

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

**ATIK PİL TOZLARINDAKİ ÇİNKO OKSİDİN  
ASETİK ASİT ÇÖZELTİLERİNDE LİÇ KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bayram SİTİL**

**Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Asım KÜNKÜL**

**TEMMUZ 2020**

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

**ATIK PİL TOZLARINDAKİ ÇİNKO OKSİDİN  
ASETİK ASİT ÇÖZELTİLERİNDE LİÇ KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bayram SİTİL  
( 13617170105 )**

**Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Asım KÜNKÜL**

**TEMMUZ 2020**

## TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her aőamasında yardım, öneri ve desteğini esirgmeden beni yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Asım KÜNKÜL'e;

Deneysel çalışmaların yöntemini belirlemede ve sonuçların değerlendirilmesinde çok önemli katkıları olan Sayın Doç. Dr. Nizamettin DEMİRKIRAN'a;

Yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen bölümümüz doktora öğrencisi Hüseyin KARAKURT'a;

Eğitim hayatımın her aőamasında hiçbir fedakarlıktan kaçınmayarak her türlü desteği sağlayan başta anne ve babam olmak üzere tüm AİLEME ve eőim Őükran KARAKUŐ SİTİL'e;

teşekkür ederim.

## ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Atık Pil Tozlarındaki Çinko Oksidin Asetik Asit Çözeltilerinde Liç Kinetiğinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Bayram SİTİL



## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ.....	i
ONUR SÖZÜ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
SEMBOLLER VE KISALTMALAR .....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
<b>1.GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2.KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>2</b>
2.1.Çinko Üretim Prosesleri.....	5
2.2.Atık Piller.....	7
2.3. Liç Proseslerinin Kinetiği .....	12
2.3.1. Liç reaksiyonunu kontrol eden basamaklar .....	14
2.3.1.1. Kimyasal reaksiyon kontrollü liç .....	14
2.3.1.2. Difüzyon kontrollü liç .....	16
2.3.1.3. Karışık kontrollü liç .....	17
<b>3.MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>18</b>
3.1.Materyal.....	18
3.1.1.Kullanılan kimyasal maddeler.....	18
3.1.2.Kullanılan cihazlar.....	19
3.1.3.Deneyde kullanılan hammadde.....	20
3.2.Yöntem.....	20
3.2.1.Çözme işleminin yapılışı.....	20
<b>4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE SONUÇ.....</b>	<b>22</b>
4.1.Çinko Çözünme Deneyleri.....	22
4.1.1.Çinko çözünmesi üzerine asetik asit derişiminin etkisi.....	22
4.1.2.Çinko çözünmesi üzerine sıcaklığın etkisi.....	22
4.1.3.Çinko çözünmesi üzerine madde miktarının etkisi.....	23
4.1.4.Çinko çözünmesi üzerine karıştırma hızının etkisi.....	24
4.1.5.Çinko çözünmesi üzerine parçacık boyutunun etkisi.....	25
4.2.Çözünme Kinetiği.....	26
<b>5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>39</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>41</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>46</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.1</b>	: Çinkonun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	<b>3</b>
<b>Çizelge 2.2</b>	: Yaygın olarak bulunan bazı çinko mineralleri.....	<b>4</b>
<b>Çizelge 3.1</b>	: Çözünme deneylerinde kullanılan parametreler ve değerleri.....	<b>21</b>
<b>Çizelge 4.1</b>	: Her bir parametre için görünür hız sabiti değerleri.....	<b>30</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	: Bazı önemli çinko mineralleri.....	4
Şekil 2.2	: MTA verilerine göre Türkiye'deki çinko-kurşun yatakları.....	5
Şekil 2.3	: Alkali çinko mangan dioksit pilin yapısı.....	9
Şekil 2.4	: Liç prosesinin basamakları.....	13
Şekil 2.5	: Liç işlemi uygulanan maddenin yüzeyindeki reaktan konsantrasyonunun değişim grafiği.....	14
Şekil 2.6	: Reaksiyon kontrollü liç grafi.....	15
Şekil 2.7	: Difüzyon kontrollü liç grafiği.....	16
Şekil 2.8	: Karışık kontrollü liç grafiği.....	17
Şekil 3.1	: Çalışmada kullanılan deney düzeneği.....	19
Şekil 3.2	: Çinko pil tozunun XRD grafiği.....	20
Şekil 4.1	: Çinko tozunun çözünmesi üzerine asetik asit derişiminin etkisi.....	22
Şekil 4.2	: Çinko tozunun çözünmesi üzerine sıcaklığın etkisi.....	23
Şekil 4.3	: Çinko tozunun çözünmesi üzerine madde miktarının etkisi.....	24
Şekil 4.4	: Çinko tozunun çözünmesi üzerine karıştırma hızının etkisi.....	25
Şekil 4.5	: Çinko tozunun çözünmesi üzerine parçacık boyutunun etkisi.....	25
Şekil 4.6	: Farklı asetik asit derişimleri için $X/(1-X)$ değerlerinin zamanla değişimi... ..	27
Şekil 4.7	: Farklı sıcaklıklar için $X/(1-X)$ değerlerinin zamanla değişimi .....	27
Şekil 4.8	: Farklı katı/sıvı oranları için $X/(1-X)$ değerlerinin zamanla değişimi .....	28
Şekil 4.9	: Farklı parçacık boyutları için $X/(1-X)$ değerlerinin zamanla değişimi .....	28
Şekil 4.10	: Farklı karıştırma hızları için $X/(1-X)$ değerlerinin zamanla değişimi .....	29
Şekil 4.11	: Asetik asit derişimi için $\ln(C_A)$ 'ya karşı $\ln k$ grafiği.....	31
Şekil 4.12	: Katı/sıvı oranı için $\ln(K/S)$ 'ye karşı $\ln k$ grafiği.....	31
Şekil 4.13	: Parçacık boyutları için $\ln(PB)$ 'ye karşı $\ln k$ grafiği.....	32
Şekil 4.14	: Karıştırma hızları için için $\ln(KH)$ 'ya karşı $\ln k$ grafiği.....	32
Şekil 4.15	: Çinko tozunun asetik asit çözeltilerinde çözünme prosesi için Arrhenius grafiği.....	34
Şekil 4.16	: Farklı asetik asit derişimleri için deneysel değerlerin teorik değerlerle değişimi.....	35
Şekil 4.17	: Farklı sıcaklık değerleri için deneysel değerlerin teorik değerlerle değişimi.....	35
Şekil 4.18	: Farklı katı/sıvı oranları için deneysel değerlerin teorik değerlerle değişimi.....	36
Şekil 4.19	: Farklı karıştırma hızları için deneysel değerlerin teorik değerlerle değişimi.....	36
Şekil 4.20	: Farklı parçacık boyutları için deneysel değerlerin teorik değerlerle değişimi.....	37
Şekil 4.21	: Çalışmada uygulanan deneysel yöntemi temsil eden akış diyagramı.....	38

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

<b>k</b>	: Görünür hız sabiti, mol/L.dk
<b>k<sub>o</sub></b>	: Arrhenius sabiti, mol/L.dk
<b>C<sub>A</sub></b>	: Asetik asit derişimi, M
<b>K/S</b>	: Katı/sıvı oranı, g/mL
<b>KH</b>	: Karıştırma hızı, rpm
<b>E<sub>a</sub></b>	: Aktivasyon enerjisi, J/mol
<b>t</b>	: Zaman, dk
<b>X<sub>Zn</sub></b>	: Çinko çözünme kesri
<b>m</b>	: Kütle, g
<b>g</b>	: Gram
<b>L</b>	: Litre
<b>°C</b>	: Santigrat derece
<b>K</b>	: Kelvin
<b>mL</b>	: Mililitre
<b>M</b>	: Molarite, mol/L
<b>rpm</b>	: Revolutions per minute, dev/dakika
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>R<sup>2</sup></b>	: Korelasyon katsayısı
<b>MTA</b>	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ATIK PİL TOZLARINDAKİ ÇİNKO OKSİDİN ASETİK ASİT ÇÖZELTİLERİNDE LİÇ KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ

Bayram SİTİL

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

46+viii sayfa

2020

Danışman: Prof. Dr. Asım KÜNKÜL

Bu çalışmada, atık çinko alkali pillerdeki çinko tozunun asetik asit çözeltilerindeki çözünme kinetiği incelenmiştir. Çinko tozunun asetik asit çözeltilerindeki çözünürlüğü üzerine deney parametrelerinin etkileri incelenmiş ve çözünme kinetiğini temsil etmek üzere bir matematiksel model önerilmiştir. Çözünme prosesi üzerine asetik asit derişimi, çinko tozu miktarı (katı/sıvı oranı), reaksiyon sıcaklığı, parçacık boyutu ve karıştırma hızının etkileri araştırılmıştır. Asetik asit derişimi, karıştırma hızı ve reaksiyon sıcaklığının artması; katı/sıvı oranı ve parçacık boyutunun azalmasıyla çinkonun çözünme hızının arttığı gözlenmiştir. Çözünme deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak kinetik analiz yapılmış ve çözünme hızının ikinci mertbe kinetiğe uyduğu belirlenmiştir. Çözünme işlemi için aktivasyon enerjisi 36.1 kJ/mol olarak bulunmuş ve çözünme işleminin difüzyon kontrollü olduğu tespit edilmiştir. Deneysel yolla elde edilen çözünme kesri değerlerinin teorik çözünme kesri değerleriyle örtüşüğü görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Atık pil, çinko tozu, asetik asit, çözünme, kinetik.

## ABSTRACT

MSc. Thesis

### ZINC OXIDINE IN WASTE BATTERY POWDER INVESTIGATION OF LEACH KINETICS IN ACETIC ACID SOLUTIONS

Bayram SİTİL

Inonu University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Chemical Engineering

46+viii pages

2020

Supervisor: Prof. Dr. Asım KÜNKÜL

In this study, dissolution kinetics of zinc dust in acetic acid solutions in waste zinc alkali batteries were investigated. The effects of experimental parameters on the solubility of zinc powder in acetic acid solutions were examined and a mathematical model was proposed to represent the dissolution kinetics. The effects of acetic acid concentration, zinc dust content (solid / liquid ratio), reaction temperature, particle size and mixing speed on the dissolution process were investigated. Increase of acetic acid concentration, stirring speed and reaction temperature; It was observed that the dissolution rate of zinc increased with the decrease in solid / liquid ratio and particle size. Kinetic analysis was performed using the data obtained from dissolution experiments and it was determined that the dissolution rate was compatible with the second order kinetics. The activation energy for the dissolution process was found to be 36.1 kJ / mol and it was determined that the dissolution process was diffusion controlled. It was observed that the dissolution fraction values obtained by experimental method coincided with the theoretical dissolution fraction values.

**Key Words:** Waste battery, zinc powder, acetic acid, dissolution, kinetic.

## 1. GİRİŞ

Metal ve metal bileşiklerinin üretiminde esas hammadde kaynağı olarak cevherlerden yararlanılır. Ancak günümüzde hammadde kaynaklarının azalmaya başlaması ve çevre korumaya yönelik duyarlılığın artması ile metal içeren farklı atık maddeler de metal üretimi amacıyla değerlendirilmektedir.

Atık piller içersindeki yüksek miktarlardaki metal değerler sebebiyle tehlikeli atıklar olarak düşünülürler. Bu atıkların çevreye bırakılması başlıca toprak ve su kirliliğine sebep olmakta ve dolaylı yoldan canlılar için tehlike oluşturmaktadır. Her ne kadar atık pillerin depolanması için özel alanlar oluşturulmuş olsa da yüksek metal içerikleri bu tip atıkları değerli kılmaktadır. Dolayısıyla son yıllarda atık pillerden metal kazanılmasına yönelik çok sayıda araştırma yapılmıştır.

Metal içeren bir katıdan değerli metallerin kazanılmasında uygulanan yöntemlerden birisi hidrometalurjidir. Bu yöntem sulu çözeltiler yardımı ile cevher, konsantre veya çeşitli atıklardan metal ve bileşiklerinin üretimini kapsayan bir yöntemdir. Temel olarak liç, çözelti saflaştırma ve kazanma basamaklarından oluşan hidrometalurjik yöntem, atık pillerden metal kazanılmasında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

Atık pillerden hidrometalurjik yöntemle metal kazanılması ile ilgili çalışmalarda özellikle çinko karbon ve alkali çinko mangan dioksit pillerden elde edilen pil tozlarındaki çinko ve manganın kazanılması üzerine odaklanıldığı görülmektedir. Bir çinko alkali pilde anot olarak metalik çinko kullanılır. Pilin kullanımı sırasında çinko yükseltgenerek çinko okside dönüşmektedir. Ancak bitmiş bir çinko alkali pilde önemli miktarda metalik halde çinko bulunmaktadır.

Mevcut çalışmada atık çinko alkali pillerdeki çinko pil tozunun hidrometalurjik yöntemler yardımıyla çözeltilere geçmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, bitmiş çinko alkali pillerden elde edilen çinko tozunun asetik asit çözeltilerinde çözündürülerek çinko iyonları halinde çözeltilere geçmesi sağlanmıştır. Asetik asit derişimi, çinko miktarı (katı/sıvı oranı), karıştırma hızı, parçacık boyutu ve reaksiyon sıcaklığının çinko çözünürlüğü üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Deneylelerden elde edilen veriler kullanılarak çözünme kinetiğini temsil eden bir matematiksel model oluşturulmuştur.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

Cevherler istenen metalin yanında başka metalleri de içerisinde bulunduran ve ekonomik değere sahip karmaşık yapıdaki kayaçlardır. Cevherler metaller için temel hammadde kaynaklarıdır. Metaller doğada genellikle sülfürlü, silikatlı, oksitli veya karbonatlı cevherleri halinde bulunmaktadır. Metaller bu cevher ya da minerallerden metalürjik yöntemler aracılığıyla ekstrakte edilerek kazanılabilir ve çeşitli alanlarda kullanılan farklı ürünlere dönüştürülebilir [1-4].

Geçiş elementleri arasında yer alan ve demir dışı metaller sınıfında bulunan çinko, alüminyum ve bakırdan sonra çeşitli endüstri alanlarında en çok kullanılan üçüncü metal konumundadır [5]. Metalik halde, diğer metallerle oluşturduğu alaşımları ve bileşikleri halinde çok geniş bir uygulama alanı olan çinko; boya, kozmetik, gıda, ilaç, otomobil, deterjan, tekstil, inşaat, deri ve gübre endüstrilerinde, kuru pil üretiminde, metal kaplamada ve katalizör olarak birçok alanda kullanılmaktadır [5-7].

Çinko açık gri renkte kırılğan bir metaldir. Kuru ortamda kararlı olup nemli ortamda ise bazik karbonat katmanıyla kaplanabilir. Mineral asitlerde hidrojen çıkararak sıcak alkali çözeltilerde ise kompleks çinkat iyonu oluşturarak ve hidrojen çıkışıyla birlikte çözünebilir. Sulu çözeltilerde 2+ yükseltgenme basamağına sahip iyon halinde bulunur ve oluşturduğu bileşiklerle genellikle iyonik bağ yapar. Amonyak, aminler ve siyanür iyonları ile kompleks bileşikler oluşturabilir. -0.76 V indirgenme potansiyeline sahip olan çinko, demir ve çelik malzemeleri katodik koruma amaçlı olarak fazlaca kullanılmaktadır. Çinkonun klorür, sülfat ve nitrat bileşikleri suda oldukça çözünürken oksit, karbonat, silikat ve fosfat bileşikleri çözünmez veya çok az çözünürler. 100-150 °C sıcaklık aralığında dövülebilir hale gelirken 210 °C civarında kırılğan olmaya başlar [2, 8]. Çeşitli endüstri alanlarında ve günlük hayatta önemli bir yere sahip olan çinkonun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.1.'de [2] gösterilmiştir.

Periyodik tablonun 2B grubunda bulunan ve yer kabuğunda yaklaşık % 0.013 oranında mevcut olduğu tahmin edilen çinko, doğada genellikle sülfürlü, oksitli, karbonatlı ve silikatlı cevherleri halinde bulunmaktadır [2, 3]. Sülfürlü cevherlerine sfarelit ( $ZnS$ ), oksitli cevherlerine zinkit ( $ZnO$ ), karbonatlı cevherlerine smitsonit ( $ZnCO_3$ ) ile hidrozinik

( $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$ ) ve silikatlı cevherlerine de willemite ( $Zn_2SiO_4$ ) ve hemimorfite ( $Zn_4Si_2O_7(OH)_2H_2O$ ) örnek olarak verilebilir [9].

Çok sayıda çinko cevheri olmasına rağmen bunlar arasında en bilinenleri ve ticari öneme sahip olanları Çizelge 2.2’de verilmiştir [1-3, 9].

**Çizelge 2.1 :** Çinkonun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Simgesi	Zn
Atom numarası	30
Atom kütlesi	65.4 g/mol
Değerliği	2+
Elektron Konfigurasyonu	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>
Kristal Yapısı	Hekzagonal
Erime Noktası	505.6 K
Kaynama Noktası	1180 K
Yoğunluğu	5.765 g/cm <sup>3</sup>
Buharlaşma Isısı	295.8 kJ/mol
Erime Isısı	7.029 kJ/mol
Sertlik Derecesi	2.5 mohs
Isıl İletkenliği	63 W/m.K

**Çizelge 2.2 : Yaygın olarak bulunan bazı çinko mineralleri.**

<b><u>Mineral Adı</u></b>	<b><u>Kimyasal Formülü</u></b>	<b><u>Çinko İçeriği, %</u></b>
Sfarelit	ZnS	67
Zinkit	ZnO	20
Smitsonit	ZnCO <sub>3</sub>	52
Hemimorfit	Zn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	54
Willemite	Zn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	59
Fraklinit	(Zn, Fe, Mn)O.(Fe <sub>2</sub> ,Mn <sub>2</sub> )O <sub>3</sub>	21
Hidrozkinkit	Zn <sub>5</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>	59

Çizelge 2.2’de sözü edilen bazı çinko mineralleri Şekil 2.1’de [10] gösterilmiştir. Dünyadaki en zengin çinko yatakları Amerika’nın doğu eyaletlerinde, Mississippi Nehri civarında, Kanada, Polonya, Meksika, Rusya ve Avustralya’da bulunmaktadır. Çinko mineralleri çoğu zaman kurşun mineralleri ile birlikte bulunmaktadır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) verilerine göre ülkemizdeki çinko-kurşun yatakları başlıca Aladağ (Orta Toroslar), Rize (Çayeli), Amasya (Gümüşhacıköy), Siirt (Madenköy), Çanakkale ve Gümüşhane bölgelerinde yer almaktadır [11]. Türkiye’deki başlıca çinko-kurşun yatakları Şekil 2.2’de verilmiş olan haritada görülmektedir [11].



**Şekil 2.1 : Bazı önemli çinko mineralleri.**



**Şekil 2.2 :** MTA verilerine göre Türkiye’deki çinko-kurşun yatakları.

Geniş bir kullanım ve uygulama alanına sahip olan çinko ve bileşiklerinin üretimi, esas olarak çinko içeren cevherlerin pirometalurjik, hidrometalurjik ve piro-hidrometalurjik yöntemlerin uygulanması suretiyle gerçekleştirilmektedir [2, 3, 12].

## 2.1. Çinko Üretim Prosesleri

Metaller için esas kaynak durumunda olan doğal cevherlere pirometalurjik, hidrometalurjik ve bu iki yöntemi birlikte içeren piro-hidrometalurjik yöntemlerin uygulanması ile metal ve metal bileşiklerinin üretimi yapılabilmektedir. Pirometalurjik yöntem genellikle tenör oranı yüksek sülfürlü cevherlere uygulanmaktadır. Temel olarak kırma, öğütme, flotasyon, eritme ve saflaştırma safhalarını içermektedir. Bu yöntemde cevher yüksek sıcaklıklarda kavrularak yapısındaki kükürdün uzaklaştırılması sağlandıktan sonra elde edilen malzeme fırınlarda cüruf yapıcılarla birlikte ergitilir ve metalce zengin bir mat fazı üretilir. Elde edilen mat fazı havanın oksijeni ile yükseltgenerek ham metal üretimi gerçekleştirilir. Son aşamada üretilen ham metale uygun saflaştırma işlemleri uygulanarak yüksek saflıkta metal üretimi gerçekleştirilmiş olur [1, 3, 13]. Teknolojik gelişme dünya genelinde metaller için talebin artmasına sebep olmuştur. Sonuç olarak yüksek tenörlü sülfürlü cevherler yoğun bir şekilde tüketilmiştir. Bu talebin karşılanabilmesi bakımından metaller için doğal kaynaklar olan ancak tenörü düşük olması sebebiyle işlenmesi ekonomik olmayan oksitli, karbonatlı ve silikatlı cevherler de uzun bir süreden beri metal üretiminde değerlendirilmektedir. Bunlara ilave olarak ikincil kaynaklar olarak ifade edilen hurda metal veya metal içeren çeşitli atıklar da metal üretiminde son

yıllarda yoğun bir şekilde değerlendirilmektedir [5, 14-16]. Özellikle cevherdeki karbonatlı gang minerallerinin flotasyon ile ayrılmasının güç olması sebebiyle düşük tenörlü oksitli ve karbonatlı cevherlere hidrometalurjik yöntemin uygulanmasının daha uygun olacağı literatürde belirtilmektedir [17, 18]. Metal içeren ikincil kaynaklardan veya atıklardan da metal kazanılmasında, kaynağa bağlı olarak yukarıda ifade edilen metalurjik yöntemler başarılı bir şekilde uygulanmaktadır [15].

Çinko üretimi için temel ham madde kaynağı sülfürlü bir çinko cevheri olan sfalerittir (ZnS). Sfalerit cevherinden çinko üretimi geleneksel olarak kavurma, liç ve elektroliz işlemlerinin uygulanmasıyla yapılmaktadır. Böylece çinko üretiminde pirometalurjik ve hidrometalurjik yöntemler birlikte uygulanmış olmaktadır [12, 19]. Cevher flotasyon ile konsantre edildikten sonra, bu konsantre çinko oksit elde etmek üzere kavurma işlemine tabi tutulur. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan konsantreden kükürt dioksit uzaklaşır ve çinko oksit elde edilir. Çinko oksit sülfürik asit çözeltisinde çözündürüldükten sonra elektroliz işlemi ile çinko metali üretilir [12, 19-21]. Bu yöntemin en önemli dezavantajı kavurma işlemi neticesinde yüksek miktarda kükürt dioksit açığa çıkmasıdır.

Yüksek tenörlü sülfürlü çinko cevherlerinin yoğun tüketimi sonucunda bu tip cevherlerin azalması ile birlikte alternatif çinko kaynaklarının değerlendirilmesine yönelik olarak dünya genelinde çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Çinko talebini karşılamak amacıyla oksitli, karbonatlı ve silikatlı çinko cevherlerinin işlenmesine dair araştırmalar yapılmıştır [6, 22]. Bu tip cevherlerin değerlendirilmesinde, az enerji gerektirmeleri, işlem maliyetinin düşük olması, hava kirliliğine daha az sebep olmaları ve üretim sonunda oluşacak atıkların daha kolay kontrol edilebilmeleri gibi yönlerinden dolayı hidrometalurjik yöntemlerin uygulanması daha makul görülmektedir [5, 14, 23].

Hidrometalurji sulu çözeltilerde meydana gelen kimyasal reaksiyonlar yoluyla metal ve metal bileşiklerinin üretilmesi ile ilgili olan metotları kapsayan bir prosestir. Katı yapıdaki metal kaynağında bulunan istenen metalin sulu çözeltide gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucunda katı fazdan çözelti fazına transfer edildiği liç, katının çözünmeyen kısmı ile çözeltinin ayrıldığı filtrasyon, liç çözeltisinden istenmeyen metal iyonlarının uzaklaştırıldığı ayırma ve saflaştırma adımı ile istenen metalin metalik halde veya bileşiği halinde elde edildiği kazanma basamakları, hidrometalurjik prosesin esasını oluşturmaktadır [1, 3, 24]. Söz konusu yöntemin uygulanmasıyla farklı çözücüler

kullanılarak oksitli, karbonatlı ve silikatlı çinko cevherlerinin işlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar literatürde yer almaktadır [9, 12, 21, 22, 25-28].

Günümüzde birçok metal için ikincil kaynaklar olarak ifade edilen hurda metaller, çeşitli endüstriyel işlemler sonucunda ortaya çıkan katı ve sıvı atıklar ile metal içeren çeşitli kaynaklar da (ömrünü tamamlamış elektronik atıklar gibi) metallerin üretiminde ham madde olarak değerlendirilmektedir [6, 14, 29-31]. Çeşitli atık maddelerin metal üretiminde girdi olarak kullanılması ile doğal ham madde kaynaklarının korunmasının yanı sıra çevreye bırakılan atık miktarında bir azalma sağlanmış olur [29]. Bu yüzden ekonomik ve çevresel sebeplerden ötürü son yıllarda metal ve metal bileşiklerinin üretiminde atık maddelerin işlenmesine yönelik çalışmaların sayısında bir artış gözlenmektedir. Bahsedilen ikincil metal kaynaklarından da metallerin kazanılması pirometalurjik ve hidrometalurjik yöntemler yardımıyla gerçekleştirilebilir.

Çinko için ikincil kaynaklar olarak çinko külü, çinko cürufu, elektrik ark fırını baca tozları, pirinç izabe atıkları, hurda otomobil parçaları, galvanizleme tesisi atık çözeltileri ve atık piller sayılabilir. İfade edilen bu ikincil kaynaklarda çinko, kaynağa bağlı olarak çeşitli safsızlıklarla birlikte genellikle metal, oksit ve/veya alaşım halinde bulunabilmektedir [32-35]. Çinko içeren bu atıklar arasında atık alkali çinko mangan dioksit piller ile çinko-karbon piller son yılların önemli bir araştırma konusunu oluşturmaktadır.

## **2.2. Atık Piller**

Pil kimyasal enerjinin depolanarak elektrik enerjisine dönüştürülmesinde kullanılan elektrokimyasal bir ayardır. Genel olarak bir pil anot, katot, elektrolit ve dış kısımdan oluşmaktadır. Anottan katoda doğru bir elektron akımı meydana gelmesi ile elektrik enerjisi elde edilmektedir [42, 43].

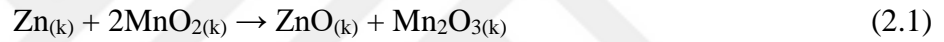
Piller basit piller, tersinir piller ile yakıt pilleri olarak sınıflandırılabilir ve bunlar da kendi aralarında çeşitli gruplara ayrılabilir [44]. Bununla birlikte pilleri tek kullanımlık şarj edilemeyen piller ile tekrar tekrar kullanılabilen şarj edilebilir piller olarak sınıflandırmak da mümkündür.

Basit veya tek kullanımlık şarj edilemeyen pillere en genel örnekler çinko-karbon piller ve alkali çinko mangan dioksit pillerdir. Bu tip piller basit ve ucuz olmaları ve birçok elektronik cihaz için yeterli enerjiyi sağlayabilmelerinden dolayı yaygın olarak

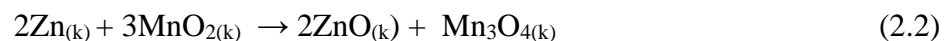
kullanılmaktadır. El fenerleri, çeşitli oyuncaklar, saatler, radyo ve fotoğraf makinası gibi düşük güç gerektiren birçok cihazda bu pillerden yararlanılmaktadır [45]. Bu tür pillerin üretiminde çeşitli metal ve metal bileşiklerinden faydalanılmakla birlikte esas olarak çinko ve mangan içerirler.

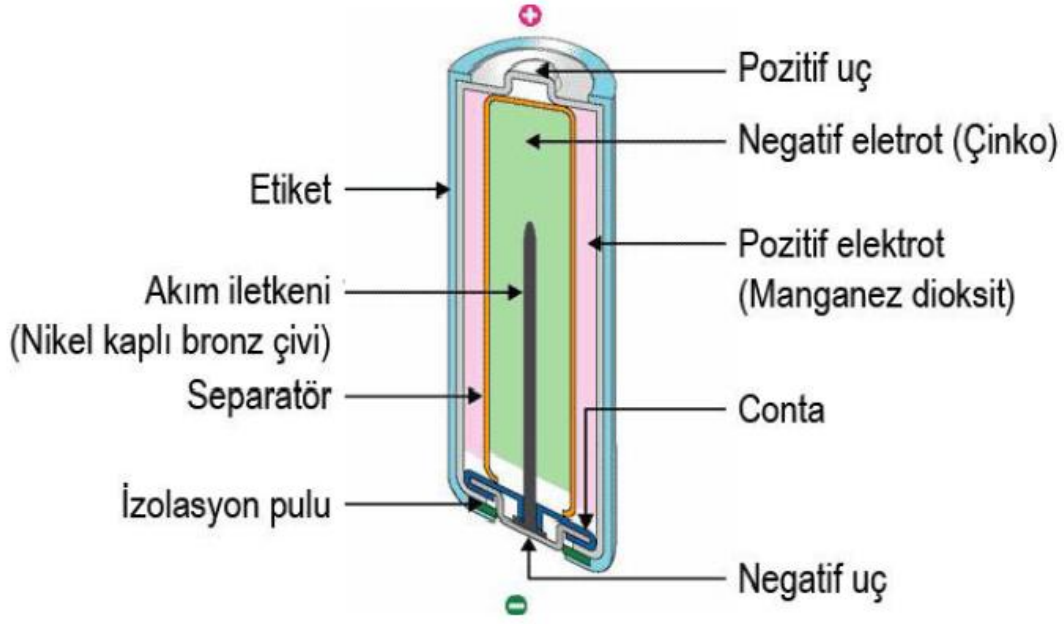
Çinko karbon piller anot olarak silindirik biçiminde metalik çinko, katot olarak mangan dioksit toz ve elektrolit olarak sulu amonyum klorür ve/veya çinko klorürden oluşur.

Anot olarak kullanılan çinko aynı zamanda pil bileşenlerinin içine yerleştirilmiş olduğu bir kılıf vazifesi de görmektedir. Pilin kullanımı esnasında meydana gelen yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonları neticesinde çinko yükseltgenerek çinko okside dönüşürken, katot olarak kullanılan mangan dioksit ise indirgenerek  $Mn_2O_3$  bileşimini oluşturmaktadır [45, 47-49]. Bir çinko-karbon pilin kullanımı sırasında meydana gelen toplam reaksiyon basitçe Eşitlik 2.1’de verilmiştir.



Alkali çinko mangan dioksit pillerde de çinko karbon pillerde olduğu gibi anot ve katot olarak aynı maddeler kullanılmaktadır. Ancak bu tip pillerde çinko metali toz halinde kullanılır ve elektrolit olarak ise potasyum hidroksitten yararlanır. Metalik toz çinko ve potasyum hidroksit çözeltisinden oluşan anot kısmı ile mangan dioksit ve karbon toz karışımından oluşan katot kısmı bir ayırıcı vasıtasıyla birbirinden ayrılmış halde bulunur. Ayrıca bu pillerde bir bakır çinko alaşımı olan ve akım toplayıcı görevi gören pirinç malzeme anot karışımı ile temas halinde bulunmaktadır. Bu pillerin de deşarjı sırasında çinko yükseltgenmekte ve çinko okside dönüşürken mangan dioksit indirgenerek  $Mn_3O_4$  bileşimini oluşturmaktadır [45, 47]. Bir alkali çinko mangan dioksit pilin kullanımı sırasında meydana gelen toplam reaksiyon basitçe Eşitlik 2.2’de verilmiştir. Şekil 2.3’te [46] bir çinko alkali pilin yapısı gösterilmiştir.





Şekil 2.3 : Alkali çinko mangan dioksit pilin yapısı.

Kullanım ömrünü tamamlamış veya uğramış olduğu fiziksel hasar sonucu kullanılmayacak duruma gelmiş piller atık pil olarak tanımlanır. Yukarıda ifade edildiği gibi çinko-karbon ve alkali mangan dioksit piller kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürken meydana gelen indirgenme-yükseltgenme reaksiyonları neticesinde başlangıçta içerdikleri metal türler farklı yükseltgenme basamağına sahip kimyasal türlere dönüşür. Böylece ömrünü tamamlamış, bitmiş veya atık pil olarak ifade edilebilen çinko-karbon ve alkali mangan dioksit pillerden elde edilecek pil tozlarının önemli miktarda  $ZnO$ ,  $MnO_2$ ,  $Mn_2O_3$  ve  $Mn_3O_4$  gibi metal oksitlerin yanı sıra metalik çinko ve elektrolitten kaynaklı türleri içerdiği söylenebilir [45, 47-50].

Çinko-karbon veya alkali mangan dioksit piller ömürlerini tamamladıktan sonra tekrar kullanılmadıklarından dolayı genellikle evsel atıklarla birlikte atılmaktadırlar. Bitmiş piller metal içerikleri sebebiyle tehlikeli atıklar sınıfında yer aldıkları için bunların evsel atıklarla birlikte alıcı ortama bırakılması ile mekanik etkiler veya atmosfer koşulları neticesinde su, toprak ve havaya geçerek çevresel sorunlara sebep olabilecekleri gibi dolaylı yollarla canlı sağlığını da tehdit edebilirler. İfade edilen olumsuzlukları sebebiyle atık pillerin evsel atıklardan ayrı bir alanda depolanmaları zorunluluğu söz konusu olmaktadır. Bu tip atıkların araziye gömme yoluyla bertaraf edilmesi çevre koruma açısından bir çözüm olabilir. Ancak hâlihazırda bu tür depolama sahalarının yetersiz oluşu atık pillerin bertaraf edilmesine kalıcı ve etkili bir çözüm yolu olmamaktadır. Pillerin fazla

miktarda kullanıldıkları ve buna bağılı olarak ortaya çıkan atık miktarının büyüklüğü dikkate alındığı zaman daha makul bir yol atık pilleri metaller için ikincil hammadde kaynağı olarak değerlendirmek ve içerdikleri metal değerleri geri kazanmak olabilir. Böylece, pil yapımında kullanılan metallerin doğal kaynaklarının korunmasına yardımcı olunabileceği gibi, pil kaynaklı atık miktarı azaltılarak çevresel etkilerinin mümkün olduğu kadar en aza indirilebilmesi ve ekonomiye katkı sağlanması da söz konusu olabilir [16, 29, 43, 51]. Böylece, atık pillerin çevresel etkilerini ve atık miktarını en aza indirebilmek amacıyla, bu atıkların pirometalurjik ve/veya hidrometalurjik yöntemlerle işlenmesi ve metal içeriklerinin kazanılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Atık çinko-karbon ve alkali mangan dioksit pillerden metal değerlerin kazanılmasına yönelik literatürdeki çalışmalar incelendiği zaman hidrometalurjik yöntemlerin tercih edildiği görülmektedir. Atık pil tozlarından hidrometalurjik metot ile çinko ve/veya mangan kazanılmak istendiğinde ilk basamak olarak katı pil tozunun liç işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Dolayısıyla literatürde mevcut olan çalışmalar daha çok pil tozlarının çeşitli çözücülerle liç işlemine tabi tutulması ve pil tozundaki çinko ve manganın çözelti ortamına alınması üzerine yoğunlaşmıştır [51, 52].

Atık pil tozlarının liç işleminde ucuz olması kolay temin edilebilir olması ve çözme kabiliyetinin iyi olması sebebiyle daha çok sülfürik asidin sulu çözeltileri çözücü olarak kullanılmıştır. Alkali çinko mangan dioksit ve çinko-karbon pil tozlarından, çinko ve manganın kazanılmasıyla ilgili Buzatu ve diğ. (2014) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada liç reaktifi olarak sülfürik asitten yararlanılmış ve pil tozundaki mangan oksitlerin çözünürlüğünü arttırmak amacıyla indirgen madde olarak hidrojen peroksit kullanılmıştır. Çalışmada sülfürik asit derişimi, hidrojen peroksit derişimi, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresinin liç verimi üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Asit derişiminin artmasının hem çinko hem de mangan liç veriminde bir artış sağladığı belirlenmiştir. Bununla birlikte mangan çözünürlüğünün artmasında hidrojen peroksidin önemli bir etkisinin çözünme üzerinde etkili parametreler olduğu ve karıştırma hızının fazla bir etkisinin olmadığı ifade edilmiştir [52].

Zeytuncu (2016) tarafından sülfürik asidin sulu çözeltilerinin çözücü olarak kullanıldığı bir başka çalışmada atık alkali pil tozlarından çinko ve manganın kazanılması araştırılmıştır. Asit derişimi, katı/sıvı oranı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi gibi deney parametrelerinin çinko ve mangan liçi üzerine olan etkileri incelenmiştir. Mangan liç kinetiğinin de incelendiği çalışmada elde edilen çözeltideki çinko ve mangan iyonları

sodyum hidroksit çözeltileri kullanılarak hidroksit bileşikleri halinde çöktürülmüştür. Oluşan mangan hidroksit 800 °C’de ve çinko hidroksit ise 600 °C’de kalsinasyon işlemine tabi tutularak MnO<sub>2</sub> ve ZnO bileşikleri üretilmiştir [53].

Chen ve diğ. (2017) mangan çözünürlüğünü arttırmak için indirgen ajan olarak askorbik asit, okzalik asit ve sitrik asit içeren sülfürik asit çözeltilerinden faydalanılarak yaptıkları çalışmada atık pil tozlarındaki çinko ve manganın geri kazanımı üzerine deneyler gerçekleştirilmiştir. Sülfürik asit derişiminin 0.5 M, katı/sıvı oranının 20 g/L, reaksiyon sıcaklığının 25 °C, askorbik asit miktarının 10 g/L olduğu deney şartlarında 2 saatlik liç süresi sonunda pil tozundaki çinkonun % 91 manganın ise % 94 oranında çözeltiye geçtiği belirlenmiştir. Liç sonunda oluşan çözeltideki çinko ve mangan iyonlarını kazanmak için sodyum hidroksit çözeltileri kullanılmıştır. Mangan iyonları pH 13 civarında mangan hidroksit ve çinko iyonları da pH 10 civarında çinko hidroksit olarak çöktürülmüş ve oluşan katı ürünler kalsine edilerek MnO<sub>2</sub> ve ZnO bileşikleri elde edilmiştir [54].

Sülfürik asit ve hidroklorik asidin çözücü olarak, askorbik asit, okzalik asit ve sitrik asidin indirgen madde olarak kullanıldığı Sayılğan ve diğ. (2010) tarafından yapılan bir araştırmada çinko-karbon ve alkali çinko mangan dioksit pil tozlarının liç koşulları incelenmiştir. Okzalik asit kullanılarak yapılan deneylerde çinko iyonlarının çinko oksalat olarak çöktüğü gözlenmiştir. Böylece liç işleminde sitrik asit ve askorbik asidin kullanılmasının gerektiği ifade edilmiştir. 3 saat süreyle gerçekleştirilen liç işlemi sonunda koşullara bağlı olarak pil tozundaki mangan ve çinkonun % 100’ünün kazanıldığı belirtilmiştir [55].

Nogueira ve Margarido (2010) atık alkali çinko mangan dioksit pil tozlarındaki çinkoyu seçimli olarak çözmek için amonyum klorürün liç ajanı olarak kullanıldığı bir çalışma yürütülmüştür. Pil tozundaki çinkonun % 70 civarında çözünerek çözeltiye geçtiği buna karşılık manganın hemen hemen hiç çözünmediği ve pil tozunda kaldığı ifade edilmiştir. Amonyum klorür derişimi, sıcaklık ve reaksiyon süresinin çözünme üzerinde etkili parametreler olduğu ve karıştırma hızının fazla bir etkisinin olmadığı ifade edilmiştir [56].

Lopez ve diğ. (2017) atık çinko-karbon ve alkali çinko mangan dioksit pil tozlarından amonyum karbonat çözeltileri yardımıyla çinko kazanılmasını incelemiştir. Deneyler

sonunda çinko amonyum karbonat ürün olarak elde edilmiş ve bu ürün kalsinasyon işlemi ile çinko okside dönüştürülmüştür [57].

Demirkıran ve Turhan – Özdemir (2019) alkali çinko mangan dioksit pillerde, pilin çinko ve mangan içeren kısımlarının mekanik olarak birbirinden ayrılabilmesinden yararlanarak elde edilen çinko oksit pil tozunun sodyum hidroksit çözeltilerindeki çözünürlüğü ve kinetiği incelemiştir. Çözelti derişimi, reaksiyon sıcaklığı, karıştırma hızı, katı/sıvı oranı ve katı parçacık boyutunun çözünme üzerindeki etkileri deneysel olarak belirlenmiştir. Sodyum hidroksit derişimi, reaksiyon sıcaklığı ve karıştırma hızının artması ve katı/sıvı oranı ile parçacık boyutunun azalmasıyla çinko oksidin çözünürlüğünün arttığı gözlenmiştir. Çözünme işlemi sırasında çözünen çinkonun çinko hidroksit olarak önce çöktüğü ve daha sonra çinkat iyonu halinde tekrar çözüldüğü tespit edilmiştir. Çözünme kinetiğinin Avrami modeline uyduğu ifade edilmiştir. Oluşan çözeltiden çinko iyonları çinko hidroksi karbonat olarak kazanılmış ve kalsinasyon işlemi ile oldukça saf çinko oksit elde edilmiştir [58].

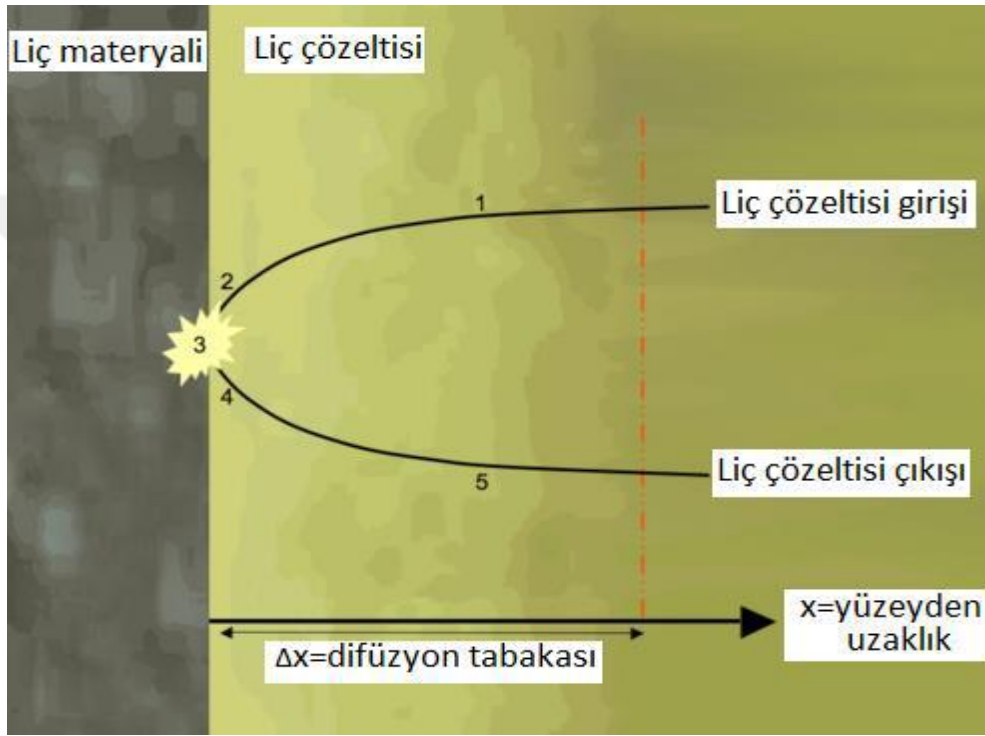
Atık pil tozları gibi katı bir maddeden istenen bir metalin liç işlemi ile kazanılmasına yönelik çalışmalarda, liç verimi üzerine bir parametrenin etkisi incelenirken genellikle diğer parametreler belli bir değerde sabit tutulur. Her bir deney parametresinin etkisinin incelenmesinde aynı yola başvurulduğundan birçok deney yapılması gerekmektedir ve aynı zamanda parametreler arasındaki karşılıklı ilişki de gözlenememektedir. Böylece deney sayısını azaltmak ve liç verimi üzerine etkisi olabilecek parametrelerin etkilerini belirlemek amacıyla çeşitli deneysel tasarım yöntemlerine başvurulabilir. Literatürde son yıllarda Taguchi, Box-Behnken ve merkezi karma tasarım (MKT) gibi çeşitli deneysel tasarım yöntemlerinin kullanıldığı liç çalışmalarının gerçekleştirildiği görülmektedir [49, 59-60].

### **2.3. Liç Proseslerinin Kinetiği**

Liç olayı bir katı ile sıvı çözücü arasındaki tepkime sonucu katının çözünmesi olayıdır. Liç işlemlerinde tepkime hızı, tepkimeye giren ya da tepkime sonucu oluşan ürünlerin miktarının zamanla değişimini göstermektedir ve genellikle zamanla azalmaktadır. Bu durumun tepkime ilerledikçe tepkimenin meydana geldiği yüzeyin küçülmesinden, çözücü derişiminin azalmasından ya da katı yüzeyinde yeni bir tabakanın oluşmasından kaynaklandığı kabul edilir. Liç işlemlerinde çözünme hızı doğrudan aktivasyon enerjisine

bağlıdır. Liç işlemlerinde aktivasyon enerjisinin büyüklüğü çözünmenin zor olduğunu, küçüklüğü ise, çözünmenin kolay olduğunu göstermektedir [61].

Kimyasal reaksiyonlar homojen ya da heterojen reaksiyonlar olarak gerçekleşebilir. Aynı fazdan oluşan reaksiyonlar homojen, birden çok faz içeren reaksiyonlar ise heterojen reaksiyonlar olarak bilinir. Liç işlemi bilinen en yaygın katı-sıvı heterojen reaksiyon modeli olup, genel olarak Şekil 2.4'te gösterildiği gibi beş adımda gerçekleşir [61].



Şekil 2.4 : Liç prosesinin basamakları.

1. Reaktanın difüzyon tabakasına doğru difüzyonu
2. Katı üzerine reaktanın adsorpsiyonu
3. Reaktan ve katı arasında kimyasal reaksiyon
4. Katı üzerinden ürün desorpsiyonu
5. Liç ürününün difüzyon tabakasından ( $\Delta x$ ) difüzyonu

Bir çözeltide difüzyon hızı, Eşitlik 2.3 'te gösterilen Fick Yasası ile belirlenir.

$$J = \frac{dn}{dt} = -A \cdot D \frac{dc}{dx} \quad (2.3)$$

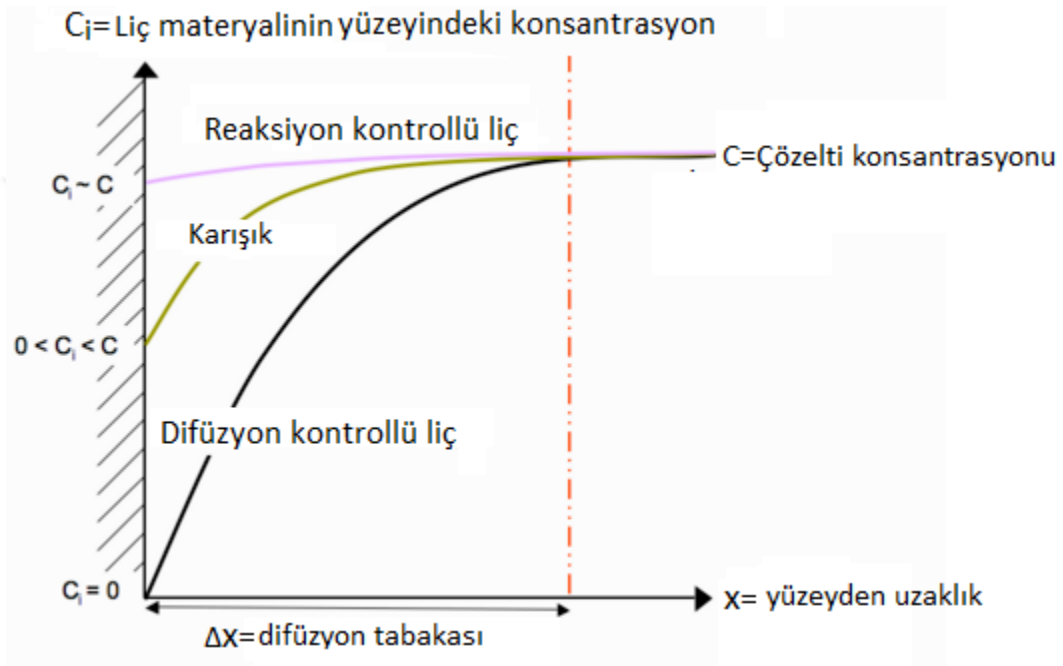
J= Birim zamanda yüzeyden difüzlenen madde miktarı

A= Reaksiyona giren taneciğin yüzey alanı

$D$ = Difüzyon katsayısı (birim yüzey / birim zaman)

$dC/dx$  = Konsantrasyonun uzaklıkla değişimi

Liç işleminin hızı liç yüzey alanına, difüzyon katsayısına ve konsantrasyonun uzaklıkla değişimi olan  $dx/dC$ 'e bağlıdır. Aynı zamanda konsantrasyon değişiminin de difüzyon tabakasının kalınlığına ( $\Delta x$ ) bağlı olduğu kabul edilmektedir. Liç işlemi uygulanan bir katının yüzeyindeki reaktan konsantrasyonunun değişim grafiği Şekil 2.5'teki gibidir [61].

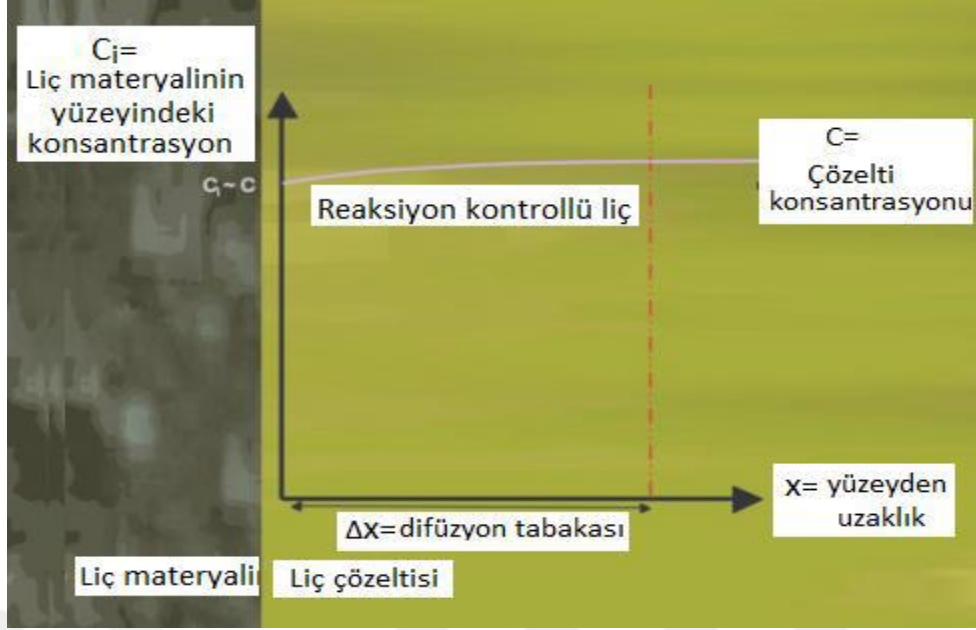


**Şekil 2.5 :** Liç işlemi uygulanan maddenin yüzeyindeki reaktan konsantrasyonunun değişim grafiği.

### 2.3.1. Liç reaksiyonunu kontrol eden basamaklar

#### 2.3.1.1. Kimyasal reaksiyon kontrollü liç

Kimyasal reaksiyon kontrollü liç işleminde yüzeydeki kimyasal reaksiyon hızı, difüzyon hızından daha yavaştır. Reaktanın katı yüzeyindeki konsantrasyonunun ana çözeltideki konsantrasyon ile yaklaşık olarak aynı olduğu kabul edilir. Kimyasal reaksiyonun, hızı kontrol eden basamak olduğu bu tür liç proseslerinde, aktivasyon enerjisi genellikle 40-100 kJ/mol civarındadır [61]. Kimyasal reaksiyon kontrollü liç işleminin grafiği Şekil 2.6'daki gibidir [61].



Şekil 2.6 : Reaksiyon kontrollü liç grafiği.

Heterojen reaksiyonda reaksiyon hızı, aşağıdaki Eşitlik 2.4 ile açıklanır.

$$-\frac{dW}{dt} = k \cdot A \cdot C \quad (2.4)$$

W = Katı taneciğin t anındaki kütlesi

k = Hız sabiti

A = Taneciğin yüzey alanı

C = Reaktan konsantrasyonu

Liç işlemine tabi olacak katının geometrisine bağlı olarak kinetik eşitlikler türetilebilir. Kimyasal reaksiyon kontrollü liç işlemi için büzülen tanecik modeline göre, Eşitlik 2.5 yazılabilir.

$$1 - (1 - x)^{1/3} = \left( \frac{k \cdot C \cdot t}{r_0 \cdot \rho} \right) \quad (2.5)$$

$\rho$  = Yoğunluk

X = Metalin dönüşüm fraksiyonu

$r_0$  = Partikül başlangıç yarı çapı

r = Partikül yarıçapı

$$x = 1 - \frac{r^3}{r_0^3} \quad (2.6)$$

$$r = r_0 \cdot (1 - x)^{1/3} \quad (2.7)$$

Yukarıdaki Eşitlik 2.6 ve Eşitlik 2.7'den de anlaşıldığı gibi liçin hızı, tanecik çapı ile ters orantılıdır. Liç çözeltisinin konsantrasyonunun sabit tutulması ve yoğunluğunun da bilinmesi şartıyla,  $1 - (1 - x)^{1/3}$  ile t arasında çizilen grafikten k hız sabiti belirlenebilir. Doğal olarak benzer eşitlik, yüzeyler için geometrileri matematiksel olarak hesaplanan kürelerden ayrı olarak hesaplanabilir [61].

### 2.3.1.2. Difüzyon kontrollü liç

Bu tip proseslerde liç işlemine tabi tutulan katı yüzeyi ile reaktan arasında meydana gelen difüzyon kimyasal reaksiyon hızından daha yavaştır. Difüzyon kontrollü liç işleminde aktivasyon enerjisi, genellikle 21 kJ/mol veya daha düşüktür. Difüzyon kontrollü liç Şekil 2.7' de gösterilmiştir[61].



Şekil 2.7 : Difüzyon kontrollü liç grafiği.

Kimyasal reaksiyon hızının difüzyon hızından daha büyük olduğu durumlarda liç işleminin difüzyon kontrollü olduğu söylenebilir. Liç prosesi sırasında, liç edilen partikül yüzeyi üzerinde gözenekli bir ürün tabakası oluştuğu zaman bu liç mekanizması difüzyon kontrollüdür. Küresel bir taneciğin difüzyon kontrollü liçe ait integrale hız ifadesi küçülen çekirdek modeline göre Eşitlik 2.8'deki gibidir.

$$1 - \frac{2}{3}x - (1 - x)^{2/3} = \frac{2.M.D.C}{\beta.\rho.r_0^2.t} \quad (2.8)$$

M= Moleküler kütle,

$\rho$  =Yoğunluk

$\beta$  =Stokiyometrik faktör

t= Süre

Eşitlik 2.8 küçülen çekirdek modeline göre, difüzyon kontrollü liçi açıklamaktadır. Bu eşitlikten de görüleceği; gibi liç hızı, taneciğin yarıçapının karesiyle ters orantılıdır. Konsantrasyonun (C) sabit olduğu varsayılırsa, difüzyon katsayısı (D) dışında her şey sabittir. Difüzyon katsayısı,  $1 - \frac{2}{3}x - (1 - x)^{2/3}$  ile t arasında çizilen diyagramın eğiminden belirlenebilir [61].

### 2.3.1.3. Karışık kontrollü liç

Yüzeydeki kimyasal reaksiyon hızı ile difüzyon hızı yaklaşık olarak aynıdır. Karışık kontrollü liçte, aktivasyon enerjisi 21-40 kJ/mol civarındadır [61]. Karışık kontrollü liç grafiği Şekil 2.8'deki gibi gösterilebilir [61].



Şekil 2.8 : Karışık kontrollü liç grafiği.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Kullanılan kimyasal maddeler

###### Asetik Asit

Asetik asit ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ , Merck, % 100,  $d=1.05 \text{ g/mL}$ ) zayıf bir asit olup suda kısmen iyonlaşır. Suda çözüldüğünde hidrojen iyonları oluşur. Deneysel çalışmada asetik asit çözeltileri çinko tozunun çözüldürülmesinde çözücü olarak kullanılmıştır. İstenen derişimde asetik asit çözeltisi hazırlamak için hesaplanan hacimde % 100'lük asetik asit çözeltisinden alınarak saf suyla 250 mililitreye tamamlanmıştır.

Çalışmada esas olarak asetik asit çözeltileri çözücü olarak kullanılmakla birlikte, çözücü türünün belirlenmesi deneylerinde amonyum asetat ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ , Merck, %96), amonyum klorür ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ , Aklar Kimya, % 99.7) ve amonyağın ( $\text{NH}_3$ , Merck, %25,  $d=0.9039 \text{ g/mL}$ ) sulu çözeltileri de kullanılmıştır.

###### Etilen Diamin Tetraasetik Asit Sodyum Tuzu (EDTA)

Etilen diamin tetraasetik asidin sodyum tuzu (EDTA-Titriplex III,  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , Merck, % 100) çözünme işleminden sonra metalden çözeltiye geçen çinko iyonlarının miktarını kompleksometrik yöntemle belirlemek amacıyla titrant olarak kullanılmıştır. Yaklaşık 0.01 M EDTA çözeltisi hazırlamak için bir miktar Titriplex III etüvde  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 1 saat süreyle kurutulduktan sonra oda sıcaklığına soğutulmuş ve bundan 7.445 g tartılarak saf suda çözmek suretiyle 2 L'lik bir çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan EDTA çözeltisini ayarlamak için primer standart bir madde olan kalsiyum karbonatın ( $\text{CaCO}_3$ , Merck, % 99) sulu hidroklorik asitte çözmesinden sonra elde edilen çözelti kullanılmıştır. Kalsiyum iyonlarını içeren çözeltiden belirli miktarlarda örnekler alınarak puffer tablet indikatörü çözeltiye eklenmiş ve çözelti amonyak/amonyum klorür tampon çözeltisi ile pH 10 olacak şekilde ayarlanmıştır. Daha sonra kalsiyum iyonları içeren çözelti yaklaşık 0.01 M olarak hazırlanmış olan EDTA çözeltisi ile renk kırmızıdan yeşile dönünceye kadar titre edilmiş ve EDTA çözeltisinin gerçek derişimi hesaplanmıştır. Bu analizde titrasyon çözeltisinin 1 mL'si  $0.40 \text{ mg Ca}^{2+}$ 'a karşılık gelmektedir [60].

## Puffer Tablet İndikatörü

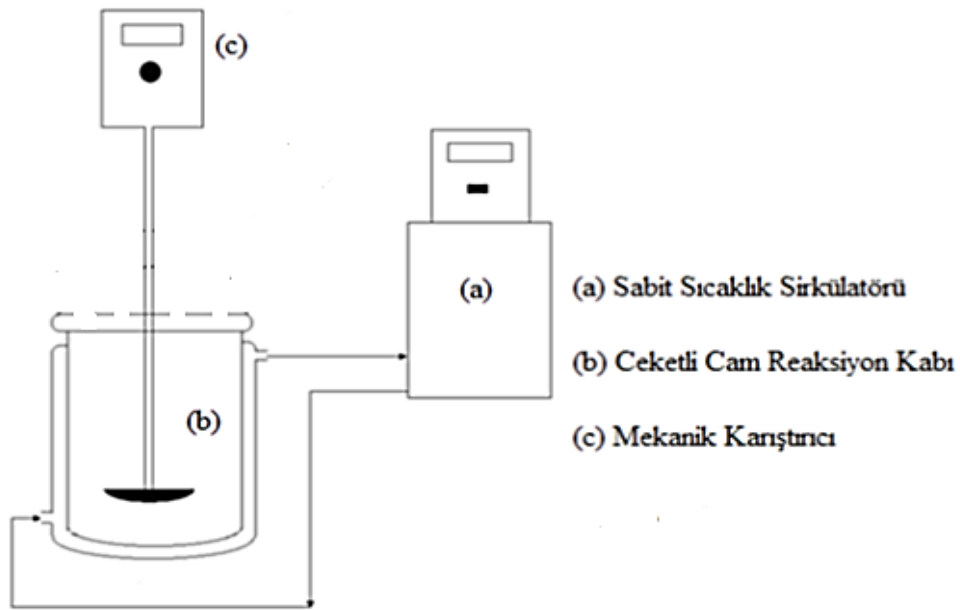
Puffer tablet indikatörü (Heksametilen tetramin amonyum klorür, Merck) çözünme işleminden sonra çözeltideki çinko iyonlarının tespit edilmesinde kullanılmıştır.

### 3.1.2. Kullanılan cihazlar

Çözünme deneylerini gerçekleştirmek için Şekil 3.1’de gösterilen deney düzeneğinden yararlanılmıştır.

Bu deney düzeneğinde reaksiyonlar 1 L hacimli ceketli bir cam reaktörde gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon süresince sıcaklığı sabit tutmak için sirkülatörlü su banyosundan (Poly Science Haake D8) yararlanılmış ve reaktör içeriğini karıştırmak için bir mekanik karıştırıcı (Heidolph, RZR 2021) kullanılmıştır.

Çözeltilerin pH değerlerinin belirlenmesi amacıyla pH-ion metre (WTW pMX 2000), tartımlar için hassas terazi (Mettler Toledo AB204-S) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan saf su Milli Pore Milli-Q Water Purification System saf su cihazından elde edilmiştir. Titrasyon işlemlerinde dijital büret (Isolab digitrat) ve çözeltilerin karıştırılmasında manyetik karıştırıcı (Yellowline MSH basic) kullanılmıştır. Çinko pil tozunun XRD analizi X-ray difraktometre cihazı (Rigaku RadB-DMAX II ) kullanılarak yapılmıştır.

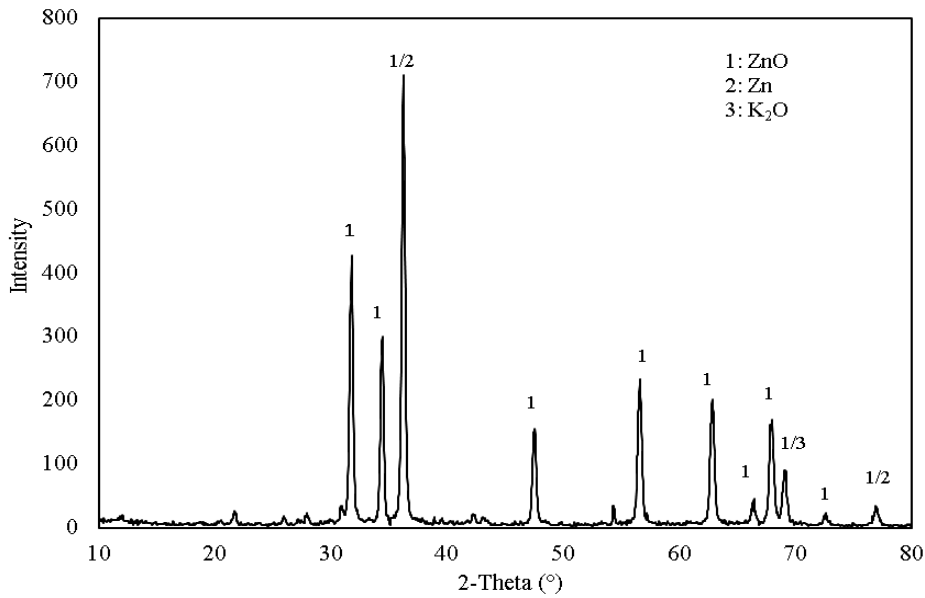


Şekil 3.1 : Çalışmada kullanılan deney düzeneği.

### 3.1.3. Deneylerde kullanılan hammadde

Çalışmada atık çinko alkali piller hammadde olarak kullanılmıştır. Toplanan çinko alkali piller el ile parçalanmış çinko tozları pilin diğer parçalarından ayrılmıştır. Oda sıcaklığında kurutulmuş çinko tozları çeşitli fraksiyonlarda eleklerden geçirilmek suretiyle parçacık boyutları tayin edilmiştir. Hazırlanan pil tozları çözünme deneylerinde kullanılmıştır.

Çinko pil tozları XRD analizi yapılmış ve Şekil 3.2 'de verilen X-ray analiz sonucuna göre, çalışmada kullanılan atık pil tozu çinko oksitten ibarettir. Pil tozunun kimyasal analizi Spectro Xcpus XRF spektrometre ile yapılmış ve %87.45 ZnO, %10.03 K<sub>2</sub>O ve %1.02 diğer oksitlerden ibaret olduğu tespit edilmiştir. Tozun nem içeriği 105 °C'de etüvde kurutma sonucunda %1.5 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.2 : Çinko pil tozunun XRD grafiği.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Çözme işleminin yapılışı

Çinko pil tozlarının çözündürülmesi Şekil 3.1'de temsili olarak gösterilen deney düzeninde gerçekleştirilmiştir. Ceketli cam reaktöre derişimi bilinen asetik asit çözeltisinden 250 mL konulduktan sonra sıcaklığın çalışılacak olan sıcaklık değerine ulaşması için bir süre beklenmiştir. Çalışılacak olan katı/sıvı oranına uygun miktarda çinko pil tozu tartılarak cam reaktöre ilave edildikten sonra reaktör içeriği mekanik karıştırıcı

vasıtasıyla bilinen karıştırma hızı değeri uygulanarak karıştırılmıştır. Çözünme işlemi süresince reaksiyon sıcaklığı sirkülatörlü su banyosu yardımıyla sabit tutulmuştur. Belirli zaman aralıklarında çözeltilerden 4 mL hacminde örnekler alınarak çözeltilere geçmiş olan çinko iyonlarının miktarı kompleksometrik titrasyon yöntemiyle belirlenmiştir. Çözme işlemi neticesinde çözeltilere geçmiş olan çinko miktarı aşağıda belirtilen şekilde tayin edilmiştir.

### Çinko Tayini

Her bir reaksiyon süresi için çözeltilerden alınmış olan örneğin 3 mL'lik kısmı üzerine bir miktar saf su ilave edilmiştir. Daha sonra bu çözeltinin pH değeri seyreltik sodyum hidroksit çözeltisi kullanılarak 7'ye ayarlanmıştır. pH'ı ayarlanan çözeltilere puffer tablet indikatörü eklendikten sonra çözünmesini takiben çözelti seyreltik amonyak çözeltisi yardımıyla pH 10'a ayarlanmıştır. Daha sonra çözeltinin rengi kırmızıdan yeşile dönünceye kadar ayarlanmış Titriplex III çözeltisiyle titre edilmiştir [69]. Derişimi tam olarak 0.01 M olan Titriplex III çözeltisinin 1 mL'si 0.654 mg Zn(II) iyonuna karşılık gelmektedir. Ayarlanmış olan titrasyon çözeltisinin derişimi 0.00996 M olarak belirlenmiştir. Bu derişimdeki Titriplex III çözeltisinin 1 mL'si 0.6515 mg çinko iyonuna karşılık gelmektedir. Bu değerler dikkate alınarak çözeltilerdeki çinko miktarı kompleksometrik yöntemle belirlendikten sonra çözünme kesri Eşitlik 3.1'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Çözünme kesri } (X_{Zn}) = \left[ \frac{\text{Çözeltilerdeki çinko iyonu miktarı}}{\text{Başlangıçta çinko tozundaki çinko miktarı}} \right] \quad (3.1)$$

Çözünme deneylerinde; asit derişimi, reaksiyon sıcaklığı, çinko miktarı (katı/sıvı oranı), parçacık boyutu ve karıştırma hızının çinkonun çözünmesi üzerine olan etkileri incelenmiştir. Deney parametreleri ve bunların değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1 :** Çözünme deneylerinde kullanılan parametreler ve değerleri.

Parametre	Değer				
Çözelti derişimi, M	0.1	0.2*	0.3	0.4	
Reaksiyon sıcaklığı, °C	25	30*	35	40	45
Madde miktarı, g	1	2*	3	4	
K/S oranı, g/mL	1/250	2/250*	3/250	4/250	
Ortalama parçacık boyutu, mm	0.505	0.3585	0.2535*	0.1795	
Karıştırma hızı, rpm	200	300	400*	500	

\*Diğer parametreler incelenirken sabit tutulan değerler.

Çözelti miktarı 250 mL de sabit tutulmuştur.

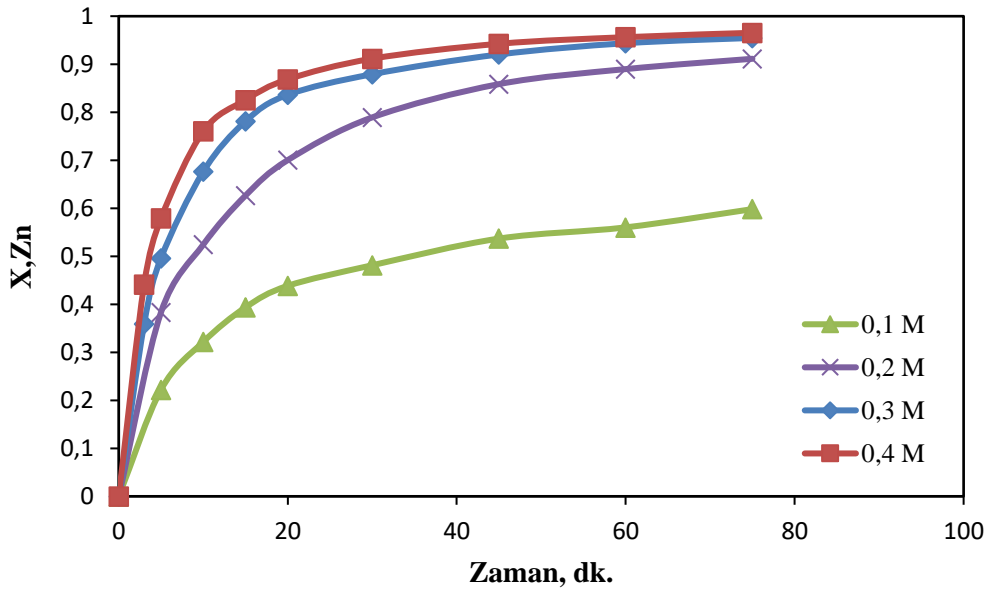
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE SONUÇ

Atık çinko alkali pillerden elde edilen pil tozunun asetik asit çözeltileri kullanılarak çözündürülmesi ile ilgili deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular; çinko çözünme deneyleri ve çözünme kinetiği deneyleri olmak üzere iki başlık altında incelenebilir.

### 4.1. Çinko Çözünme Deneyleri

#### 4.1.1. Çinko çözünmesi üzerine asetik asit derişiminin etkisi

Atık çinko alkali pillerden elde edilen çinko tozunun çözünürlüğü üzerine asetik asit derişiminin etkisi 0.1-0.4 M aralığında farklı derişimlerde 250 mililitre asetik asit çözeltileri kullanılarak incelenmiştir. Bu deneylerde çinko miktarı 2 g, karıştırma hızı 400 rpm, parçacık boyutu 0.2535 mm ve reaksiyon sıcaklığı 30 °C olarak alınmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.1'de zamana karşı çözünme kesri olarak gösterilmiştir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi asetik asit derişiminde bir artış olduğunda çinko pil tozlarının çözünme hızında da bir artış olmaktadır.

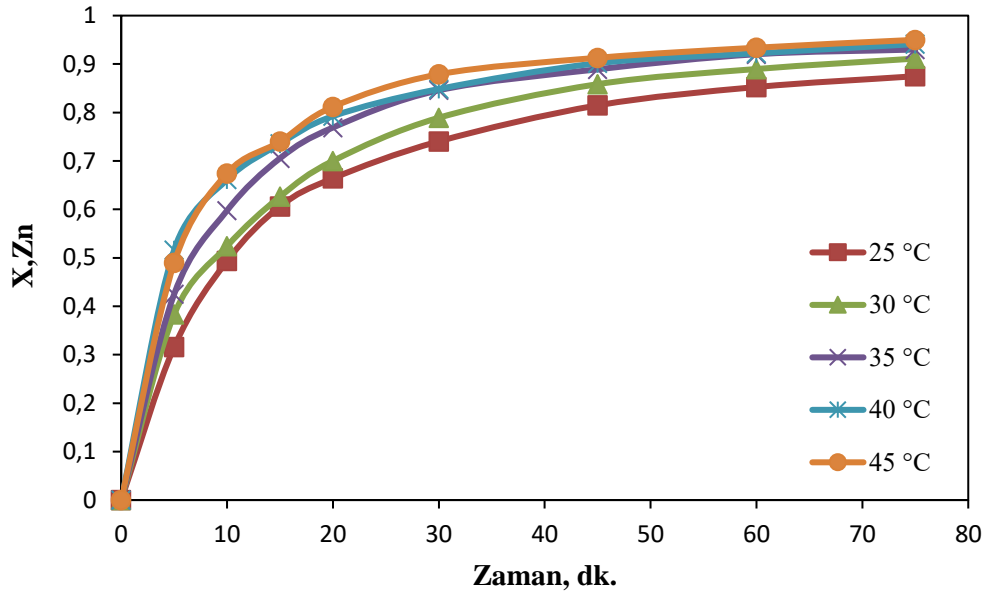


Şekil 4.1 : Çinko tozunun çözünmesi üzerine asetik asit derişiminin etkisi.

#### 4.1.2. Çinko çözünmesi üzerine sıcaklığın etkisi

Atık çinko alkali pillerden elde edilen çinko tozlarının asetik asit çözeltilerindeki çözünürlüğüne reaksiyon sıcaklığının etkisi 25-45 °C aralığındaki farklı sıcaklık değerleri uygulanarak incelenmiştir. Çözünme üzerine sıcaklığın etkisinin belirlenmeye çalışıldığı

deneylerde asetik asit derişimi 0.2 M karıştırma hızı 400 rpm, parçacık boyutu 0.2535 mm ve madde miktarı ise 2 g değerlerinde sabit alınmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen çözünürlük değerleri zamana karşı çözünme kesri olarak Şekil 4.2'te verilmiştir.

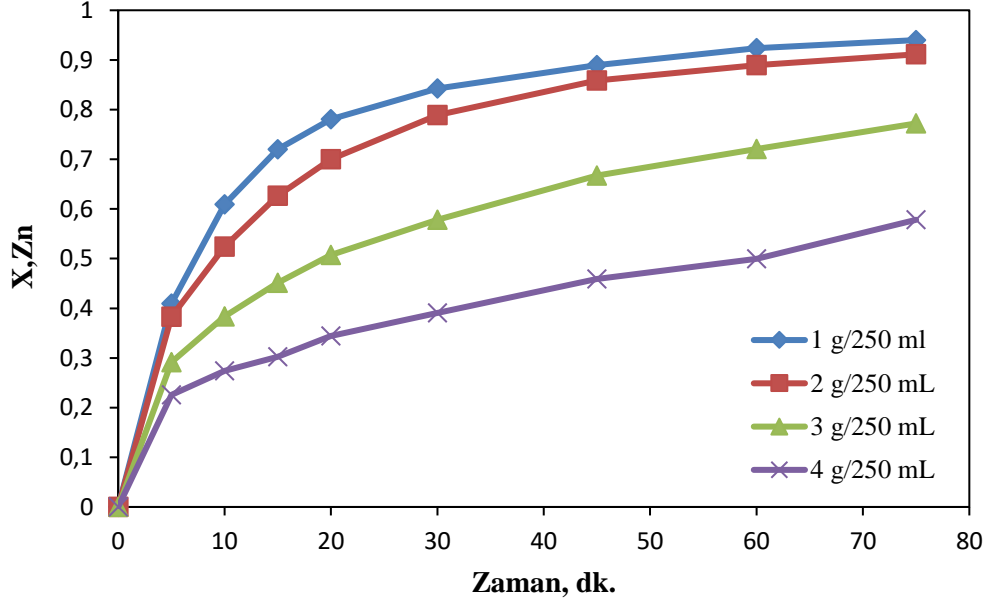


Şekil 4.2 : Çinko tozunun çözünmesi üzerine sıcaklığın etkisi.

Şekil 4.2'den gözleneceği gibi sıcaklığın artmasıyla çinko çözünürlüğü de bir miktar artmaktadır. Diğer deney parametreleri ile karşılaştırıldığında zaman sıcaklığın reaksiyon hızı üzerine önemli bir etkiye sahip olmadığı söylenebilir.

#### 4.1.3. Çinko çözünmesi üzerine madde miktarının etkisi

Çinko tozlarının asetik asit çözeltilerindeki çözünürlüğüne madde miktarının etkisi 1-4 g aralığında farklı miktarlarda çinko tozu 250 mililitre asetik asit çözeltisi içerisinde çözündürülerek çalışılmıştır. Bu deneylerde; asetik asit derişimi 0.2 M, karıştırma hızı 400 rpm, parçacık boyutu 0.2535 mm ve reaksiyon sıcaklığı 30 °C değerlerinde sabit tutulmuştur. Deneylerden elde edilen çözünme verileri zamana karşı çözünme kesri olarak Şekil 4.3'de verilmiştir. Şekil 4.3'den gözleneceği gibi çözünme işlemine kullanılan atık çinko tozu miktarının artmasıyla çözünme veriminde bir azalma olmaktadır. Çözünme reaksiyonlarında katı/sıvı oranının artması ile çözücünün birim hacmi başına düşen katı miktarı artacağından çözünme hızında bir azalma meydana gelmektedir.

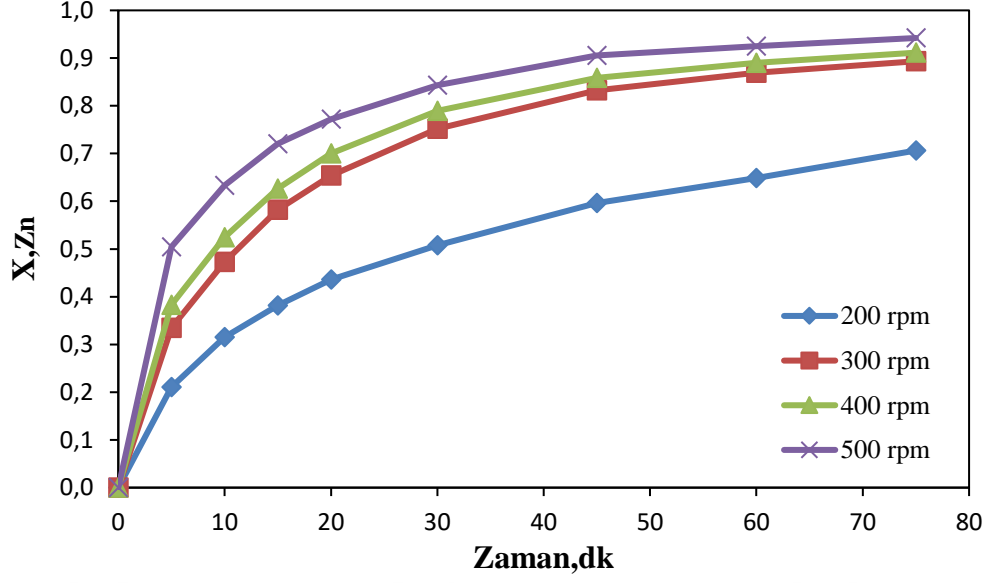


Şekil 4.3 : Çinko tozunun çözünmesi üzerine madde miktarının etkisi.

#### 4.1.4. Çinko çözünmesi üzerine karıştırma hızının etkisi

Karıştırma hızının çinko tozunun çözünmesi üzerine olan etkisi 200-500 rpm aralığında farklı karıştırma hızlarında araştırılmıştır. Deneylerde reaksiyon sıcaklığı 30 °C, asetik asit derişimi 0.2 M , parçacık boyutu 0.2535 mm ve çinko miktarı 2 g olarak alınmıştır. Karıştırma hızının etkisinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlar zamana karşı çözünme kesri değerleri Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekil 4.4'deki veriler incelendiği zaman karıştırma hızının çinkonun çözünmesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlenmektedir.

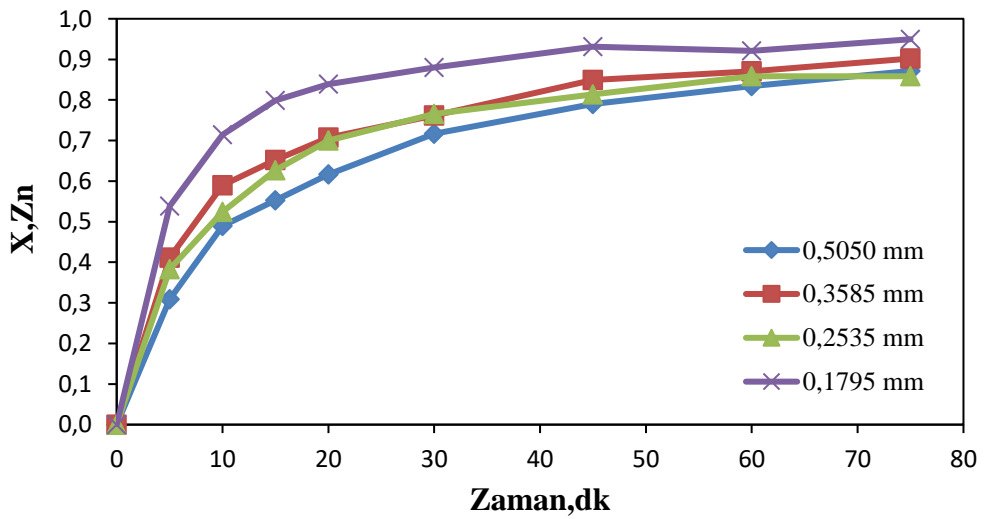
Karıştırma hızının artmasıyla çinko tozu çözelti ara yüzeyinde oluşan akışkan filminin kalınlığı azalır ve yüzeye doğru çözücünün kütle transferi kolaylaşmış olur. Bunun neticesinde katı çinkonun çözünürlüğünde bir artış meydana gelir.



Şekil 4.4 : Çinko tozunun çözünmesi üzerine karıştırma hızının etkisi.

#### 4.1.5. Çinko çözünmesi üzerine parçacık boyutunun etkisi

Parçacık boyutunun çinko tozunun çözünmesi üzerine olan etkisi 0.5050 - 0.1795 mm aralığında farklı parçacık boyutlarında araştırılmıştır. Deneysel reaksiyon sıcaklığı 30 °C, asetik asit derişimi 0.2 M, karıştırma hızı 400 rpm ve çinko miktarı 2 g olarak alınmıştır. Parçacık boyutunun etkisinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlar zamana karşı çözünme kesri değerleri olarak Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Şekil 4.5'deki veriler incelendiği zaman parçacık boyutunun çinkonun çözünmesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlenmektedir.

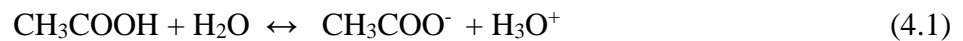


Şekil 4.5 : Çinko tozunun çözünmesi üzerine parçacık boyutunun etkisi.

Katı tanecik boyutunun azalması yüzey alanının büyümesine sebep olur. Bu durumda çözünme reaksiyonun hızı genellikle artar. Atık çinko alkali pillerden elde edilen çinko tozu tanecik boyutunun azalması ile çözünürlük artmaktadır.

#### 4.2. Çözünme Kinetiği

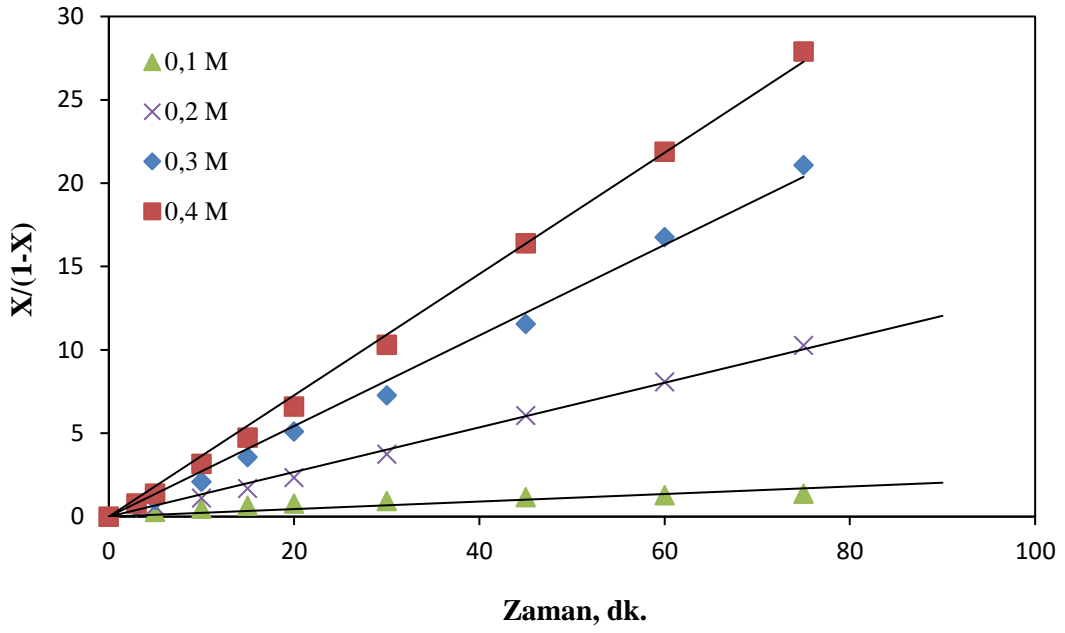
Çinko pil tozunun bir kısmını içeren çinko oksit, çinkonun amfoterik özelliği nedeniyle hem asidik hem de bazik çözücüler içinde çözünür. Bu çalışmada kullanılan liç reaktifli zayıf bir asit olan asetik asittir ve asetik asidin sulu çözeltilerinde katı çinko oksidin çözünme reaksiyonları Eşitlik 4.1 – 4.3'deki gibi yazılabilir.



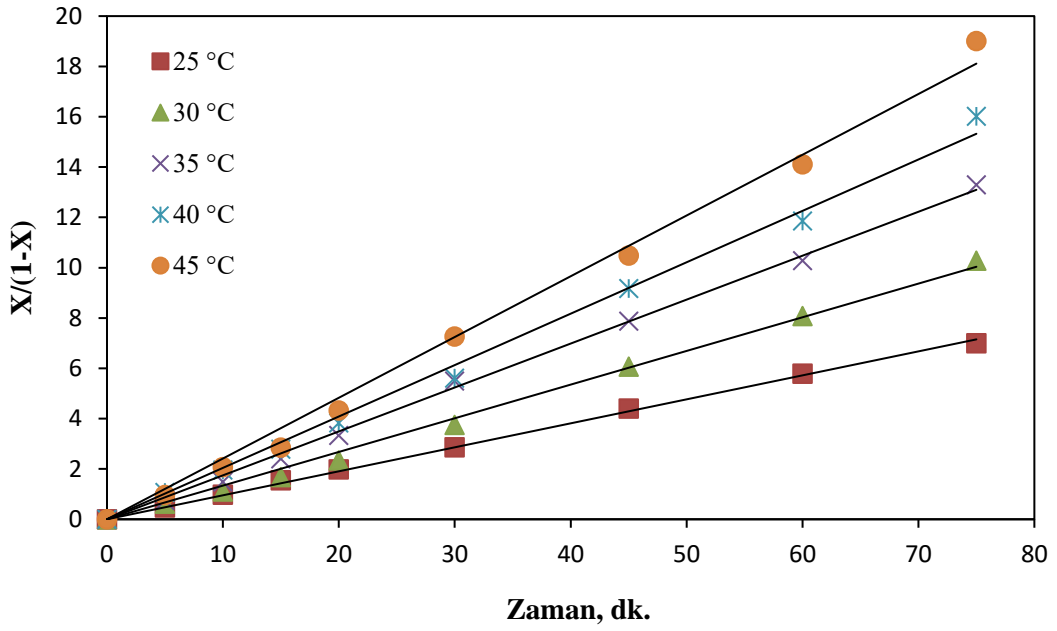
Atık çinko alkali pillerden elde edilen çinko pil tozunun asetik asit çözeltilerindeki çözünme reaksiyonu homojen bir reaksiyondur. Deneyler sonucunda elde edilen çözünme kesri değerlerine farklı modeller uygulanmış ve en uygun modelin Eşitlik 4.4'de verilen ikinci mertebe kinetik model olduğu belirlenmiştir. Çinko pil tozunun asetik asit çözeltilerinde çözünmesi için kinetik analiz yapılmıştır.

$$\frac{x}{(1-x)} = k \cdot t \quad (4.4)$$

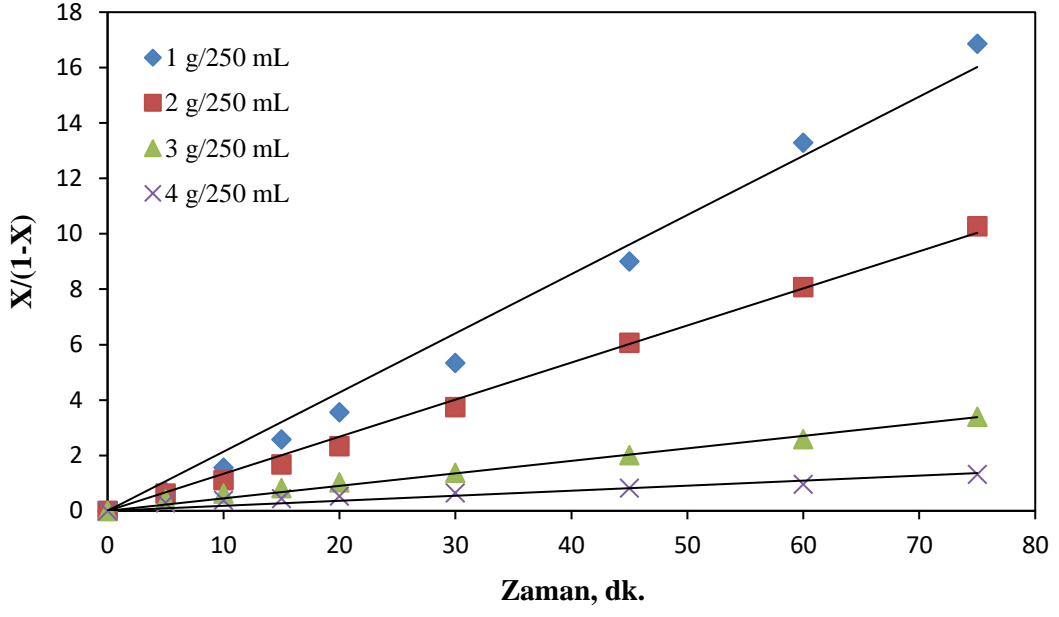
Deneysel olarak belirlenen dönüşüm kesri değerleri kullanılarak Eşitlik 4.4'ün sol tarafının t zamanına karşı grafikleri çizildiğinde orijinden geçen düz doğruların elde edilmesi gerekir. Asetik asit derişimi, katı/sıvı oranı (çinko miktarı/çözelti hacmi), karıştırma hızı, parçacık boyutu ve reaksiyon sıcaklığı için Eşitlik 4.4'ün sol tarafının t'ye karşı çizilen grafikleri sırasıyla Şekil 4.6-4.10'da verilmiştir. Sözü edilen şekillerden gözleneceği gibi orijinden geçen düz doğrular elde edilmiştir.



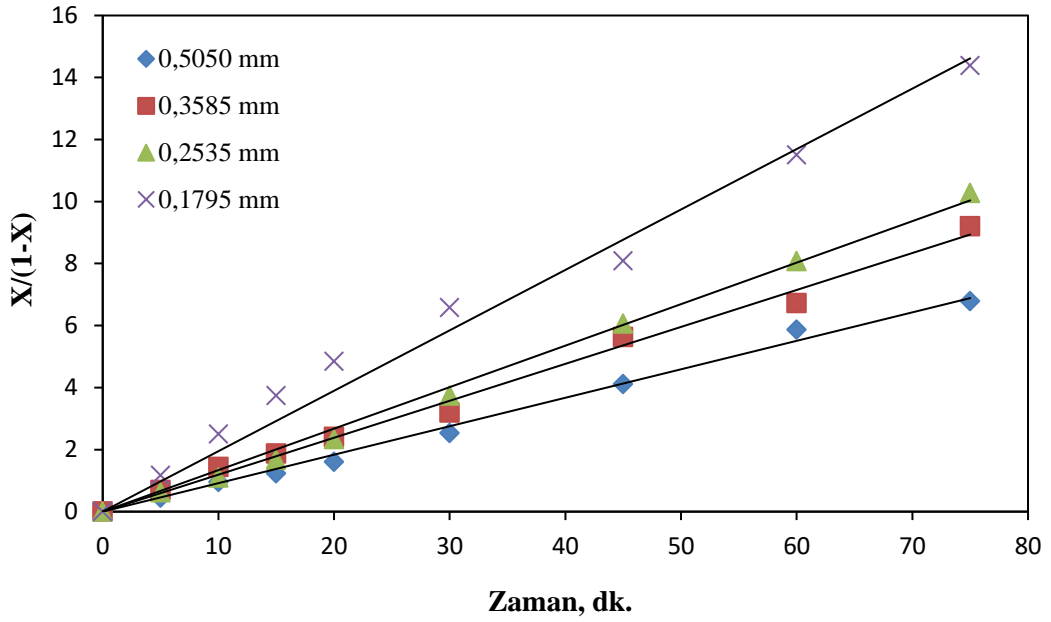
Şekil 4.6 : Farklı asetik asit derişimleri için  $X/(1-X)$  değerlerinin zamanla değişimi.



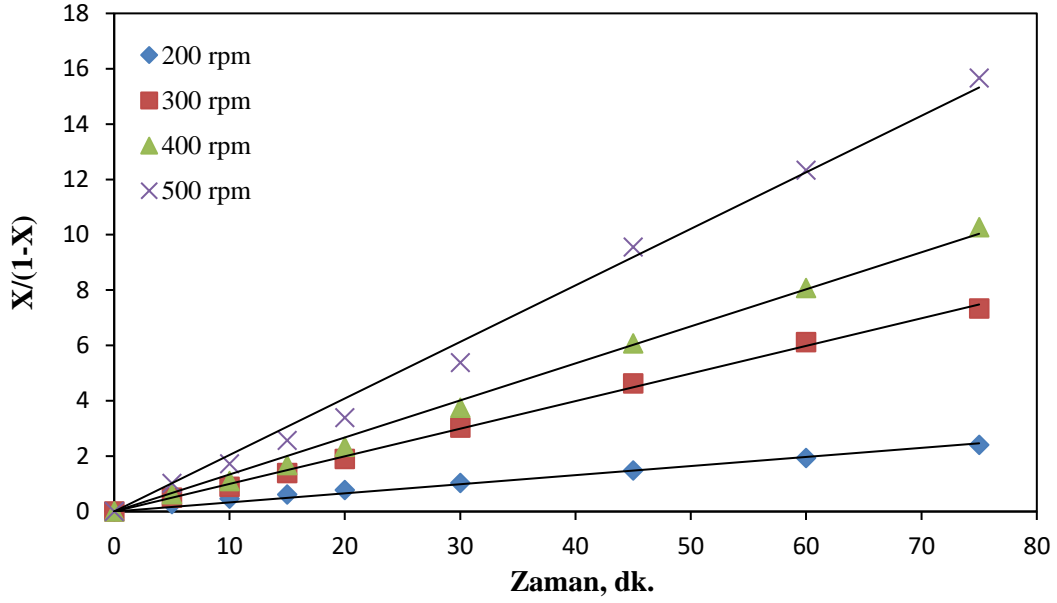
Şekil 4.7 : Farklı sıcaklıklar için  $X/(1-X)$  değerlerinin zamanla değişimi.



Şekil 4.8 : Farklı katı/sıvı oranları için  $X/(1-X)$  değerlerinin zamanla değişimi.



Şekil 4.9. Farklı parçacık boyutları için  $X/(1-X)$  değerlerinin zamanla değişimi.



**Şekil 4.10 :** Farklı karıştırma hızları için  $X/(1-X)$  değerlerinin zamanla değişimi.

Eşitlik 4.4'deki hız sabitinin ( $k$ ) deneysel parametrelere bağlılığı Eşitlik 4.5'deki gibi yazılabilir.

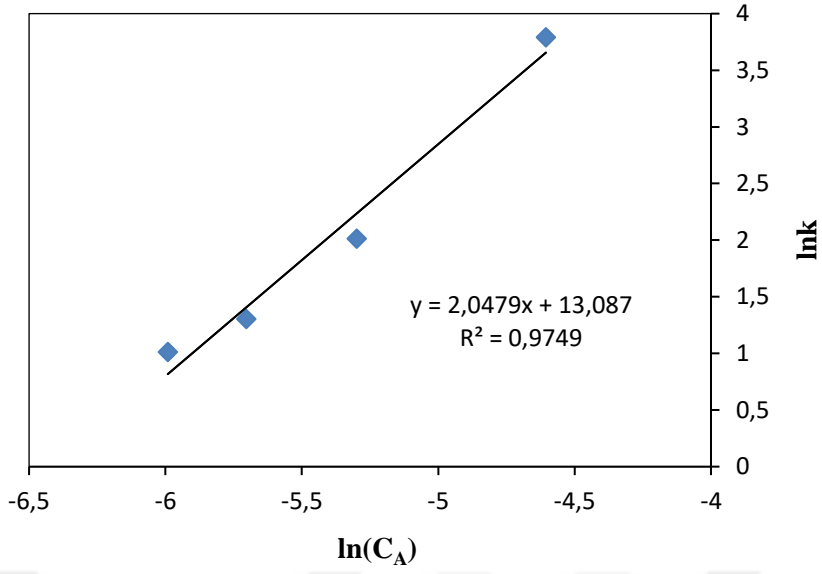
$$k = k_0 \cdot (C_A)^a \cdot (PB)^b \cdot (KH)^c \cdot (K/S)^d \cdot \exp\left(-\frac{Ea}{R.T}\right) \cdot t \quad (4.5)$$

Reaksiyon hızının ilgili parametreye bağlılığını gösteren  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ve  $d$  sabitleri ile aktivasyon enerjisi ( $Ea$ ) ve Arrhenius sabitini ( $k_0$ ) belirlemek için Şekil 4.6-4.10'da gözlenen doğruların eğimlerinden faydalanılmıştır. Bu şekillerdeki doğruların eğimleri her bir parametrenin değeri için görünür hız sabitini vermektedir. Şekil 4.6-4.10'daki doğruların eğimleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

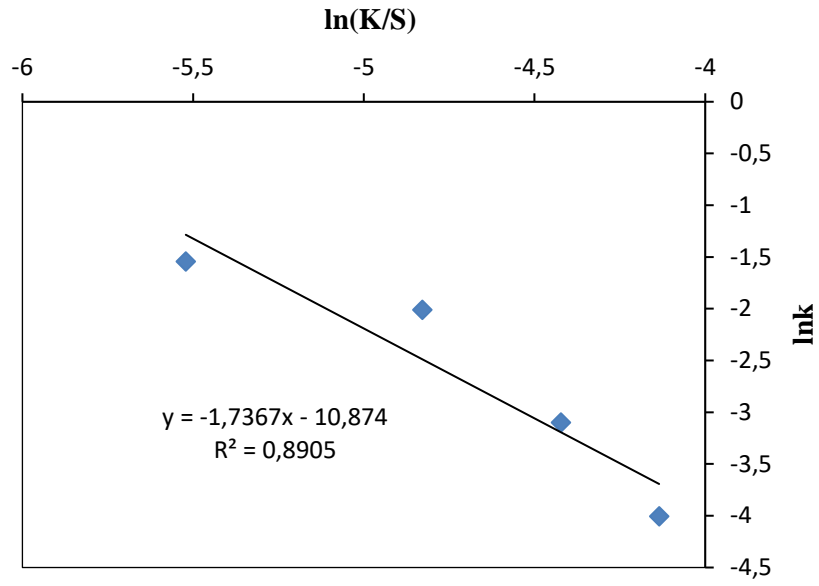
**Çizelge 4.1 :** Her bir parametre için görünür hız sabiti değerleri.

Parametre	Görünür hız sabiti (k), mol/L.dk	Korelasyon katsayısı (R <sup>2</sup> )
Asetik asit derişimi, M		
0.1	0.0226	0.7216
0.2	0.1338	0.9960
0.3	0.2717	0.9940
0.4	0.3638	0.9973
Katı/sıvı oranı, g/mL		
1/250	0.2136	0.9864
2/250	0.1338	0.9960
3/250	0.0451	0.9879
4/250	0.0182	0.8697
Karıştırma hızı, rpm		
200	0.0329	0.9874
300	0.0997	0.9983
400	0.1338	0.9960
500	0.2043	0.9932
Ortalama parçacık boyutu, mm		
0.5050	0.0918	0.9944
0.3585	0.1191	0.9927
0.2535	0.1338	0.9960
0.1795	0.1949	0.9837
Sıcaklık, °C		
25	0.0953	0.9988
30	0.1338	0.9960
35	0.1746	0.9982
40	0.2043	0.9955
45	0.2415	0.9937

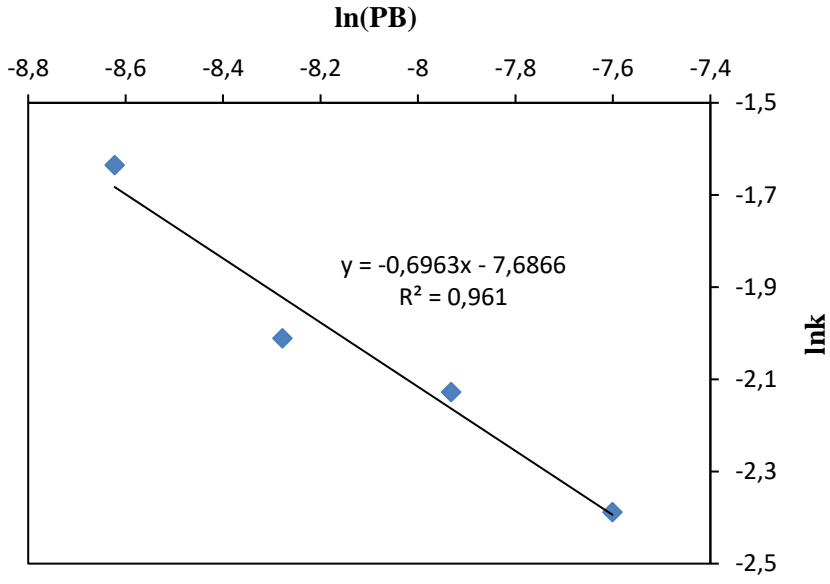
Görünür hız sabitleri değerleri kullanılarak  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ve  $d$  sabitlerini belirlemek için asetik asit derişimi için  $\ln(C_A)$ 'ya karşı  $\ln k$ , katı/sıvı oranı için  $\ln(K/S)$ 'ye karşı  $\ln k$ , parçacık boyutu için  $\ln(PB)$ 'ye karşı  $\ln k$  ve karıştırma hızı için  $\ln(KH)$ 'ye karşı  $\ln k$  grafikleri oluşturulmuştur. Asetik asit derişimi, katı/sıvı oranı, parçacık boyutu ve karıştırma hızı için bu grafikler sırasıyla Şekil 4.11-4.14'de çizilmiştir.



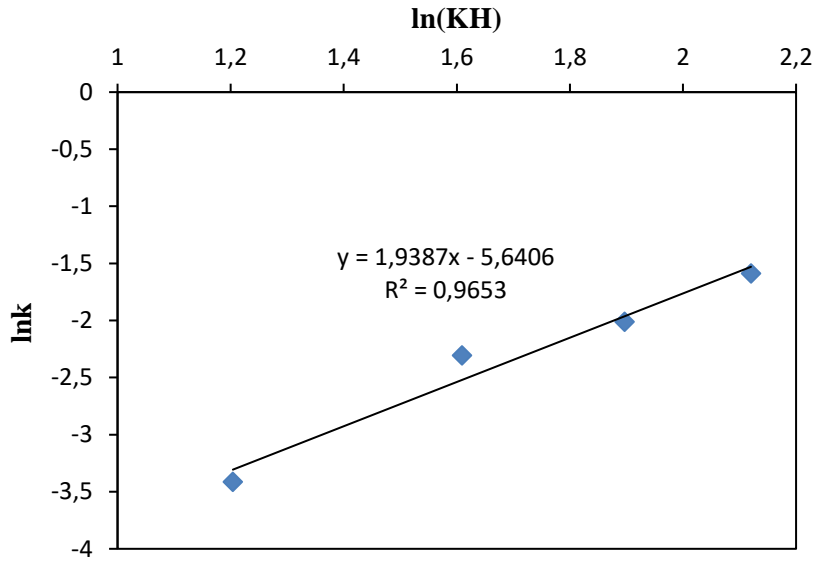
Şekil 4.11 : Asetik asit derişimi için  $\ln(C_A)$ 'ya karşı  $\ln k$  grafiği.



Şekil 4.12 : Katı/Sıvı oranı için  $\ln(K/S)$ 'ya karşı  $\ln k$  grafiği.



Şekil 4.13 : Parçacık boyutu için  $\ln(PB)$ 'ye karşı  $\ln k$  grafiği.



Şekil 4.14 : Karıştırma hızı için  $\ln(KH)$ 'ye karşı  $\ln k$  grafiği.

Asetik asit derişimi, katı/sıvı oranı, parçacık boyutu ve karıştırma hızı için sırasıyla Şekil 4.11-4.14'de çizilen grafiklerdeki doğruların eğimleri  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ve  $d$  sabitlerini verir. Bu doğruların eğimlerinden  $a=2.05$ ,  $b=-0.70$ ,  $c=1.94$  ve  $d=-1.74$  olarak belirlenmiştir. Çözünme işlemi için aktivasyon enerjisi ve Arrhenius sabitini belirlemek için Eşitlik 4.6'da verilen Arrhenius eşitliğinden yararlanılmıştır. Çizelge 4.1'de sıcaklık için verilen görünür hız sabitleri kullanılarak  $1/T$ 'ye karşı  $-\ln k$  grafiği Şekil 4.15'de oluşturulmuştur.

$$k = k_0 \cdot \exp\left(-\frac{Ea}{R.T}\right) \quad (4.6)$$

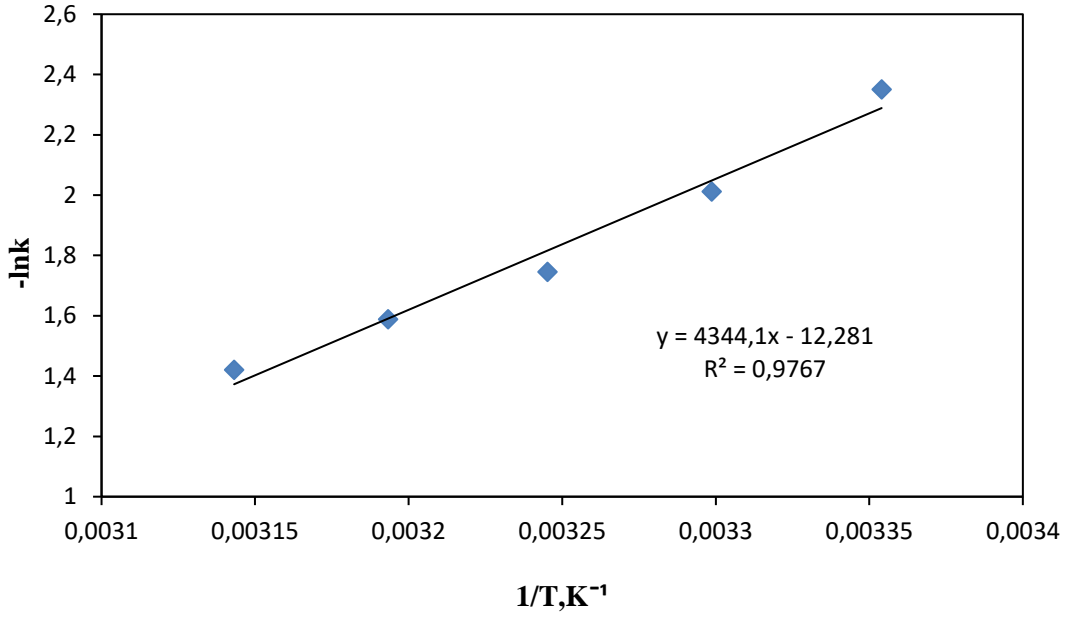
Şekil 4.15'deki doğrunun eğiminden faydalanarak aktivasyon enerjisi 36.1 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Yine bu doğrunun kaymasından ise Arrhenius sabiti  $2,15.10^5$  mol/L.dk olarak hesaplanmıştır.

Genel itibariyle 40 kJ/mol değerinden düşük aktivasyon enerjisine sahip proseslerin difüzyon kontrollü olduğu, bu değerden daha büyük aktivasyon enerjisine sahip proseslerin ise kimyasal reaksiyon kontrollü olduğu ifade edilmektedir [62-63]. Aktivasyon enerjisi 21 kJ/mol veya 21 kJ/mol'den düşükse bu proses difüzyon kontrollüdür. Aktivasyon enerjisi 40 - 100 kJ/mol arasındaki değerleri için proses kimyasal reaksiyon kontrollüdür. Bu iki durum dışında 21 - 40 kJ/mol arasındaki aktivasyon enerjisine sahip değerlerdeki prosesler için karışık kontrollü olduğu söylenir [61].

Fakat bu sınıflandırma genel bir sınıflandırmadır. Prosesin şartlarına ve materyalin şekline göre değişiklik gösterebilir. Her ne kadar bu prosesin aktivasyon enerjisine göre karışık kontrollü olduğu görülse de karıştırma hızının etkili olması ve sıcaklığın az etkili olması nedeniyle çözünme prosesinin difüzyon kontrollü olduğu görülmektedir. Deneysel çalışmadan elde ettiğimiz veriler de bu durumu desteklemektedir.

Çözünme kinetiğini temsil etmek üzere Eşitlik 4.5'de verilen  $k$  hız sabiti Eşitlik 4.4'de yazıldığı zaman Eşitlik 4.7 elde edilir.

$$\frac{x}{(1-x)} = k_0 \cdot (C_A)^a \cdot (PB)^b \cdot (KH)^c \cdot (K/S)^d \cdot \exp\left(-\frac{Ea}{R.T}\right) \cdot t \quad (4.7)$$

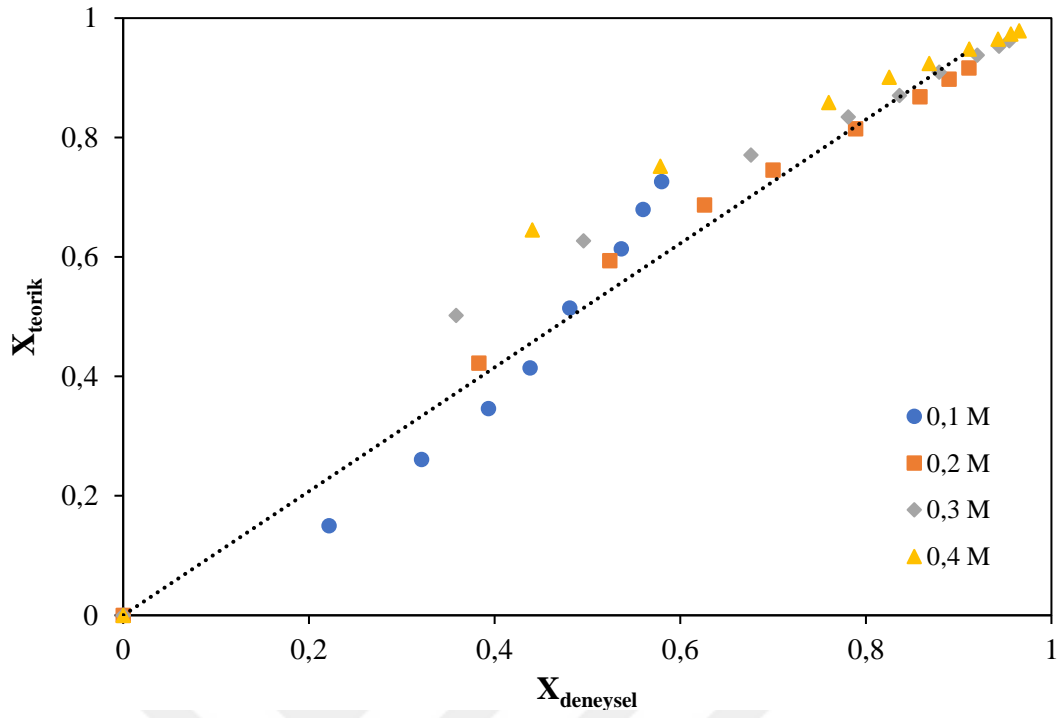


**Şekil 4.15 :** Çinko tozunun asetik asit çözeltilerinde çözünme prosesi için Arrhenius grafiği.

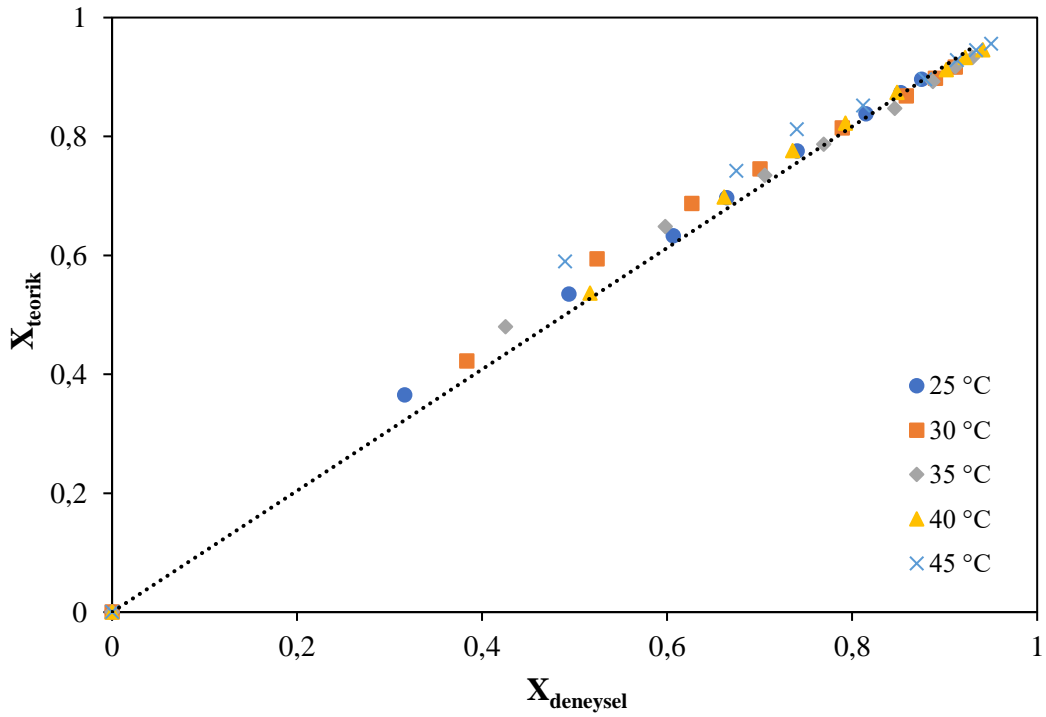
Eşitlik 4.4'de  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  ve  $k_0$  değerleri ile aktivasyon enerjisi yazıldığında atık çinko alkali pillerden elde edilen çinko tozunun asetik asit çözeltilerindeki çözünme kinetiğini temsil eden matematiksel ifade Eşitlik 4.8'deki gibi yazılabilir.

$$\frac{x}{(1-x)} = 2,15 \cdot 10^5 \cdot (C_A)^{2,05} \cdot (PB)^{-0,70} \cdot (KH)^{1,94} \cdot (K/S)^{-1,74} \cdot \exp\left(\frac{-4344}{T}\right) \cdot t \quad (4.8)$$

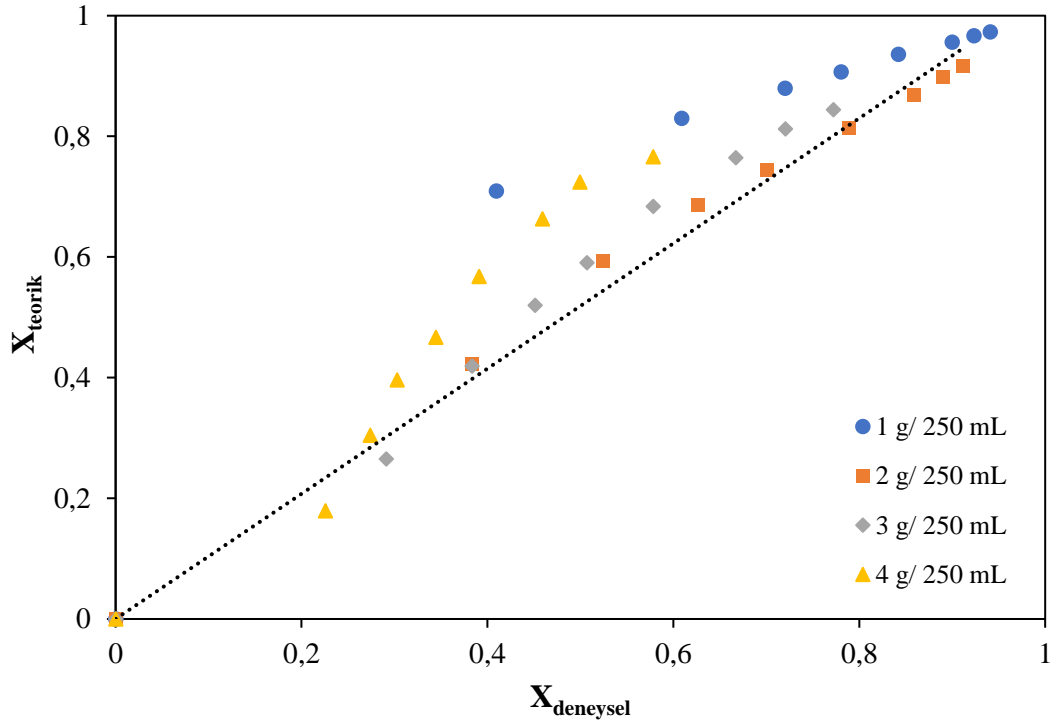
Çözünme kinetiğini temsil eden Eşitlik 4.8'deki matematiksel ifade de asetik asit derişimi, sıcaklık, katı/sıvı oranı, karıştırma hızı ve ortalama parçacık boyutu değerleri yerine yazıldığında teorik çözünme kesri değerleri elde edilir. Şekil 4.16 - 4.20' de deneysel çözünme kesri değerlerinin teorik çözünme kesri değerleriyle değişimi grafik halinde gösterilmiştir.



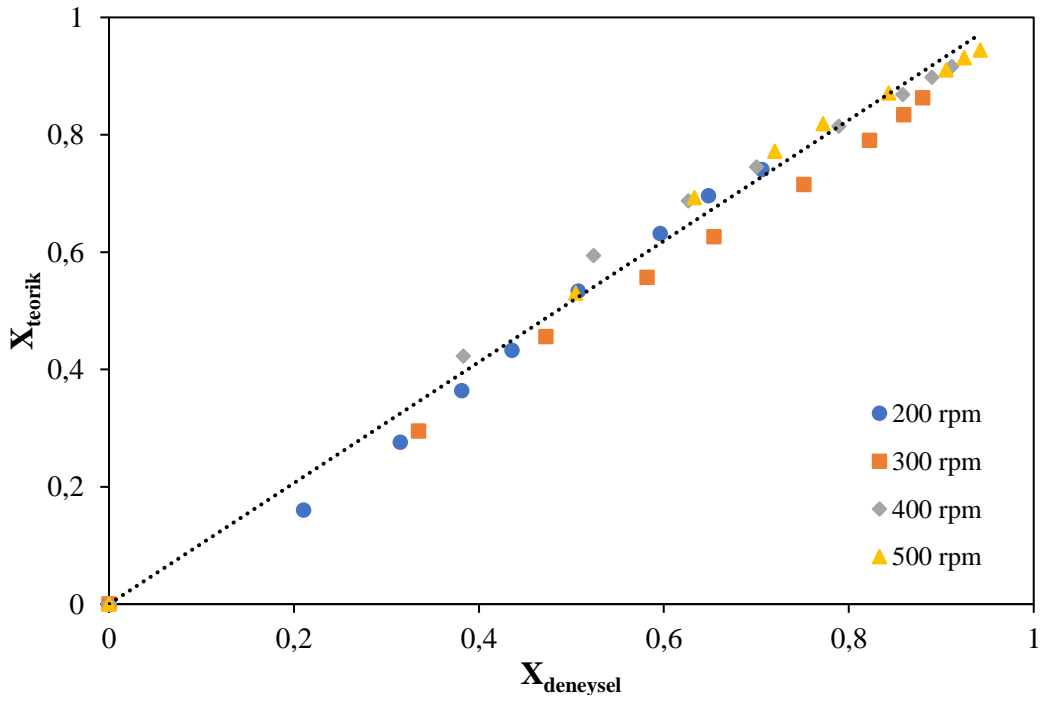
Şekil 4.16 : Farklı asetik asit derişimleri için deneysel değerlerin teorik değerlerle değişimi.



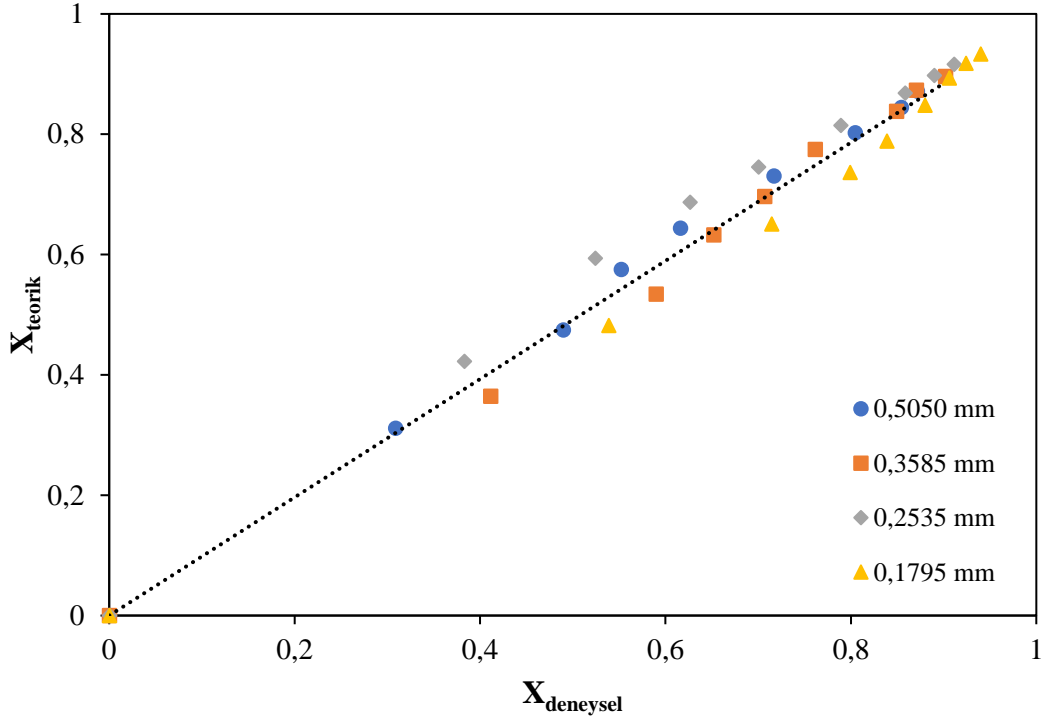
Şekil 4.17 : Farklı sıcaklık değerleri için deneysel değerlerin teorik değerlerle değişimi.



Şekil 4.18 : Farklı katı/sıvı oranları için deneysel değerlerin teorik değerlerle değişimi.



Şekil 4.19 : Farklı karıştırma hızları için deneysel değerlerin teorik değerlerle değişimi.

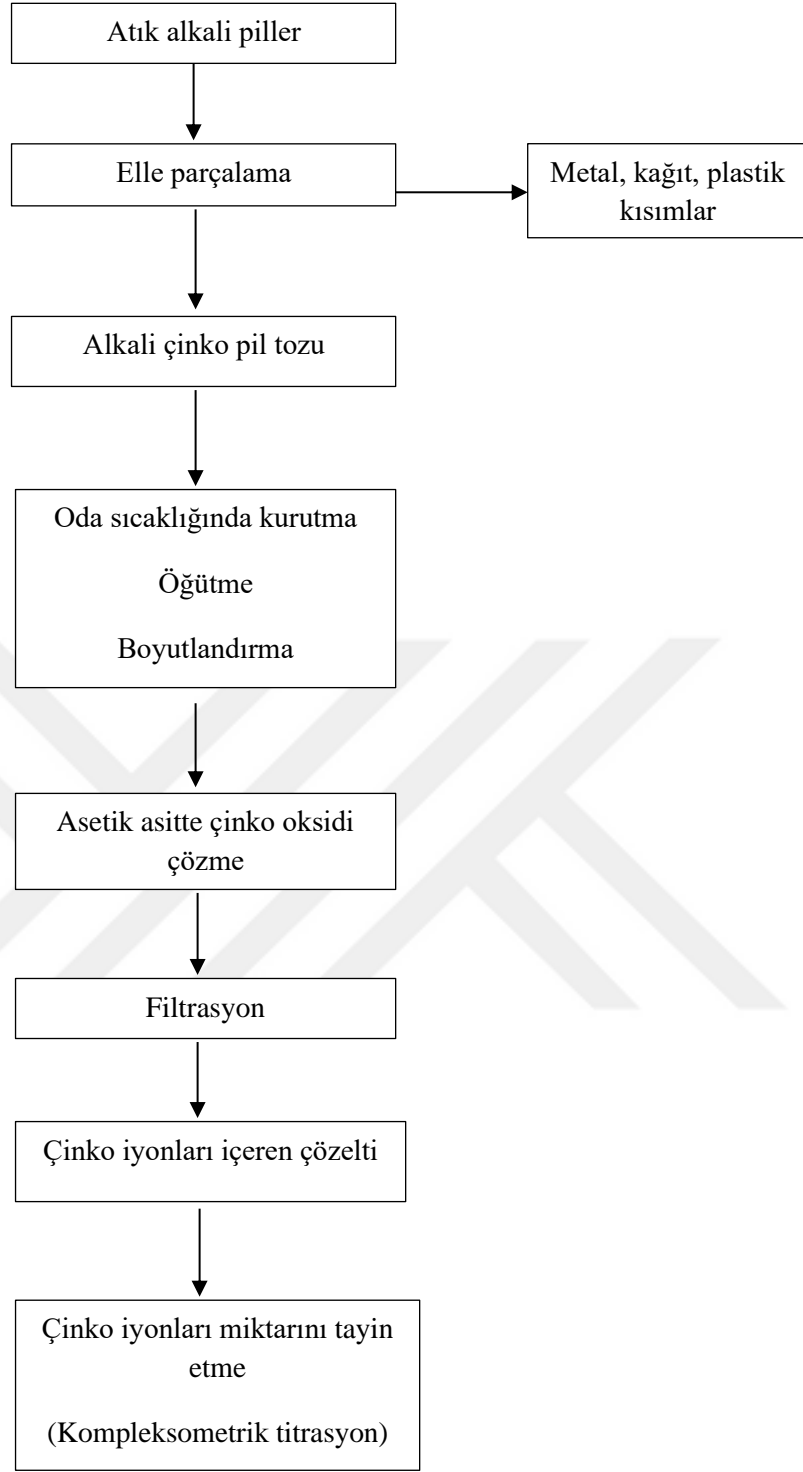


**Şekil 4.20** : Farklı parçacık boyutları için deneysel değerlerin teorik değerlerle değişimi.

Asetik asit derişimi, katı/sıvı oranı, reaksiyon sıcaklığı, parçacık boyutu ve karıştırma hızı parametrelerinin kullanıldığı çözünme reaksiyonu deneylerinden elde edilen deneysel değerlerle teorik olarak hesaplanan değerlerin bazı sapmalar göstermekle birlikte çoğunlukla uyumlu olduğu görülmüştür. Bu durumda ortaya konan Eşitlik 4.8'deki matematiksel ifadenin deneysel çalışmaları doğru biçimde temsil edebildiği söylenebilir.

Atık çinko alkali pillerdeki çinko pil tozunun asetik asit liç reaktifi yardımıyla hidrometalurjik yöntemle bir bileşiği halinde çözeltilmeye alınması için yürütülen bu çalışmada uygulanan deney yöntemi Şekil 4.21'deki gibi gösterilebilir. Çinko tozunu çözmek ve farklı çinko bileşikleri elde etmek için asetik asit dışında farklı çözücüler kullanarak da aynı akış şeması izlenebilir.

Çinko pil tozunun asetik asit çözeltilerinde çözünmesi sonucunda yüksek miktarda çinko iyonları içeren bir çözelti elde edilir. Çinko iyonlarının miktarını tayin etmeye müteakip çinko iyonları uygun bir çöktürücü yardımıyla çöktürme işlemi uygulanarak bileşikler halinde kazanılabilir.



**Şekil 4.21 :** Çalışmada uygulanan deneysel yöntemi temsil eden akış diyagramı.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, atık alkali çinko mangan dioksit pillerden elde edilen çinko tozunun hidrometalurjik yöntemle kazanılması incelenmiştir. Bu amaçla, ilk olarak çinko tozunun asetik asit çözeltilerindeki çözünürlüğü üzerine deney parametrelerinin etkileri araştırılmış ve elde edilen deneysel verilerden faydalanılarak çözünme kinetiği için bir model denklem önerilmiştir. Çözünme işleminde asetik asit derişimi, çinko tozu miktarı (katı/sıvı oranı), reaksiyon sıcaklığı, parçacık boyutu ve karıştırma hızının etkileri araştırılmıştır. Deneyler sonucunda asetik asit derişiminin, karıştırma hızının ve reaksiyon sıcaklığının artması, katı/sıvı oranının ve parçacık boyutunun azalmasıyla çinko çözünürlüğünün arttığı belirlenmiştir. Sözü edilen deney parametreleri arasında asit derişiminin diğer parametrelere göre daha etkili bir parametre olduğu gözlenmiştir. Karıştırma hızının etkisinin incelendiği deneylerde, karıştırma hızının artmasıyla çözünme hızının arttığı belirlenmiştir. Katı miktarının incelendiği deneylerde çözünme işleminde kullanılan atık çinko tozu miktarının artmasıyla çözünme veriminde bir azalma olmaktadır. Çözünme reaksiyonlarında katı/sıvı oranının artması ile çözücünün birim hacmi başına düşen katı miktarı artacağından çözünme hızında bir azalma meydana gelmektedir. Parçacık boyutunun incelendiği deneylerde parçacık boyutunun çinkonun çözünmesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlenmektedir. Katı tanecik boyutunun azalması yüzey alanının büyümesine sebep olur. Bu durumda çözünme reaksiyonun hızı genellikle artar. Atık alkali pillerden elde edilen çinko tozu tanecik boyutunun çözünürlüğe olan etkisi katı tanecik boyutu azaldıkça çözünme artmaktadır. Reaksiyon sıcaklığının artmasıyla çözünme veriminde de bir artış olduğu belirlenmiştir. Ancak diğer parametrelerle karşılaştırıldığı zaman çözünme hızı üzerinde reaksiyon sıcaklığının etkisinin fazla olmadığı gözlemlenmiştir.

Amfoter özelliğe sahip olan çinko asetik asitli ortamda bir baz olarak davranacaktır. Çözünme işleminde esas olarak ortamdaki hidronyum iyonları rol aldığından, çözünme olayı gerçekleştikçe bu hidronyum iyonlarının harcanması söz konusu olacak ve çözeltinin pH değerinde bir artış olacaktır.

Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan kinetik analiz sonucunda çözünme işleminin Eşitlik 4.4'de gösterildiği gibi ikinci mertebe kinetik modele uyduğu tespit edilmiştir. Proses için aktivasyon enerjisi 36.1 kJ/mol olarak belirlenmiş ve çözünme işleminin difüzyon kontrollü olduğu tespit edilmiştir. Reaksiyon sıcaklığının çözünme

üzerinde fazla etkili olmaması ve karıştırma hızının ise çözünme hızını fazlaca etkilemesi bu bulguyu doğrulamaktadır.

Atık çinko alkali pillerden elde edilen çinko tozunun asetik asit çözeltilerindeki çözünme kinetiğini temsil eden matematiksel ifade de asetik asit derişimi, katı/sıvı oranı, reaksiyon sıcaklığı, parçacık boyutu ve karıştırma hızı yerine yazıldığında sonuç olarak bulunan teorik çözünme kesri değerlerinin deneysel olarak elde edilen çözünme kesri değerleriyle bazı sapmalar göstermesine rağmen genel olarak birbiriyle paralel sonuçlar verdiği görülmüştür.

Metaller için temel hammadde kaynağı olan cevherler günden güne azalmaktadır. Bu durumda hem dünya genelinde hem de ülkemizde metaller için ikincil kaynaklar olan metal değerleri içeren çeşitli atıkların uygun yöntemler kullanılarak geri kazanılıp işlenmesi ülkelerin ekonomisine katkı sağlamaktadır. Atıkların geri kazanılması çevre kirliliğini önleme ve doğal kaynakları koruma bakımından son derece önemlidir.

Metalürjik yöntemlerin uygulanması suretiyle çeşitli atık pillerden metal değerlerin kazanılması ve bunların ekonomik değere sahip ürünlere dönüştürülmesi için ülkemizde gerçekleştirilen çalışmaların sayısı eksik kalmaktadır. Yapılan çalışmaların çoğu ise akademik düzeydedir. Bu çalışmaların üniversiteler, belediyeler ve ilgili kamu kurum ve kuruluşları tarafından teşvik edilmesi ve uygulamaya yönelik olarak gerçekleştirilmesi ile metal ihtiyacı bakımından dışa bağımlılık azaltabileceği gibi daha temiz ve yaşanabilir çevre koşullarının oluşturulması sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Gupta, C. K. and Mukherjee, T. K.** (1990). *Hydrometallurgy in Extraction Processes*. (Vol. 2). Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.
- [2] **Habashi, F.** (1997). *Handbook of Extractive Metallurgy*, (Vol. 2, Primary metals, secondary metals, light metals pp. 641-679). Weinheim, Germany: Wiley-VCH.
- [3] **Venkatachalam, S.** (1998). *Hydrometallurgy*, Delhi, India: Narosa Publishing House
- [4] **Havlík, T.** (2014). *Hydrometallurgy: Principles and Applications*, Cambridge, England: Elsevier.
- [5] **Jha, M.K., Kumar, V. & Singh, R.J.** (2001). Review of hydrometallurgical recovery of zinc from industrial wastes, *Resources Conservation and Recycling*, 33, 1-22.
- [6] **Rabah, M.A. & El-Sayed, A.S.** (1995.) Recovery of zinc and some of its valuable salts from secondary resources and wastes, *Hydrometallurgy*, 37, 23-32.
- [7] **Maghaddam, J., Sarraf-Mamoory, R., Yamini, Y. & Abdollahy, M.** (2005). Determination of the optimum conditions for the leaching of nonsulfide zinc ores (High-SiO<sub>2</sub>) in ammonium carbonate media, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 44, 8952-8958.
- [8] **Tezcan, R. & Tezcan, H.** (2007). *Metaller Kimyası*, Nobel Basımevi, Ankara, syf. 269-273.
- [9] **Ding, Z., Yin, Z., Wu, X., Hu, H. & Chen, Q.** (2011). Leaching kinetics of willemite in ammonia-ammonium chloride solutions, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 42B, 2633-641.
- [10] **Yılmaz, R. & Barlas, R.** (2017). *Çinko Üretimi*, Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Ders Notları, Sakarya.
- [11] Erişim: 14 Temmuz, 2019, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-yataklari>
- [12] **Santos, F. M. F., Pina, P.S., Porcaro, R., Oliveira, V.A., Silva, C.A. & Leao, V.A.** (2010). The kinetics of zinc silicate leaching in sodium hydroxide, *Hydrometallurgy*, 102, 43-49.
- [13] **Tanaydın, M. K.** (2018). Hidrometalurjik yöntemlerin uygulanmasıyla malahit cevherinden metalik bakır üretilmesinin incelenmesi (Doktora Tezi) İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

- [14] **Baba, A. A, Adekola, A. F. & Bale, R. B.** (2009). Development of a combined pyro- and hydro-metallurgical route to treat spent zinc-carbon batteries, *Journal of Hazardous Materials*, 171, 838-844.
- [15] **Ekmekyapar, A., Demirkıran, N., Künkül, A. & Aktaş, E.** (2015). Leaching of malachite ore in ammonium sulfate solutions and production of copper oxide, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 32, 155-165.
- [16] **Turhan-Özdemir, G. D. & Demirkıran, N.** (2016). Atık alkali pillerden elde edilen çinko tozun sodyum hidroksit çözeltilerindeki çözünürlüğünün incelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 61-67.
- [17] **Awakura, Y., Hirato, T., Kagawa, A., Yamada, Y. & Mahma, H.** (1991). Dissolution of malachite in aqueous ethylenediaminetetraacetate solutions, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 22B, 569-574.
- [18] **Tanaydın, M. K. & Demirkıran, N.** (2019). Investigation of selective leaching and kinetics of copper from malachite ore in aqueous perchloric acid solutions, *Separation Science and Technology*, 54, 815-827.
- [19] **Ghosh, M. K., Das, R. P. & Biswas, A. K.** (2002). Oxidative ammonia leaching of sphalerite part I: Noncatalytic kinetics, *International Journal of Mineral Processing*, 66, 241-254.
- [20] **Pecina, T., Franco, T., Castillo, P. & Orrantia, E.** (2008). Leaching of a zinc concentrate in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions containing H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and complexing agents, *Minerals Engineering*, 21, 23-30.
- [21] **Souza, A. D., Pina, P. S., Santos, F. M. F., Da Silva, C. A. & Leao, V. A.** (2009). Effect of iron in zinc silicate concentrate on leaching with sulphuric acid, *Hydrometallurgy*, 95, 207-214.
- [22] **Abdel-Aal, E. A.** (2000). Kinetics of sulfuric acid leaching of low-grade zinc silicate ore, *Hydrometallurgy*, 55, 247-254.
- [23] **Demirkıran, N.** (2012). Atık pillerden metal kazanılmasında amonyum asetatın liç reaktifi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi, *Çevre Bilim ve Teknoloji*, 3, 275-282.
- [24] **Tanaydın, M. K. & Demirkıran, N.** (2017). Malahit Cevherinin Perklorik Asit Çözeltilerindeki Çözünürlüğünün İncelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32, 175-185.
- [25] **Ding, Z., Yin, Z., Hu, H. & Chen, Q.** (2010). Dissolution kinetics of zinc silicate (hemimorphite) in ammoniacal solutions, *Hydrometallurgy*, 104, 201-206.

- [26] **Dhawan, N., Safarzadeh, M. S. & Birinci, M.** (2011). Kinetics of hydrochloric acid leaching of smithsonite, *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 52, 209–216.
- [27] **Zhang, Y., Deng, J., Chen, J., Yu, R. & Xing, X.** (2013). Leaching of zinc from calcined smithsonite using sodium hydroxide, *Hydrometallurgy*, 131-132, 89-92.
- [28] **Ehsani, I., Üçyıldız, A. & Obut, A.** (2019). Leaching behaviour of zinc from a smithsonite ore in sodium hydroxide solutions, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 55, 407-416.
- [29] **Chmielewski, A. G., Urbanski, T. S. & Migdal, W.** (1997). Separation technologies for metals recovery from industrial wastes, *Hydrometallurgy*, 45, 333-344.
- [30] **Cui, J. & Zhang, L.** (2008). Metallurgical recovery of metals from electronic wastes: A review, *Journal of Hazardous Materials*, 158, 228-256.
- [31] **Seyed Ghasemi, S. M., A. & Azizi, A.** (2017). Investigation of leaching kinetics of zinc from a low-grade ore in organic and inorganic acids, *Journal of Mining and Environment*, 8, 579-591.
- [32] **Drovak, P. & Jandova, J.** (2005). Hydrometallurgical recovery of zinc from hot dip galvanizing ash, *Hydrometallurgy*, 77, 29-33.
- [33] **Kurama, H. & Göktepe, F.** (2003). Recovery of zinc from waste material using hydrometallurgical processes, *Environmental Progress*, 22, 161-166.
- [34] **Samaniego, H., San Roman, M. F. & Ortiz, I.** (2007). Kinetics of zinc recovery from spent pickling effluents, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 46, 907-912.
- [35] **Tsakiridis, P. E., Oustadakis, P., Katsiapi, A. & Agatzini-Leonardous, S.** (2010). Hydrometallurgical process for zinc recovery from electric arc furnace dust (EAFD), Part II: Downstream processing and zinc recovery by electrowinning, *Journal of Hazardous Materials*, 179, 8-14.
- [36] **Güler, Ç. & Çobanoğlu, Z.** (1994). *Tehlikeli Atıklar, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*, (Birinci Baskı) 1994, Ankara: T.C. Sağlık Bakanlığı Yayınları.
- [37] **Palabıyık, H. & Altunbaş, D.** (2004). *Kentsel katı atıklar ve yönetimi, Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar: Ekolojik, Ekonomik, Politik ve Yönetimsel Perspektifler*, (syf. 103-124). İstanbul: Beta.
- [38] **Atık Yönetimi Genel Esasları Yönetmeliği.** (05.07.2008 Sayı. 26927). Resmi Gazete.
- [39] **Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği.** (22.07.2005 Sayı. 27555). Resmi Gazete.

- [40] **Sayar, Ş.** (2012). Sakarya ili entegre atık yönetimi ve ambalaj atıklarının geri dönüşümü (Yüksek Lisans Tezi) Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [41] **Sapmaz-Veral, E. & Yiğitbaşıoğlu, H.** (2018). Avrupa Birliği atık politikasında atık yönetiminden kaynak yönetimi yaklaşımına geçiş yönelimleri ve döngüsel ekonomi modeli, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 6, 1-19.
- [42] **Yalçın, H.** (1999). *Elektrokimya*, Ankara: Palme Yayıncılık.
- [43] **Bernardes, A. M., Espinosa, D. C. R. & Tenorio, J. A. S.** (2004). Recycling of batteries: A review of current processes and technologies, *Journal of Power Sources*, 130 (1-2), 291-298.
- [44] **Zeren, A.** (1997). *Elektrokimya*, İstanbul: Birsen Yayınevi.
- [45] **Gega, J. & Walkowiak, W.** (2011). Leaching of zinc and manganese from used up zinc-carbon batteries using aqueous sulfuric acid solutions, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 46, 155-162.
- [46] Erişim: 3 Mayıs 2020, <http://www.tap.org.tr>
- [47] **Michelis, I. D., Ferella, F., Karakaya, E., Beolchini, F. & Veglio, F.** (2007). Recovery of zinc and manganese from alkaline and zinc-carbon spent batteries, *Journal of Power Sources*, 172, 975-983.
- [48] **Buzatu, T., Popescu, G., Birloaga, I. & Saceanu, S.** (2013). Study concerning the recovery of zinc and manganese from spent batteries by hydrometallurgical processes, *Waste Management*, 33, 699-705.
- [49] **Tanong, K., Coudert, L., Mercier, G. & Blais, C. F.** (2016). Recovery of metals from a mixture of various spent batteries by a hydrometallurgical process, *Journal of Environmental Management*, 181, 95-107.
- [50] **Demirkıran, N.** (2015). Examination of the use of ammonium acetate as lixiviant in recovery of zinc from waste batteries and kinetic analysis, *Environmental Engineering and Management Journal*, 14, 51-56.
- [51] **Karnchanawong, S. & Limpiteprakan, P.** (2009). Evaluation of heavy metal leaching from spent household batteries disposed in municipal solid waste, *Waste Management*, 29, 550-558.
- [52] **Buzatu, M., Sacenau, S., Petrescu, M. I., Ghica, G. V. & Buzatu, T.** (2014). Recovery of zinc and manganese from spent batteries by reductive leaching in acidic media, *Journal of Power Sources*, 247, 612-617.
- [53] **Zeytuncu, B.** (2016). Dissolution of alkaline batteries in reductive acidic media, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 52, 437-450.

- [54] **Chen, W. S., Liao, C. T. & Lin, K. Y.** (2017). Recovery zinc and manganese from spent battery powder by hydrometallurgical route, *Energy Procedia*, 107, 167-174.
- [55] **Sayilgan, E., Kukrer, T., Yigit, N. O., Civelekoglu, G. & Kitis, M.** (2010). Acidic leaching and precipitation of zinc and manganese from spent battery powders using various reductants, *Journal of Hazardous Materials*, 173, 137-143.
- [56] **Nogueira, C. A. & Margarido, F.** (2015). Selective process of zinc extraction from spent Zn-MnO<sub>2</sub> batteries by ammonium chloride leaching, *Hydrometallurgy*, 157, 13-21.
- [57] **Lopez, F. A., Cebriano, T., García-Díaz, I., Fernández, P., Rodriguez, O. & Fernández, A. L.** (2017). Synthesis and microstructural properties of zinc oxide nanoparticles prepared by selective leaching of zinc from spent alkaline batteries using ammoniacal ammonium carbonate, *Journal of Cleaner Production*, 148, 795-803.
- [58] **Demirkıran, N. and Turhan-Özdemir, G. D.** (2019). A kinetic model for dissolution of zinc oxide powder obtained from waste alkaline batteries in sodium hydroxide solutions, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 50B, 491-501.
- [59] **Bezerra, M. A., Santelli, M. A., Oliveira, E. P., Villar, L. S. & Escalera, L. A.** (2008). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry, *Talanta*, 76, 965-977.
- [60] **Gülensoy, H.** (2003). *Kompleksometrenin esasları ve kompleksometrik titrasyonlar*, İstanbul: Kimya Derneği Yayınları.
- [61] **Kılıçarslan, A.** (2015). Piriç Atıklarındaki Bakır ve Çinkonun Hidrometalurjik Yöntemle Geri Kazanımında İyonik Sıvıların Kullanılabilirliğinin Araştırılması (Doktora Tezi) Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [62] **Thomas, B. K. & Fray, D. J.** (1981). Leaching of zinc and zinc alloy with chlorine and chlorine hydrate, *Metallurgical Transactions B*, 12B, 559-560.
- [63] **Demirkıran, N.** (2009). Dissolution kinetics of ulexite in ammonium nitrate solutions, *Hydrometallurgy*, 95, 198–202.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad** : Bayram SİTİL  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 07.08.1987 / Adıyaman  
**E-Posta** : sitalbayram02@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

**Lisans** :2011, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği  
**Yüksek Lisans** :2020, İnönü Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı,  
Proses ve Reaktör Tasarımı

### MESLEKİ DENEYİM:

Türkhan Tekstil(Kahramanmaraş)  
Eti Bakır A.Ş. Adıyaman İşletmesi