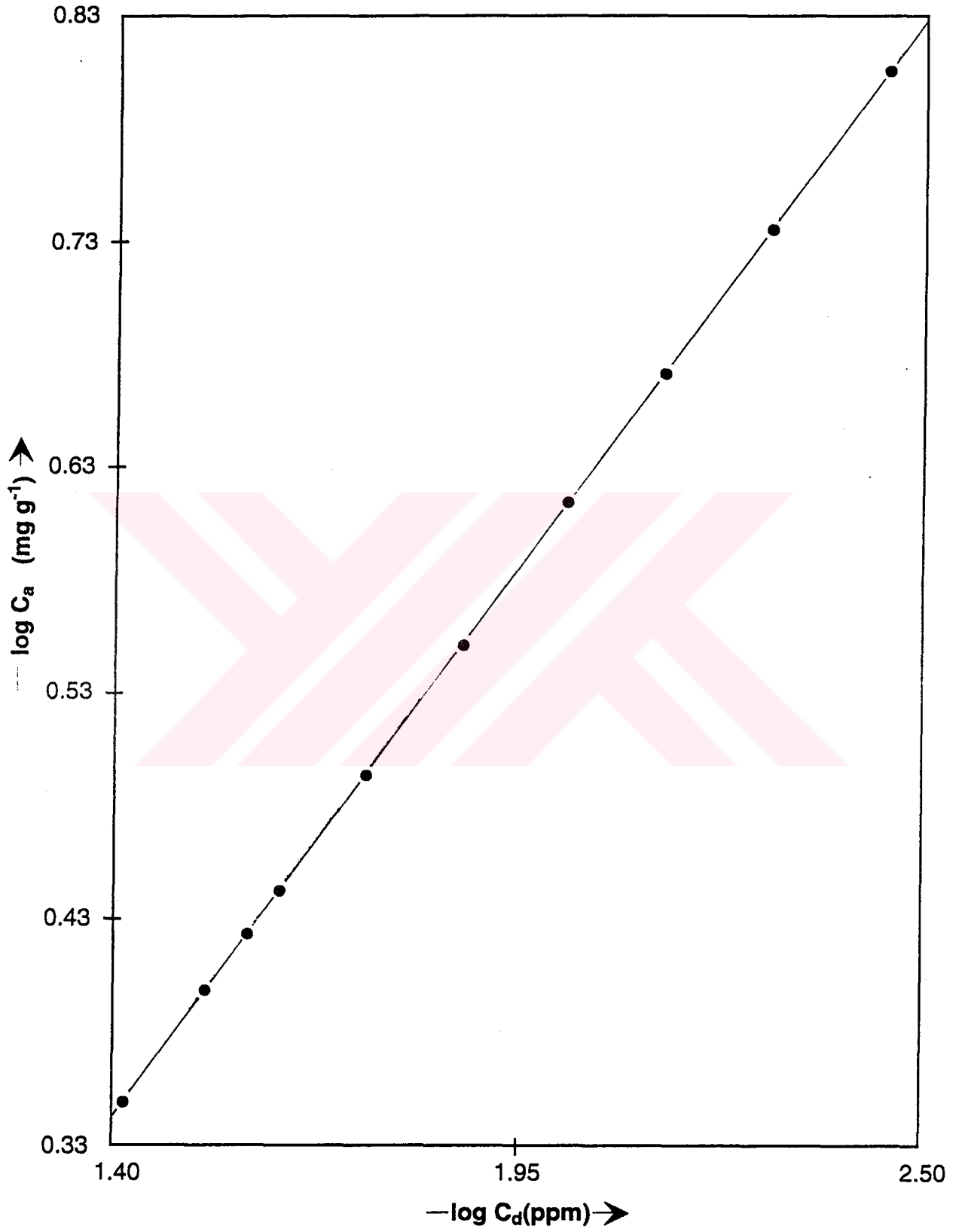
Şekil - 12 : M-2514 üzerinde sulu çözülden Ni<sup>2+</sup> adsorpsiyonuna ilişkin kinetik eğri



Şekil - 13 : M-2514 üzerinde sulu çözeltiden Ni<sup>2+</sup> adsorpsiyonuna ilişkin birinci dereceden kinetik eğri

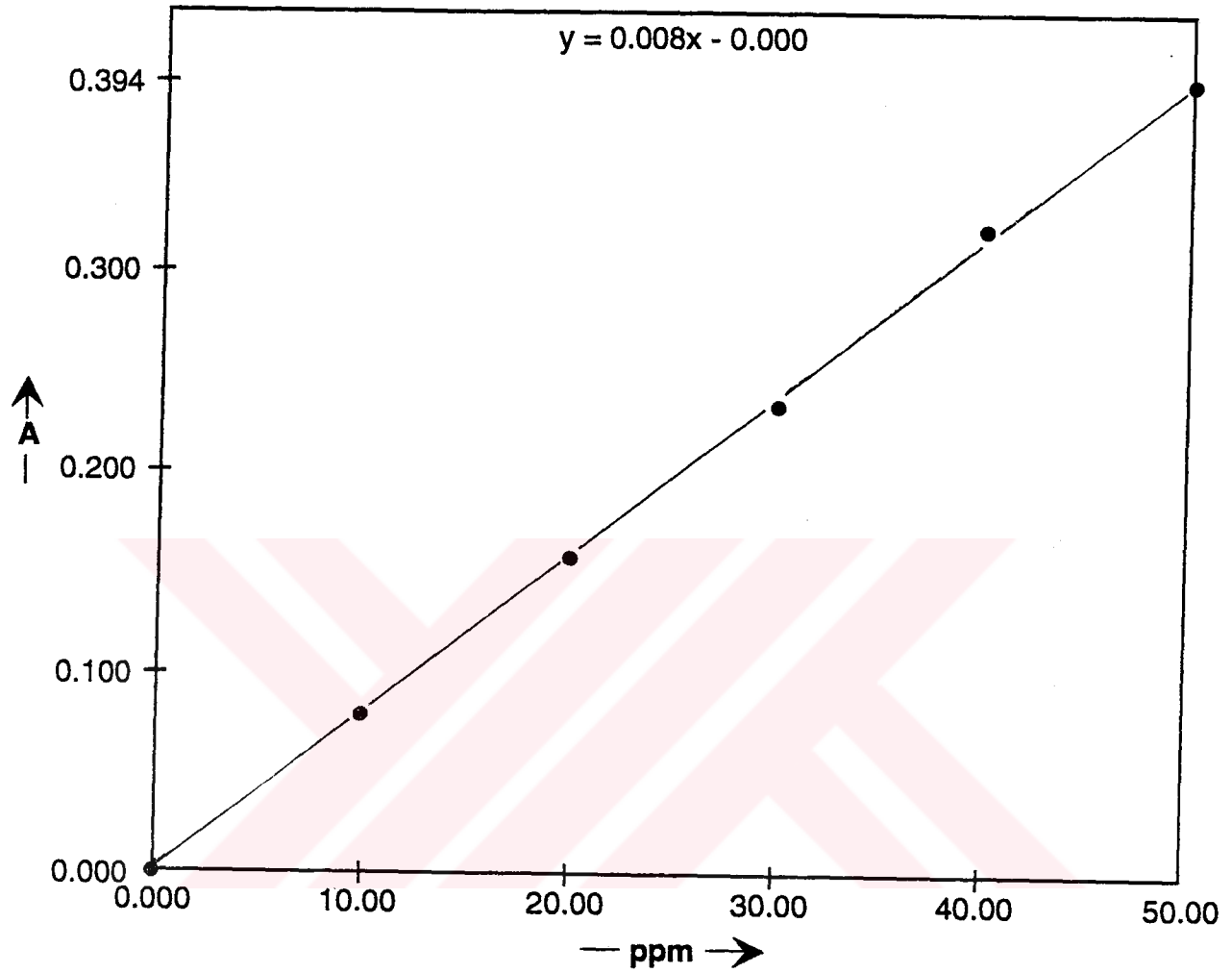


Şekil - 14 : M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden Ni<sup>2+</sup> 'ye ilişkin adsorpsiyon izotermi

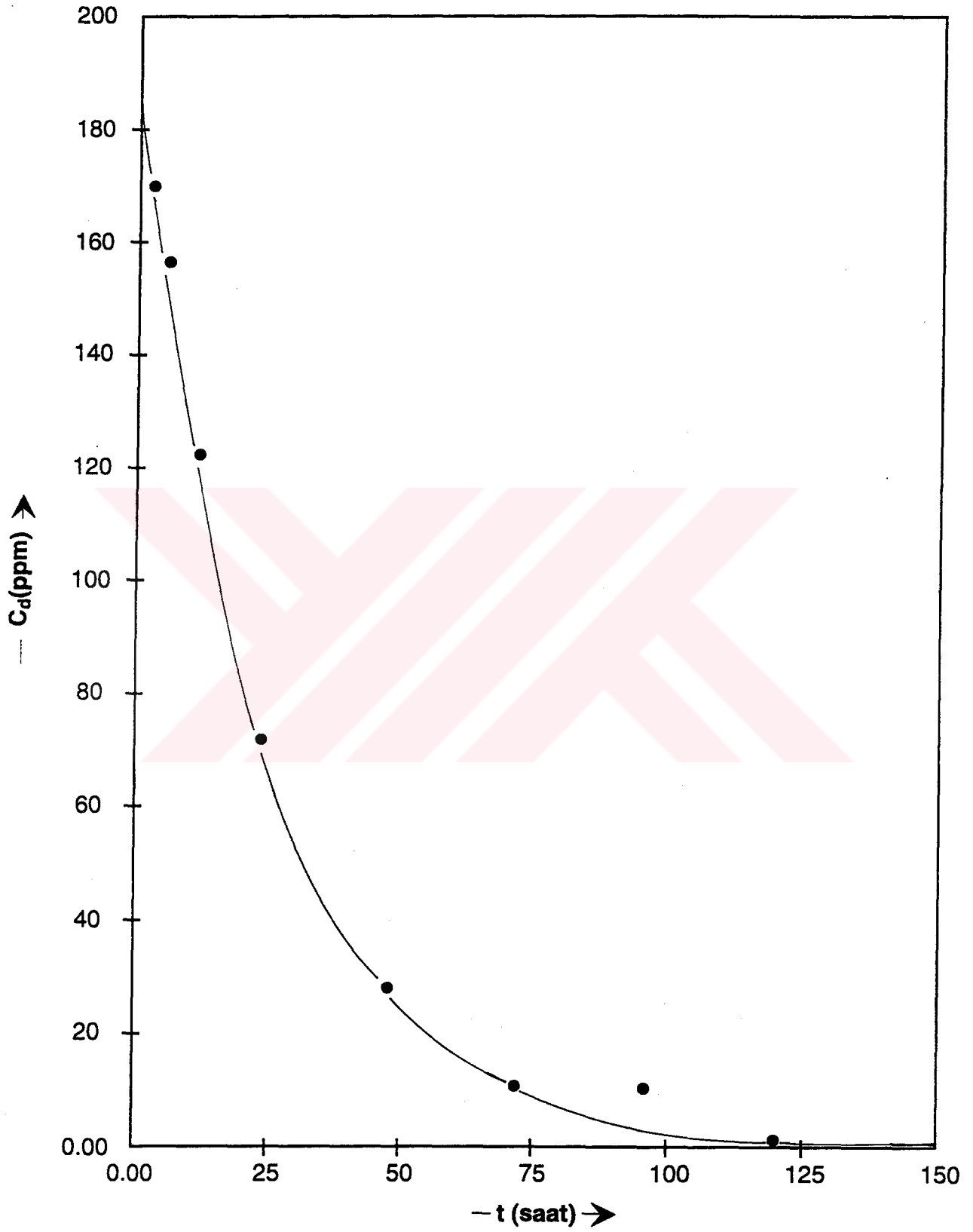


Şekil - 15 : M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Ni}^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich çizgisel izotermi

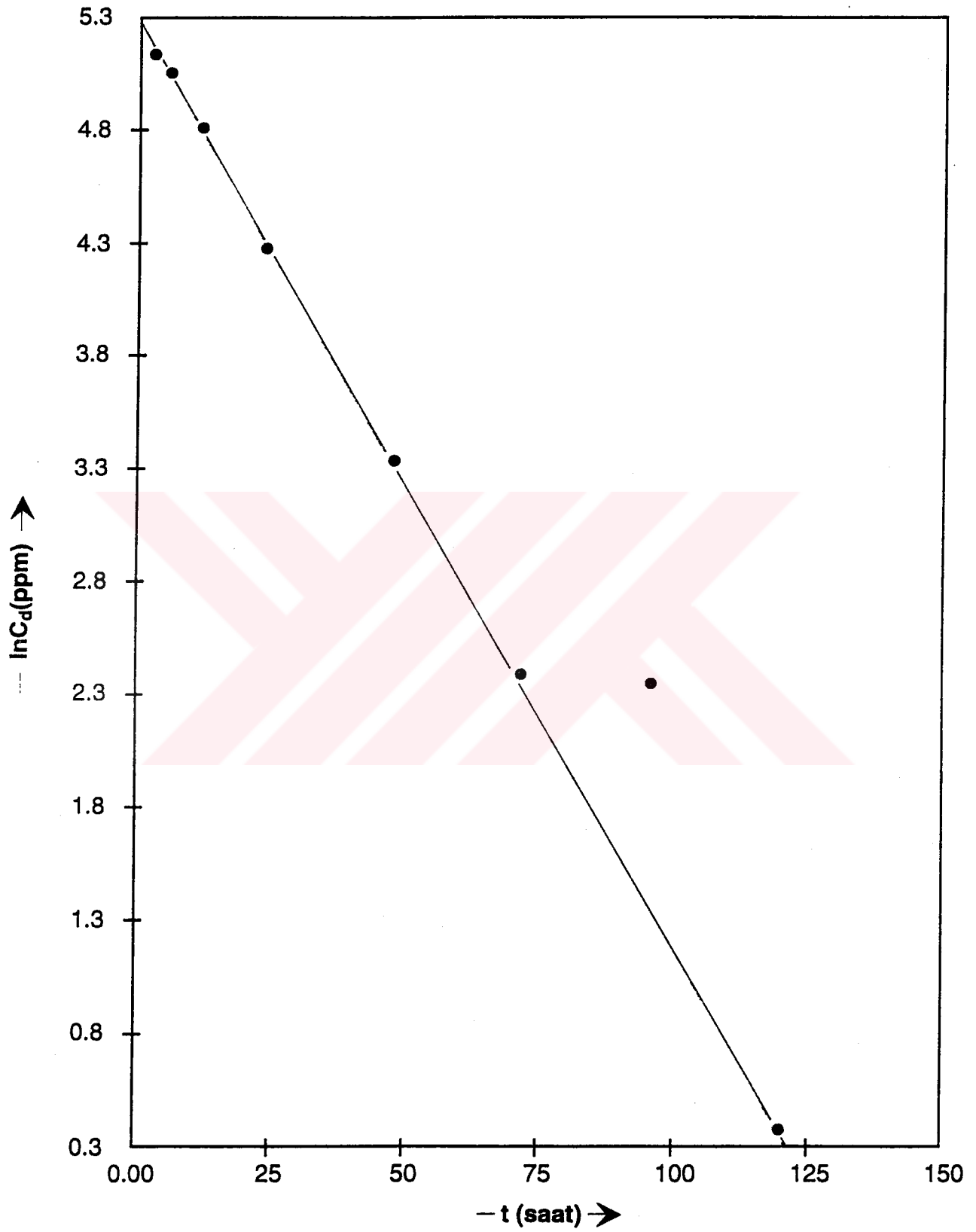




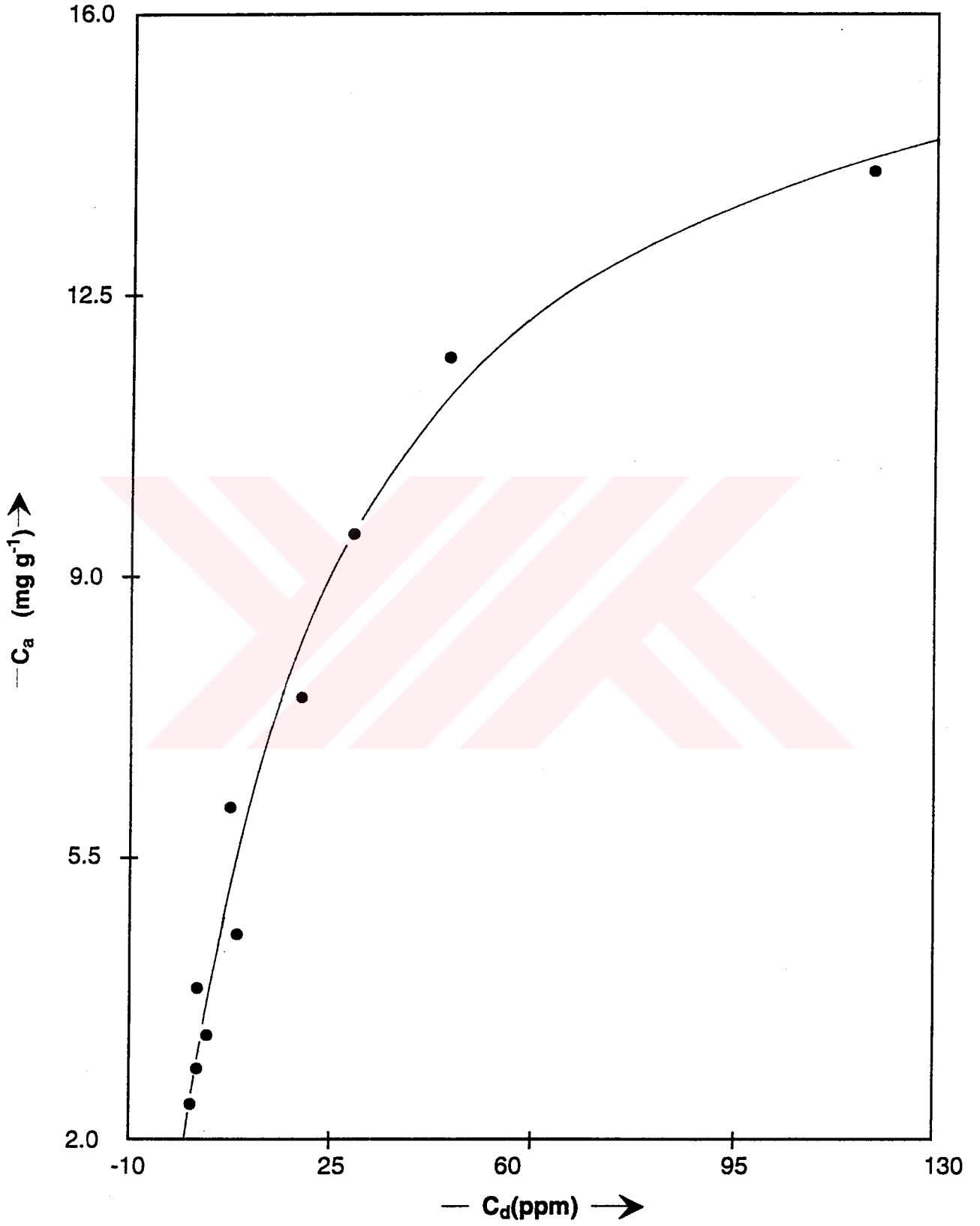
Şekil - 16:  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 'ya ilişkin çalışma eğrisi



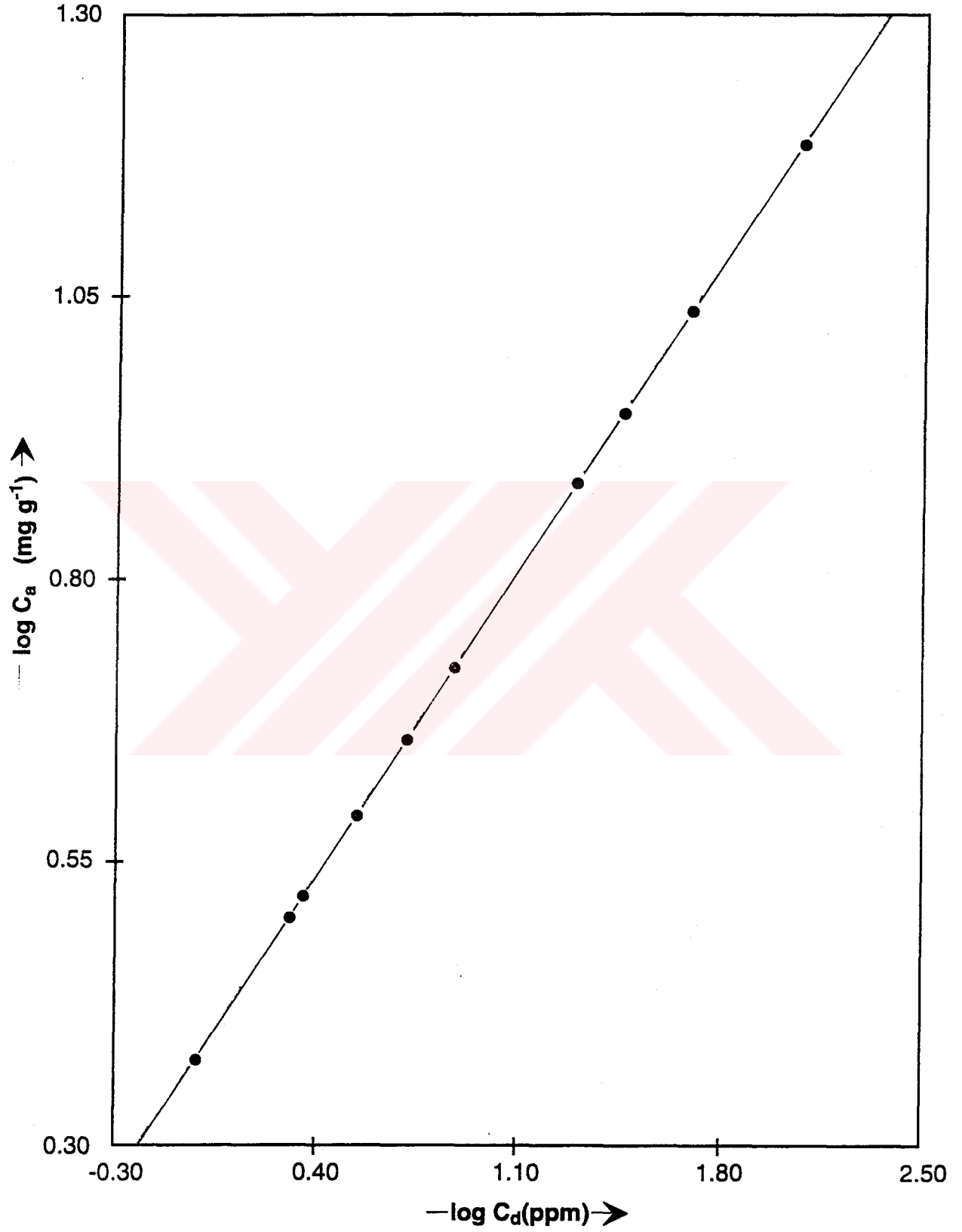
Şekil - 17 : M-2514 üzerinde sulu çözeltilerden  $Cu^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin kinetik eğri



Şekil - 18 : M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Cu}^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin birinci dereceden kinetik eğri



Şekil - 19 : M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Cu}^{2+}$ 'ye ilişkin adsorpsiyon izotermi



Şekil - 20 : M-2514 üzerinde sulu çözeltiden  $\text{Cu}^{2+}$  adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich çizgisel izotermi

**KAYNAKLAR**

- 1 . Y. Sarıkaya, "Fizikokimya", 1. Baskı, Gazi Büro Kitapevi, Ankara (1993).
- 2 . Z. Tez, Doktora Tezi, A.Ü. F. F., Ankara (1977).
- 3 . F. Güzel, Doktora Tezi, D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır (1991).
- 4 . S. Brunauer, "The Adsorption of Gases and Vapors", Vol. 1 Oxford University Press, London (1942).
- 5 . S. Yıldız, "Fizikokimya I", 1. Baskı, Bizim Büro Basımevi, Konya (1995).
- 6 . J. M. Smith, "Chemical Engineering Kinetics", 2 nd. Ed., Mc Graw-Hill Comp., N.Y. London (1970).
- 7 . F. E. Bernardin, "Chemical Engineering Deskbook Issue", Oct. 18, 77 (1976).
- 8 . J. J. Kipling, "Adsorption from Solutions of Non-Electrolytes", Academic Press, N.Y. London (1965).
- 9 . C. H. Giles, J. J. Greczek, S. M. Makhwa, J. Chem. Soc., 93 (1961).
- 10 . J. W. Hassler, "Activated Carbon", Chemical Publishing Company, Inc., N.Y. (1963).
- 11 . J. S. Mattson and H.B. Mark., "Activated Carbon", Marcel Dekker, Inc., N.Y. (1971).
- 12 . J.W. Hassler, "Purification with Activated Carbon", Chemical Publishing Co., Inc., N.Y. (1974).
- 13 . T. Mitani, A. Moriyama and H. Ishu., Biosci. Brotech. Biochem., 56, 6, 985 (1992).
- 14 . T. Mitani, C. Nakajima, I.E. Sungkono and H. Ishii., J. Environ. Sci. Health, A 30, 3 669-674 (1995).
- 15 . K. Kondo, H. Sumı and M. Matsumoto., Separ. Sci. And Techn. 31,12,1771-1775 (1996).
- 16 . C. Tüzün, "Biyokimya", 2. Baskı, Palme Yayınları, Ankara (1992).
- 17 . Jack. E. Fergusson, "The Heavy Elements", Pergamon Press, Oxford. New York. Seoul. Tokyo (1990).
- 18 . M. Kılıç, "C.Ü. Fen-Edebiyat Fak. Fen Bil. Dergisi 3", Sivas (1985).

- 19 . H. İ. Özdemir, “İlaveli Genel Anorganik ve Teknik Kimya” Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul (1981).
- 20 . M. Karpuzcu, “Çevre Mühendisliğine Giriş” İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası (1988).
- 21 . P. J. Coughtrey, C. H. Jones, M. H. Martin and S.W. Snales, *Oecologia* 39, 51-60 (1979).
- 22 . T. Gündüz, “Çevre Sorunları” Bilge Yayıncılık, Ankara (1994).
- 23 . D. Chapman, “Water Quality Assessments”, Chapman-Hall London (1992).
- 24 . O. Uslu ve A. Türkmen, “Su Kirliliği ve Kontrolü” T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi 1, Ankara (1987).
- 25 . J. E. HUHEEY, “Inorganic Chemistry” Harper International Edition, New York, (1978).
- 26 . N. K. TUNALI ve S. ÖZKAR, “Anorganik Kimya”, Gazi Üni. Yayın No: 185, (1993).

## ÖZGEÇMİŞİM

1974 yılında Diyarbakır ili Ergani ilçesine bağlı Ortaağaç köyünde doğdum.

1985 yılında Ortaağaç köyü İlkokulundan mezun oldum.

1988 yılında Ergani Ortaokulundan mezun oldum.

1991 yılında Ergani Lisesinden mezun oldum.

1995 yılında Dicle Üniversitesi Eğitim Fakültesi Kimya Bölümünden mezun oldum. Aynı yıl Diyarbakır ili Lice ilçesi Lice Lisesine Kimya Öğretmeni olarak atandım. Yine aynı yıl Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimime başladım.

1996 yılında Dicle Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü Kimya Eğitimi Anabilim Dalında Arş. Gör. olarak göreve başladım. Halen aynı yerde görevimi sürdürmekteyim.

**Arş. Gör. İlhan UZUN**