



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

**MİKRODALGA ETKİSİNDE ADATEPE
(KARAÇAM) LATERİTİK CEVHERİNİN
LİÇİNG ŞARTLARININ BELİRLENMESİ**

Merve KÖSELER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

**Şubat-2012
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Merve KÖSELER tarafından hazırlanan “Mikrodalga etkisinde Adatepe (Karaçam) lateritik cevherinin liçing şartlarının belirlenmesi” adlı tez çalışması 09/02/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY

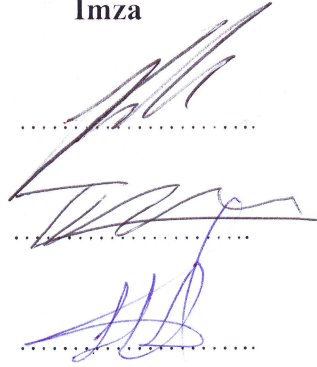
Danışman

Yrd. Doç. Dr. Tevfik AĞAÇAYAK

Üye

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin DEVECİ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.


Merve KÖSELER

09.02.2012

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİKRODALGA ETKİSİNDE ADATEPE (KARAÇAM) LATERİTİK CEVHERİNİN LİÇİNG ŞARTLARININ BELİRLENMESİ

Merve KÖSELER

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Tefik AĞAÇAYAK

2012, 82 Sayfa

Jüri

Yrd. Doç. Dr. Tefik AĞAÇAYAK

Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin DEVECİ

Bu çalışmada, Adatepe (Karaçam) lateritik cevherinin farklı asidik ortamlar için optimum liçing şartları araştırılmıştır. Liç deneylerinde, % 98'lik H_2SO_4 , % 37'lik HCl ve % 60'lık $HClO_4$ kullanılarak Ni ve Fe çözündürülmesine olan etkileri araştırılmıştır. Deney parametreleri olarak, karıştırma hızı, asit derişimi, sıcaklık, katı/sıvı oranı ve tane boyutunun Ni ve Fe çözünmesine etkileri incelenmiştir.

Bunlara ilaveten, liç deneylerinden elde edilen optimum sonuçlar kullanılarak mikrodalga ön işlemlili liçing deneyleri yapılmıştır. -75+53 μm tane boyutuna getirilen cevherler mikrodalga fırınında farklı güç (0, 90, 180, 360, 600 watt) ve farklı sürelerde (1, 3, 5, 7, 10, 15 ve 20 dak.) ön ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonraki aşamada mikrodalgada ısıtma işlemine tabi tutulan cevherlere asitli ortamda liç işlemi uygulanmıştır.

Sonuç olarak, lateritik cevherlerden Ni ve Fe kazanımı için asit liçinin uygun bir yöntem olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga ile işleme tabi tutulan cevherlerde ise liç süresinin kısaldığı ve yüksek çözünme verimlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adatepe (Karaçam), asit liçi, lateritik cevher, mikrodalga.

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINING LEACHING CONDITIONS OF ADATEPE (KARAÇAM) LATERITIC ORE UNDER MICROWAVE EFFECT

Merve KÖSELER

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MINING ENGINEERING**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Tevfik AĞAÇAYAK

2012, 82 Pages

Jury

Assist. Prof. Dr. Tevfik AĞAÇAYAK

Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY

Assist. Prof. Dr. Hüseyin DEVECİ

In this study, optimum leach parameters in acidic medium were investigated for a lateritic nickel ore taken from a mine located at Adatepe (Karaçam). Leach experiments were carried out using concentric H_2SO_4 , HCl and $HClO_4$ acids to determine the dissolution effect of these acids on Fe and Ni elements. Agitation speed, acid concentration, temperature, solid/liquid ratio and particle size of the ore were selected as experiments parameters.

In addition, the effect of microwave pre-treatment on dissolution of Fe and Ni was tested at optimum leach conditions determined at first stage. Ground ore ($-75+53 \mu m$) were subjected to microwave treatment at different power (0, 90, 180, 360, 600 watt) and time (1, 3, 5, 7, 10, 15 ve 20 min.). Then the microwave treated ore were used for leach experiment to compare the results.

The results showed that the acid leach method is suitable for recovering Fe and Ni from lateritic ore. It was found that the microwave treatment was beneficial to recover these elements. The dissolution rate was increased and dissolution time was decreased by means of microwave treatment.

Key words: Adatepe (Karaçam), acid leach, lateritic ore, microwave.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında değerli fikir, tavsiye ve yardımlarını, en önemlisi zamanını benden esirgemeyen, kişisel birikimi ile bana yön veren tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Tevfik AĞAÇAYAK'a teşekkür ederim.

Çalışmanın hazırlanması sürecinde ve sonrasında bilgi ve yardımlarıyla bana destek olan, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Alper ÖZKAN'a, Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY'a ve bölümümüzün tüm öğretim elemanlarına teşekkür ederim.

Son olarak, beni büyütüp bugünlere getiren ve tez çalışmalarım esnasında gösterdikleri özveri ve manevi destekten dolayı babam Muammer KÖSELER, annem Aydan KÖSELER ve kardeşim Melike KÖSELER'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Merve KÖSELER

KONYA- 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Nikel Hakkında Genel Bilgiler.....	3
2.1.1. Nikelin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	3
2.1.2. Nikel mineralleri.....	4
2.1.3. Nikelin kullanım alanları.....	6
2.1.4. Nikel cevherlerinin mineralojisi ve jeolojisi.....	6
2.1.4.1. Sülfürlü nikel cevherleri.....	7
2.1.4.2. Lateritik kökenli nikel cevherleri.....	7
2.1.4.3. Hidrotermal nikel yatakları.....	8
2.1.5. Nikel içerikli cevherlerin zenginleştirilmesi.....	8
2.1.5.1. Fiziksel yöntemler.....	8
2.1.5.2. Fizikokimyasal yöntemler.....	9
2.1.5.3. Kimyasal yöntemler.....	9
2.2. Liçing.....	10
2.2.1. Liçing yöntemleri.....	11
2.2.1.1. Yığın liçi.....	11
2.2.1.2. Yerinde liç.....	13
2.2.1.3. Perkolasyon veya tank liçi.....	14
2.2.1.4. Karıştırma liçi.....	15
2.2.1.5. Bakteri liçi.....	16
2.3. Mikrodalga.....	16
2.3.1. Mikrodalga fırınlarının tarihçesi.....	17
2.3.2. Mikrodalga fırınlarının çalışma prensibi.....	18
2.3.3. Mikrodalga fırınlarının kullanım alanları.....	19
2.3.4. Cevher hazırlama ve zenginleştirmede mikrodalga uygulamaları.....	20
2.3.4.1. Mikrodalga ön işlemlerli cevher öğütülmesi.....	20
2.3.4.2. Mikrodalga destekli mineral liçi.....	21
2.3.4.3. Mikrodalga destekli atık yöntemi.....	23
2.3.4.4. Cevheri mikrodalga ön işlemlerli manyetik yöntem ile zenginleştirme.....	24
2.3.4.5. Cevherin mikrodalga destekli flotasyonu.....	25
2.4. Adatepe (Karaçam) Bölgesinin Jeolojisi ve Coğrafi Durumu.....	26
2.4.1. Bölgenin jeolojisi.....	26
2.4.2. Bölgenin coğrafi durumu.....	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	28
3.1. Materyal.....	28
3.2. Yöntem.....	28
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	30
4.1. Liç deneyleri.....	30

4.1.1. H ₂ SO ₄ ile liçing çalışmaları.....	30
4.1.1.1. H ₂ SO ₄ ortamında karıştırma hızının çözünmeye etkisi.....	30
4.1.1.2. H ₂ SO ₄ derişiminin çözünmeye etkisi.....	32
4.1.1.3. H ₂ SO ₄ ortamında sıcaklığın çözünmeye etkisi.....	34
4.1.1.4. H ₂ SO ₄ ortamında katı/sıvı oranının çözünmeye etkisi.....	36
4.1.1.5. H ₂ SO ₄ ortamında tane boyutunun çözünmeye etkisi.....	38
4.1.2. HCl ile liçing çalışmaları.....	40
4.1.2.1. HCl ortamında karıştırma hızının çözünmeye etkisi.....	40
4.1.2.2. HCl derişiminin çözünmeye etkisi.....	42
4.1.2.3. HCl ortamında sıcaklığın çözünmeye etkisi.....	44
4.1.2.4. HCl ortamında katı/sıvı oranının çözünmeye etkisi.....	46
4.1.2.5. HCl ortamında tane boyutunun çözünmeye etkisi.....	48
4.1.3. HClO ₄ ile liçing çalışmaları.....	50
4.1.3.1. HClO ₄ ortamındakarıştırma hızının çözünmeye etkisi.....	50
4.1.3.2. HClO ₄ derişiminin çözünmeye etkisi.....	52
4.1.3.3. HClO ₄ ortamında sıcaklığın çözünmeye etkisi.....	54
4.1.3.4. HClO ₄ ortamında katı/sıvı oranının çözünmeye etkisi.....	56
4.1.3.5. HClO ₄ ortamında tane boyutunun çözünmeye etkisi.....	58
4.2. Mikrodalga Ön İşlemliliçing Çalışmaları.....	60
4.2.1. H ₂ SO ₄ ortamında mikrodalga ön işlemliliçing çalışması.....	60
4.2.1.1. H ₂ SO ₄ ortamında mikrodalga ön işlem süresinin Ni ve Fe çözünmesine etkisi.....	60
4.2.1.2. H ₂ SO ₄ ortamında mikrodalga gücünün Ni ve Fe çözünmesine etkisi.....	62
4.2.2. HCl ortamında mikrodalga ön işlemliliçing çalışması.....	64
4.2.2.1. HCl ortamında mikrodalga ön işlem süresinin Ni ve Fe çözünmesine etkisi.....	64
4.2.2.2. HCl ortamında mikrodalga gücünün Ni ve Fe çözünmesine etkisi.....	66
4.2.3. HClO ₄ ortamında mikrodalga ön işlemliliçing çalışması.....	68
4.2.3.1. HClO ₄ ortamında mikrodalga ön işlem süresinin Ni ve Fe çözünmesine etkisi.....	68
4.2.3.2. HClO ₄ ortamında mikrodalga gücünün Ni ve Fe çözünmesine etkisi.....	70
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
5.1. Sonuçlar.....	73
5.2. Öneriler.....	77
KAYNAKLAR.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	82

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

E: Elektrik Alanı (V/m)
H: Magnetik Alan (gauss)
 Λ : Dalga Boyu (2450 MHz için 12,2 cm)
c : Işık Hızı (300 000 km/sn)

Kısaltmalar

HPAL : Yüksek Basınçlı Asit Liçi
AL : Atmosferik Liç
UHF : Ultra Yüksek Frekans
SHF : Süper Yüksek Frekans
EHF : Aşırı Yüksek Frekans
VPU : Ayarlı Güç Ünitesi
ANL : Amerikan Argon National Laboratory
EAF : Elektrik Ark Fırınları
Btu: British Thermal Unit
AAS : Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
MD: Mikrodalga

1. GİRİŞ

Nikel, gümüş parlaklığında, tel ve levha haline gelebilen, 1455°C’de eriyen, 2730°C’de kaynayan, manyetik özelliği olan bir metaldir. Çok dayanıklı olduğundan ve güzel cilalanabilmesinden dolayı birçok alet yapımında kullanılır. Diğer asal olmayan metaller nikelle kaplanarak havanın etkisinden korunur (Baykurt, 1974).

Sahip olduğu üstün nitelikler nedeniyle endüstride en çok kullanılan metallerden biridir. Gerek metal alaşımları gerekse paslanmaz çelik olarak geniş kullanım alanları olan bir metaldir. Saf olan dövülmüş ve dökülmüş haldeki nikelin endüstri bakımından geniş ve önemli kullanım alanları vardır. Bunun nedeni nikelin sahip olduğu mekanik ve fiziksel özelliklerin yanı sıra korozyona karşı gösterdiği yüksek dirençtir. Birçok ticari şekilde bulunan nikel kolaylıkla soğuk ve sıcak işlenebilir. İşlenmiş nikel, mekanik özelliklerinin çoğu bakımından yumuşak çeliğe benzer fakat çeliğin aksine korozyona karşı yüksek bir mukavemet gösterir. Nikel yüksek sıcaklıklarda kırılgan hale gelmez. Soğukta ferromanyetik olan nikel 370°C’de bu özelliğini kaybeder. Doğada genellikle demirle birlikte olmak üzere sülfürler, arsenürler ve silikatlar şeklinde bulunur (DPT, 2001).

Mikrodalga güç uygulama gereçlerinin geliştirilmesi ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaya başlanması bundan yaklaşık 50-60 yıl öncesine dayanmaktadır. Mikrodalgaın başlangıçta gıda, kimya ve kağıt sanayisine yönelik araştırma ve uygulamaları söz konusuken daha sonraları cevher hazırlama ve metalurji sanayinde de kullanılması araştırılmaya başlanmıştır (Artan, 1997).

Mikrodalga ısıtma ile pişirme, haşlama, kurutma, pastörizasyon, buz çözme, ve sterilizasyon gibi işlemler yüksek verimle kısa zamanda yapılabilmektedir. Bu işlemlerin dışında, cevherlerin öğütülmesinde, flotasyon ve manyetik ayırma işlemlerinde ve liç işlemlerinde ön ısıtma işlemi olarak kullanılmaktadır.

Mikrodalga ön işlemleri liç işlemi ile, metal veriminin artırması ve liç süresinin düşmesi göz önünde bulundurularak araştırmacıların mikrodalga ile çalışmalara yönlendiği görülmektedir.

Bu çalışmada, Adatepe (Karaçam) yöresinde bulunan nikel içerikli lateritik cevherleri kullanılarak sülfürik asit (H_2SO_4), hidroklorik asit (HCl) ve perklorik asit ($HClO_4$) ortamında Ni ve Fe çözündürülmesine olan etkisi araştırılmıştır. Daha sonra da aynı bölgeye ait lateritik nikel cevherinin aynı asitlerle liçine mikrodalgaın etkisi

araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda mikrodalga gücünün ve mikrodalgaya maruz kalma süresinin nikel ve demir çözünmesine etkisi incelenmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Nikel Hakkında Genel Bilgiler

Bazı eski Çin dokümanlarında, beyaz nikelin Doğu'da MÖ 1400-1600 yıllarında kullanıldığı anlatılmaktadır. Ancak nikelin genelde gümüş ile karıştırılması sebebiyle bu bilgi kesin değildir.

Cronstedt 1751'de bakırı nikolitten ayırmaya çalışırken, nikeli elde etti. Saf nikelden yapılmış olan bozuk paralar ise ilk defa 1881'de İsviçre'de üretildi (Wikipedia, 2012).

İlk metalürjik tesis 1824 yılında Avusturyalı Gersdorff tarafından kurulmuştur. Ancak Nikel endüstrisinin gelişmesi 1865 yılında Yeni Kaledonya'da (Fransa) önemli nikel yataklarının bulunması ve işletilmesiyle olmuştur ve bugün nikel demirden sonra en çok kullanılan metal haline gelmiştir (Caneb, 1970).

Nikelin, yaygın olarak 300.000'den fazla endüstriyel, askeri, ulaşım, havacılık, deniz ve mimaride uygulama alanları vardır. Birçok ülkede insanlar nikeli saf hali ve alaşımları bozuk para olarak kullanılan madde olarak, ya da çelik üzerine elektrolitik kaplamada kullanılan parlak bir madde olarak bilirler. Ancak en fazla kullanımı krom ve diğer metallerle alaşım oluşturarak paslanmaz çelik ve ısıya dayanıklı çelikler üretilmesi oluşturmaktadır. Bunlar daha çok sanayi ve inşaatlarda kullanılır aynı zamanda saksı, tava ve lavabo gibi bazı ev ürünlerinde kullanılır. Paslanmaz çelikler korozyon ve ısı dayanımı gibi bir çok özel endüstriyel ihtiyaçlara cevap vermek için üretilir, ayrıca gıda ve diğer süreçler için temiz ve hijyenik yüzeyler sağlar (<http://www.insg.org/>).

2.1.1. Nikelin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Nikel, 4. periyot 8B grubunda yer alan, atom numarası 28, Atom ağırlığı 58,71, yoğunluğu 8,9 olan, gümüş parlaklığında, demir sertliğinde, kolay işlenebilen ve kolayca tel durumuna getirilebilen bir elementtir.

Nikel, doğada sülfürler, arsenürler ve silikatlar şeklinde bulunmaktadır. Tropikal bölgelerdeki yatakların çoğu, ultramafik kayaların yoğun yağışlarla yıkanmasıyla ortaya çıkan ikinci bir konsantre olan lateritik yataklardır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar sonucu, Türkiye'nin batısında bulunan nikel yatağının Avrupa'daki tesisler için uygun özellikte olduğu tespit edilmiştir (Wikipedia, 2012).

Nikele ait genel özellikler Çizelge 2.1’de gösterilmiştir (El-Dahshan, 1996; Özdemir, 2006).

Çizelge 2.1. Nikel elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (El-Dahshan, 1996; Özdemir, 2006).

PARAMETRELER	ÖZELLİKLER
Sembol	Ni
Atom Numarası	28
Atom Ağırlığı	58,69
Atom Yarıçapı	$1,25 \times 10^{-10}$ m
Değerliği	2+
İzotopları:	Yarılma süresi:
Ni ⁵⁶	6 gün
Ni ⁵⁷	36 gün
Ni ⁵⁹	10^5 gün
Ni ⁶³	85 gün
Ni ⁶⁵	2,6 saat
Ni ⁶⁶	56 saat
Rengi	Gümüş renkli
Kaynama sıcaklığı	2730°C
Yoğunluğu	$8,9 \times 10^{-3}$ kg/m ³
Ergime sıcaklığı	1455°C
Sertliği (Moh’s)	3,5

2.1.2. Nikel mineralleri

Nikel temel olarak iki tür maden yatağından elde edilir. Birincisi, temel mineralleri limonit (Fe,Ni)O(OH) ve garnierit (Ni,Mg)₃Si₂O₅(OH) olan lateritik yataklardır. İkincisi ise, ana minerali pentlandit (Ni,Fe)₉S₈ olan magmatik sülfür yataklardır (Wikipedia, 2012).

Nikel minerallerinin bazıları ve bulunuş şekilleri ise Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Başlıca nikel mineralleri ve bulunuş şekilleri (Aslaner, 1979).

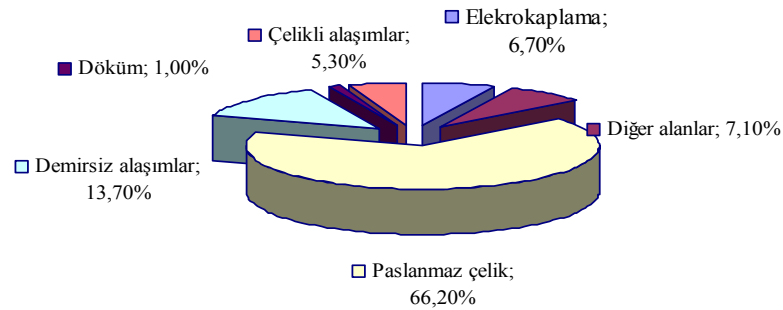
Mineral	Bileşim	Bulunuş
Avaruit	$\text{Ni}_2\text{Fe}/\text{Ni}_3\text{Fe}$	Serpantinleşmiş kayaçlar içerisinde bulunmaktadır. Magnetit ve pentlanditin yerini alabilmektedir. Pentlanditin oksidasyonu veya olivin ve enstatitin (nikel içeren) alterasyonu sonucunda oluşmaktadır.
Pentlandit	$[(\text{Fe},\text{Ni})\text{S}]$	Bazik magmatik kayaçlarda Pirrotit ile birlikte yönlü enklüsyonlar halinde bulunmaktadır.
Heazlevudit	(Ni,S_3)	Serpantinleşmiş kayaçlarda taneli ve mozaik şeklinde görülmektedir. Pentlanditle birlikte büyüme göstermekte veya onun içinde enklüsyonlar halinde bulunmaktadır.
Polidimit	NiNi_2S_4	Kalkopirit ve pirrotit ile birlikte sideritli gang içinde, hipotermal yataklarda bulunmaktadır.
Violarit	$(\text{NiFe})_3\text{S}_4$	Hipotermal yataklarda, genellikle pentlandit ve milleritin alterasyon ürünü olarak bulunmaktadır.
Millerit	NiS	Alçak sıcaklık minerali olup ekseri karbonatlı gangla birlikte semantasyon zonunda ve çoğunlukla organik sedimanlarda bulunmaktadır.
Bravoit (Nikel Pirit)	$(\text{Fe},\text{Ni},\text{Co})\text{S}_2$	Pentlandit ve milleritin alterasyon ürünü olarak oluşmaktadır.
Bunsenit	NiO	Sekonder bir mineral olup oksidasyon zonunda bulunmaktadır.
Kloantit	NiAs_2	Karbonatlı gang içinde mezotermal Co, Ni, Ag, Bi, yataklarında bulunurlar.
Nikelin	NiAs	Pirrotit ve kalkopirit ile beraber mafik kayaçlara bağlı olarak, Hipotermal filonlar halinde Ag, Co ve Bi ile beraber bulunmaktadır.
Annabergit	$\text{Ni}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Kobalt ve nikel içeren birincil minerallerin oksidasyon yüzeyinde ikincil mineral olarak bulunurlar.
Garnierit	$(\text{Ni}, \text{Mg})_3 \text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$	Serpantin gurubu minerallerden olup; ultramafik kayaçlar içerisinde orta derecede serpantinleşmiş peridotitler üzerinde kalıntı olarak oluşmaktadır.
Gersdorfit	NiAsS	Nikel kobalt mineralleri, muhtelif sülfürler, karbonatlar ve kuvars ile birlikte hipotermal alanlarda bulunurlar.

2.1.3. Nikelin kullanım alanları

Paramanyetik özelliğinden dolayı dış etkilere dayanıklıdır. Bu nedenle eşyaların yüzeylerinin üzerlerinin elektrolitik kaplanması, aşınmaya karşı dirençli alaşımların eldesinde, pillerin ve akülerin yapımında, özel çelikleri yapımında, hidrojenasyon reaksiyonlarında katalizör olarak, madeni paraların yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca cama yeşil rengi vermek amacıyla da kullanılmaktadır (Akikol, 2005).

Kimya endüstrisinde: Nikel alaşımları olarak metal korozyonuna maruz yerlerde, kostik solüsyonların taşınması ve muhafazasında, petrol endüstrisinde; fabrikasyon ürünlerde: Çatal, bıçak takımları, çekiç, pense gibi aletlerle diğer birçok ev ve hastane aletlerinin yapımında; uçak ve gemi endüstrisinde: Nikel süper alaşımları yüksek ısıda basınç ve korozyona dayanıklı olduğundan uçakların gaz türbinlerinde, jet motorlarının yapımında, ayrıca uçakların elektrolizle kaplanan bölgelerinde ve gemi yapımında tuz korozyonuna karşı engelleyici olarak; motorlu araçlar ve parçalarında; elektrikli makineler ve parçalarında kullanılmaktadır (Yıldız, 2008).

Nikelin farklı alanlarda yaklaşık olarak kullanımı aşağıdaki Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Zainol, 2005).



Şekil 2.1. Nikelin kullanım alanları (Zainol, 2005).

2.1.4. Nikel cevherlerinin mineralojisi ve jeolojisi

Nikel mineralleri çeşitli jeolojik formasyonlarının ve maden yataklarının bileşiminde görülmektedir. Fakat ekonomik nikel yatakları başlıca erken magmatik evre nikel sülfür cevherleşmeleri, hidrotermal nikel yatakları ve nikelli lateritler (kalıntı yatakları) olmak üzere üç şekilde bulunmaktadır.

2.1.4.1. Sülfürlü nikel yatakları

Nikel cevheri madenciliğinde; yatağın eğimi, kalınlığı ve yan taşın durumuna göre farklı işletme yöntemi seçilmektedir ve bu yöntemler açık veya yer altı işletmesi olabilmektedir. Ancak dünyada bu tip yatakların büyük çoğunluğu yeraltı işletmesidir. Mekanize yöntemlerle büyük miktarlarda üretim yapılırken küçük yataklarda ilkel işletme yöntemleri uygulanmakta ve dolayısıyla üretim miktarı çok düşük olmaktadır.

Genel olarak nikel madenleri, küçük çaptaki ocaklar şeklinde işletilmektedir. Bilinen nikel işletmelerinin çoğunda günlük üretim 500-1000 ton/gün arasında değişmektedir (Anales Des Mines,1978).

Sülfürlü nikel cevherleri nikel içerikli pirotit (Fe_7S_8), petlandit $(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$ ve kalkopirit (CuFeS_2) içerirler. Diğer içerdiği mineraller ise, manyetit (Fe_3O_4), pirit (FeS_2), millerit (NiS), ilmenit (FeTiO_3), heazlevodit (NiS_3), polidimit (Ni_3S_4), violarit (Ni_2FeS_4)'dir (Göveli, 2006).

2.1.4.2. Lateritik kökenli nikel yatakları

Bu tür yataklar, içinde belirli bir cevher dağılımına sahip olmayan, varolan kayaçların da tamamen dış etkenlerle ayrışıp faydasız olan kısmın ortamdan uzaklaşarak faydalı mineral ve elementlerin toplanmasıyla oluşan yataklardır. Bu yatakların oluşumuna etken 3 faktör vardır. Bunlar:

- İklim,
- Topoğrafya,
- Ayrışmaya uğramış kayacın bileşimi.

Yüzeyde bulundukları için arama çalışmaları daha kolay olmaktadır. Fe, Ni, Co, Al, Mn yatakları kalıntı olarak gelişirler. Ayrıca asbest, manyezit, kil tuğla, kiremit toprakları (terraroza) sepiyolit vb. yataklar kalıntı yatakları olarak gelişirler (Ağaçayak, 2008).

Cevher tenör dağılımının ortaya konulması önemlidir. Tenör düşey yönde karakteristik değişimler gösterir. Yatay konsantrasyon yuvaları düzenli olmadığından arama ağının sık tutulması gerekmektedir. Lateritik cevherleşmelerin hepsinde genelde açık işletme yöntemiyle üretim yapılmaktadır. Bu kapsam içindeki maden ocaklarında oldukça büyük üretim kapasitelerine ulaşılmaktadır. Bu ocaklar yeryüzünde oldukları için madencilik yönünden patlatma ihtiyacı duymayabilirler.(Göktaş, 2007).

Lateritik nikel yataklarının dezavantajlarından birisi; maden yapısı içinde düzensiz nikel minerali dağılımı nedeniyle kimyasal bileşimi sabit cevher üretilmesidir. Bu nedenle bazen çok merkezli üretim ve sonucunda uzun nakliye ve parçalama işlemleri gerektirmektedir. Maliyeti arttıran bir diğer faktör ise; cevherleşmenin ince bir kabuk şeklinde oluşması nedeniyle çok geniş alanlara yayılması ve bundan dolayı maden ocağı istimlak ve rekültivasyon (çevrenin düzenlenmesi) masraflarının yüksek olmasıdır (Cöcen, 1980).

2.1.4.3. Hidrotermal nikel yatakları

Bu tip yataklarda nikel tenörü ve cevherleşme çok değişkenlik göstermektedir. Rezervlerin en az görünür-muhtemel rezervler türünden saptanması gerekmektedir. Tabii bu da yatırımı arttıracaktır.

Bu tür cevherlerin nikel tenörleri bazı kesimlerde yüksek değerlere ulaşsa da, nikel metal rezervleri ekonomik anlamda büyük değer taşımamaktadır (Öztunalı, 1973).

2.1.5. Nikel içerikli cevherlerin zenginleştirilmesi

2.1.5.1. Fiziksel yöntemler

Metalce zengin konsantre eldesi için, sülfürlü nikel cevherlerine manyetik ayırma yöntemleri uygulanırken bunun yanı sıra sarsıntılı masa, jig gibi yöntemler de kullanılabilmektedir.

Jigler, bir tekne içerisine yerleştirilmiş ızgara veya elek yüzeyi üzerindeki farklı özgül ağırlıktaki mineral tanelerinin, düşey (aşağı ve yukarı) hareketli bir akışkan ortamdan yararlanılarak, tabakalar halinde ayrılması ilkesine göre çalışırlar.

Manyetik ayırma; farklı manyetik duyarlılıktaki mineral tanelerinin kuru veya sulu ortamda, düşük veya yüksek manyetik alan içinde, başlıca manyetik kuvvet olmak üzere, çeşitli kuvvetlerin (yerçekimi, sürtünme, merkezkaç vb.) bileşik etkilerine dayanılarak birbirlerinden ayrılmasıdır.

Sarsıntılı masa esas olarak, dikdörtgen, paralelkenar, dikdörtgene yakın yamuk veya V şeklinde, eğimi ayarlanabilen ve üzerinde belli yükseklikte ve düzende çıtalar bulunan ve burada tabaka halindeki akan akışkan akımında ayırım yapan aygıtlardır.

Göktaş (2007), Manisa Çaldağ lateritik cevherlerinden nikel kazanımında ön konsantre elde etmek için sallantılı masa, jig ve manyetik ayırma yöntemlerini uygulamıştır.

Amil ve ark., (2006), Muğla civarındaki nikelce zengin cevherler üzerinde çalışmışlardır. Çalışmanın birinde, Knelson gravite ayırıcısı kullanmışlardır, burada su basıncının etkisini inceleyerek Ni kazanım verimini belirlemişlerdir .

Ağaçayak (2008) ise, nikel cevheri için multi gravite seperatör ve yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı kullanmıştır. Multi gravite seperatör ile zenginleştirme deneyleri için, “C 900” tipi Mozley firmasının ürettiği Multi gravite seperatör kullanmıştır.

2.1.5.2. Fizikokimyasal yöntemler

Düşük tenörlü sülfürlü nikel cevherlerinin değerlendirmeye alınabilmesi için ön zenginleştirmeye tenörünün artırılması gerekmektedir. Pirotinli cevherler hariç zenginleştirme için flotasyon kullanılmaktadır (Ağaçayak, 2008).

Göktaş, (2007) tarafından, Manisa-Çaldağ lateritik ham cevheri ve sallantılı masanın şlam kısmı, bazı flotasyon kimyasalları kullanılarak direk ve ters flotasyona tabi tutulmuştur. Fakat, şlam fazla olduğundan toplayıcı adsorbsiyonu engellenmiş ve çok fazla reaktif tüketimine neden olduğunu belirtmiştir.

Ağaçayak (2008), fizikokimyasal zenginleştirme yöntemi için, “Denver” tipi flotasyon hücresi kullanmıştır. Flotasyon deneylerini, -106 µm boyutunda, % 20 katı oranında, 200 gramlık temsili numuneler kullanarak yapmıştır.

2.1.5.3. Kimyasal yöntemler

Lateritik cevherler genel olarak magnezyum ve silikatça zengin garnierit cevherleri ya da demirce zengin limonit cevherleri şeklinde bulunurlar. Dolayısı ile nikel zenginleştirmenin ana amacı, nikeli demir ve magnezyumdan ayırmaktır. Bu amaçla pirometalurjik yöntemler (ergitmeye dayalı) ve hidrometalurjik yöntemler (çözündürmeye dayalı) olmak üzere 2 yöntem kullanılmaktadır.

Hem pirometalurjik hem de hidrometalurjik aşamaları içeren Caron prosesi de nikel ekstraksiyon yöntemlerinden biridir. Hidrometalurjik yöntemleri ise Yüksek

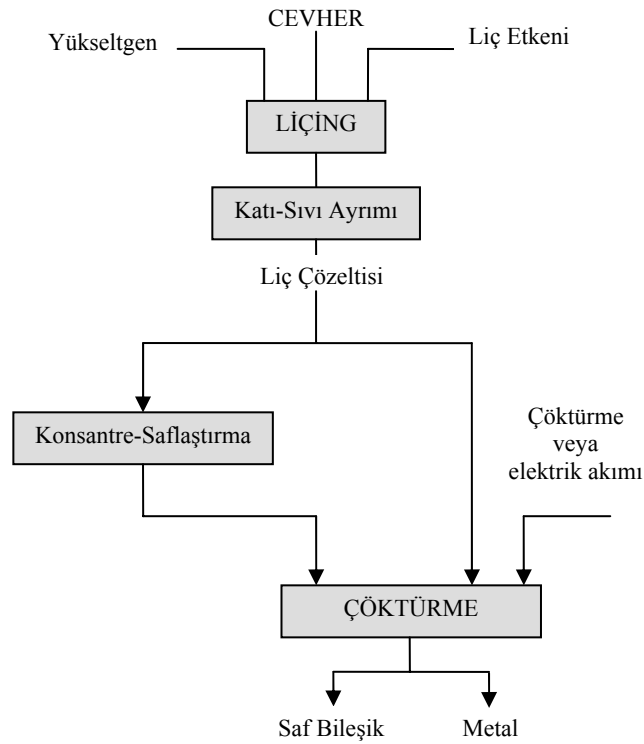
Basınç-Sıcaklık Asit Liçi (HPAL) ve Atmosferik Liç (AL) olarak iki ana başlıkta inceleyebiliriz (Sardesnikel, 2011).

2.2. Liçing

Liçing, sulu bir liç reaktifi çözeltisi ile konsantre, cevher yada atıklardaki değerli metal/metallerin çözünmesi işlemidir. Liç işlemi sonucunda istenilen metalle zenginleşmiş çözelti kirliliklerinden arındırılır (Beşe, 2000).

Liçing işlemlerinde çözücü olarak su, asit, baz, tuz vb. kullanılabilir. Liç edilen materyal ise cevher, konsantre (sülfür, karbonat, silikat, oksit ve sülfat gibi) veya metal içeren her türlü artık olabilmektedir (Akdağ, 1984; Bingöl, 1993).

Şekil 2.2’de bir liç işleminin akım şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Genel liç akım şeması (Habashi, 1982).

Liçing işlemlerinde çözünmenin seçimli, hızlı ve toplam çözünme olması amaçlanmaktadır. Seçimli çözünme, reaktif harcamalarını en aza indirmek ve çözeltiden metallerin kazanılması aşamasında avantaj sağlamak amacıyla istenilen önemli bir parametredir. Liçing işleminin hızlı olması, tesis hacminin seçilmesinde önemli olan bir diğer parametredir. Çünkü hızlı çözünme, cevherin tesiste kalma süresini doğrudan

etkilemektedir. Üçüncü temel parametre ise; faydalı minerallerin yüksek verimle çözündürülmesidir. Bu da liçing işlemlerinin ekonomisini doğrudan etkilemeyen önemli bir parametredir (Canbazoğlu, 2001).

2.2.1. Liçing yöntemler

Liç işlemleri uygulanan yöntemlere göre sınıflandırılabilir. Çizelge 2.3’de bu yöntemlerin sınıflaması topluca sunulmuştur.

Çizelge 2.3. Hidrometalürjik üretim yöntemleri (Canbazoğlu ve Girgin, 2001).

Liç Yöntemi	Tane Büyüklüğü	Süre	İşlem Maliyeti
Karıştırmalı pülp liçi- basınç liçi	<0,5 mm	Gün	Yüksek
Perkolasyon veya tank liçi	<10 mm	Hafta	Yüksek
Hazırlıklı yığın liçi	Kırılmış cevher	Ay	Düşük
Hazırlıksız yığın liçi	İşlemden geçirilmemiş cevher	Yıl	Düşük
Yerinde liç	Gerektiğinde patlatma yoluyla yerinde gevşetilmiş cevher	Yıl (lar)	Düşük

Çizelge 2.3’de görüldüğü gibi, seçilen liç yöntemine göre işlem süresi değişmekte ve maliyet bakımından farklılıklar göstermektedir. Değişik şartlarda tatbik edilen çeşitli liç yöntemleri vardır. Bunlar;

- Yığın Liçi
- Yerinde Liç
- Perkolasyon veya Tank Liçi
- Karıştırma Liçi
- Bakteri Liçi’dir.

2.2.1.1. Yığın liçi

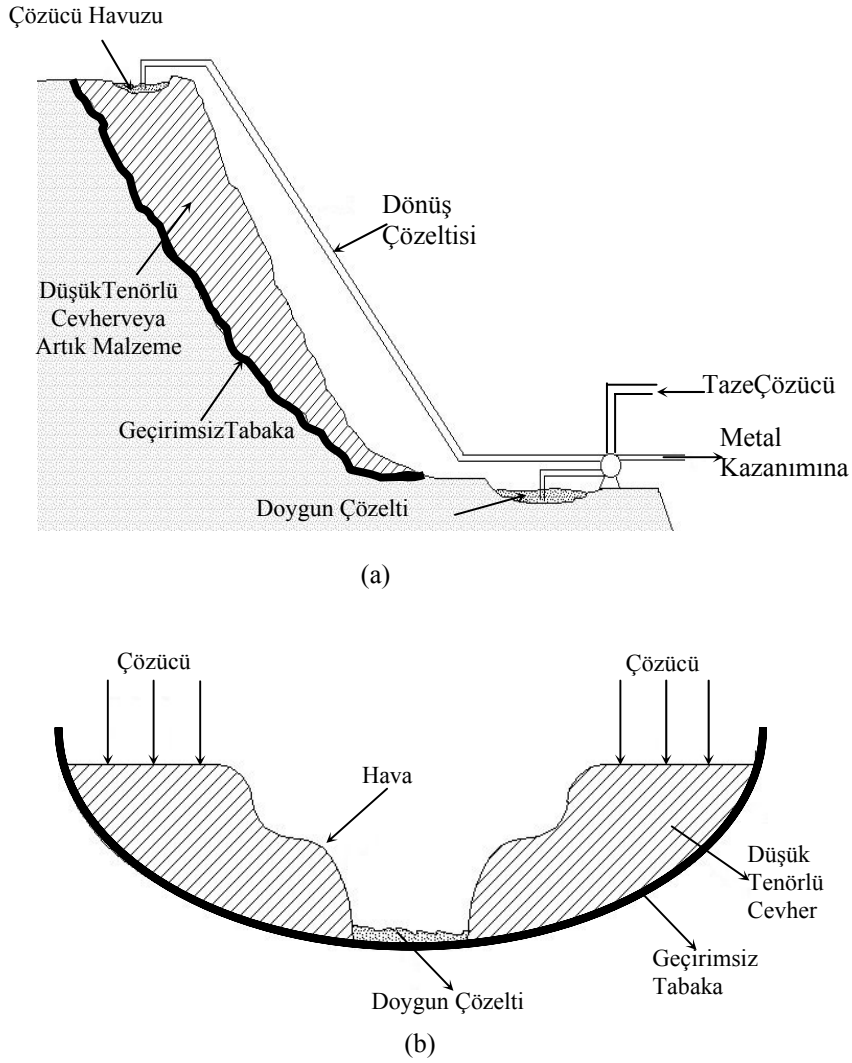
Maden stok sahalarında -15 cm'ye indirgenmiş cevher yığın haline getirilerek bir kimyasal çözücüyle işleme tutulması esasına dayanan bir liç yöntemidir. Cevher geçirgen olmayan bir zemin üzerine yığılır ve sulama, yağmurlama gibi yöntemlerle taze çözelti cevher yığınınına beslenir. Yüklü çözelti drenaj kanallarıyla alınır.

Yığın liçi bakır, uranyum ve altın gümüş gibi cevherlere uygulanabilmektedir. Uygulamalarda bakterilerden de yararlanılabilmektedir (Ermiş, 2011).



Şekil 2.3. Sulama yöntemiyle yapılan yığın liçi çalışmalarından bir görüntü.

Hazırlıksız yığın liçi genellikle artık nitelikli malzemelere uygulanabilmekte ve 100.000 ton dolayında malzeme içeren yığınlar uygulama için uygun görülmektedir. Bir tepe yamacındaki ve çukur bir alandaki hazırlıksız yığın liçi örnekleri Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. (a) Bir tepe yamacındaki hazırlıksız yığın liçi, (b) Çukur bir alandaki hazırlıksız yığın liçi (Canbazoglu ve Girgin, 2001).

2.2.1.2. Yerinde liç

Bu tür liç işlemleri ya doğrudan cevher yatağına ya da eski maden ocaklarına uygulanmaktadır. Bu yöntemde çözücü kimyasal, sulama yöntemiyle ilgili alana verilir. Cevher yatağından geçen çözelti drenaj kanallarıyla toplanır. Çözeltiye alma süresinin uzun olması sistemin dezavantajıdır. Çözeltme süresini kısaltmak için sisteme bazı bakteriler ilave edilebilmektedir. Yerinde liç işleminde bu bakterilerin özellikle bakır sülfürlerin liçinde etkili olduğu bilinmektedir (Ermiş, 2011).

Yerinde liç işleminin olumlu ve olumsuz yönleri Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Cevher tanklara doldurulduktan sonra çözücü ile temasa geçirilir. Çözücü ya tankın altından verilerek, çözelti üstten taşma halinde alınır veya çözelti üstten verilerek alttan alınır. Genellikle Au, Cu, U, ZnO (kalsin) liçinde kullanılır (Akdağ, 1992).

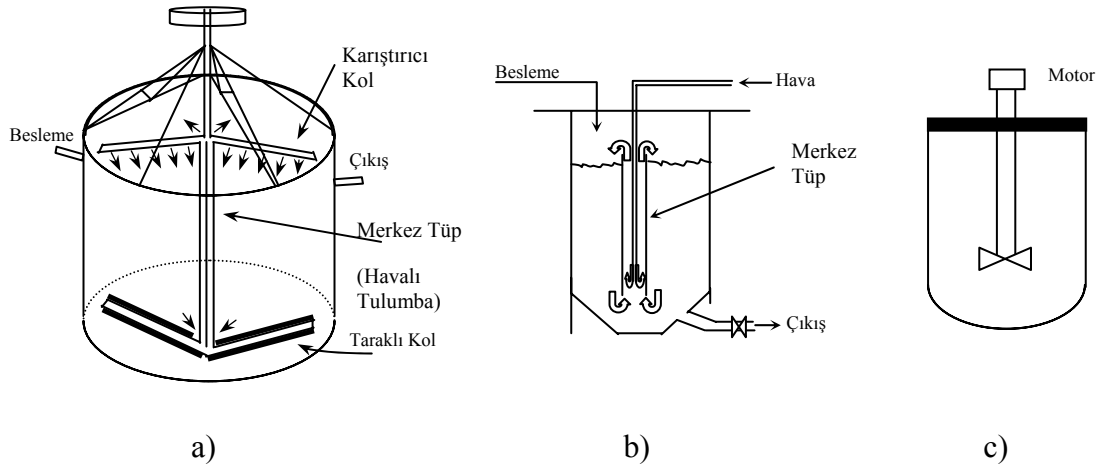
2.2.1.4. Karıştırma liçi

Küçük boyuttaki cevherlerin (-0,5 mm) uygun bir tank içinde, atmosferik basınçta veya farklı basınçlarda, mekanik ya da pnömatik olarak karıştırılmasıyla yapılan liçe karıştırma liçi denilmektedir. Bu yöntemin, diğer yöntemlere kıyasla oldukça kısa bir liç süresine sahip olması (maksimum 10 saat) ve yüksek metal kazanma verimine olanak tanınması nedeniyle, günümüzde endüstriyel uygulamaları oldukça yaygındır (Ermış, 2011).



Şekil 2.6. Tesis çapında kullanılan liç tankları.

Ayrıca Şekil 2.7’de görüldüğü gibi, karıştırma liçinde kullanılan önemli ekipmanlar, Denver ajitatörü, Pachuca tankı ve Dorr ajitatörü olarak bilinmektedir.



Şekil 2.7. (a) Dorr ajitatörü, (b) Pachuca tankı, (c) Denver ajitatörü

2.2.1.5. Bakteri liçi

Bakteri liçi, normal basınç altında ve 5 ile 90°C sıcaklık aralığında mikroorganizmaların katalizör etkisini kullanarak sülfürlü cevher veya konsantrelerden metalik bileşiklerin çözündürülmesidir. Yaklaşık 2000 yıl önce, sülfürlü cevherlerden bakır sülfat (CuSO_4) olarak bakırın bakteriyel liçi ve sementasyon ile metalik bakırın kazanımı Avrupa’da ve Çin’de uygulanmıştır (Seifelnassr ve Abouzeid, 2000; Akçıl ve Çiftçi, 2003; Çiftçi ve Akçıl, 2003; Ehrlich, 2004; Akçıl ve Çiftçi, 2006).

Thiobacillus thiooxidans, *thiobacillus concretivorus*, *thiobacillus ferrooxidans* ve *ferrobacillus ferrooxidans* gibi bazı bakterilerin sülfürlü metal minerallerini yükseltgediği bilinmektedir (Çilingir, 1990).

2.3. Mikrodalga

Elektromanyetik yelpaze içinde değişik isimlerle incelenen ışınlar temelde dalgalar halinde yayılan ışınlardır (Şekil 2.8). Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumun dalga boyu 1 mm’den 1 m’ye kadar olan ve frekansı 300 MHz den 300 GHz’e kadar olan bölümüne denk gelen iyonize olmamış dalgalardır. Bu ışınlar kızıl ötesi ışınlar ile radyo dalgaları arasında yer almaktadır.

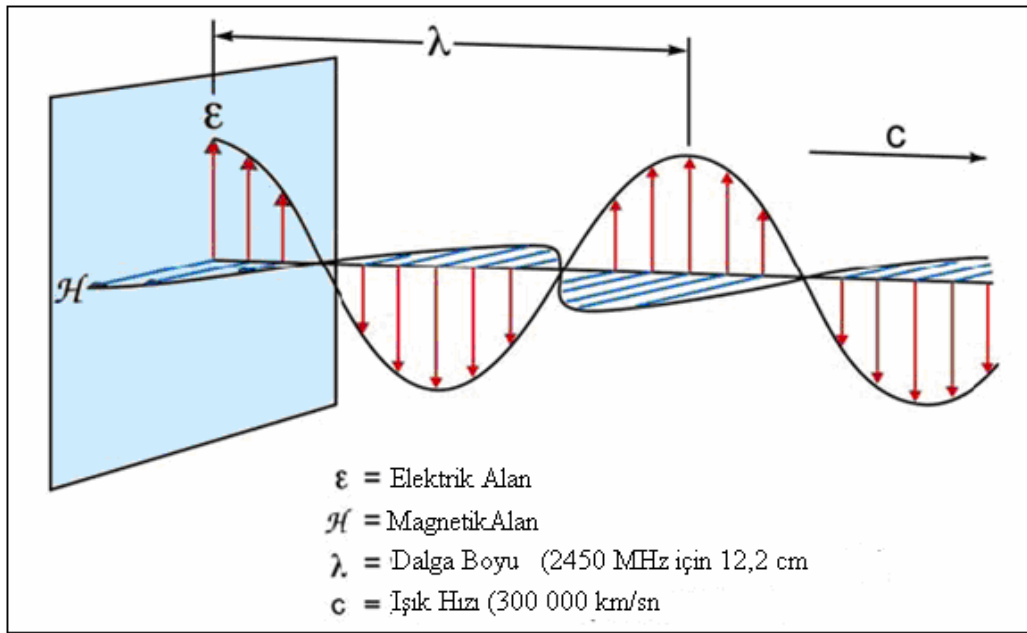
Mikrodalga frekansları 3 band içermektedir (Eskibalcı, 2007);

Ultra yüksek frekans (UHF: 300 MHz’den 3 GHz’e),

Süper yüksek frekans (SHF: 3 GHz’den 30 GHz’e),

Aşırı yüksek frekans (EHF: 30 GHz’den 300 GHz’e kadar olan)

Mikrodalga ısıtma sistemlerinde elektromanyetik enerji madde içerisinde doğrudan ısıya dönüşmektedir. Bu nedenle mikrodalga ısıtma sistemlerinde ısı, konvansiyonel sistemlerin tam tersine maddenin içinden dışına doğru taşınır. Materyalin iç bölümleri yüzeyinden daha sıcaktır, bu yüzden suyun içten dışa buharlaşması ve difüzyonu daha basittir. Kurutma boyunca malzemede kabuk oluşumu görülmez ve su kolayca buharlaşır. Mikrodalga enerjisi; genellikle ön ısıtma, kurutma ve dehidrasyon için uygulanmaktadır (Thostenson ve Chou, 1999).



Şekil 2.8. Bir mikrodalga'nın görünümü (Chow ve Reader, 2000).

2.3.1. Mikrodalga fırınlarının tarihçesi

Mikrodalga güç uygulama gereçlerinin geliştirilmesi ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaya başlanması bundan yaklaşık 50-60 yıl öncesine dayanmaktadır. II. Dünya savaşı sırasında Alman uçak ve denizaltılarının yerini tespit etmeye yönelik çalışmalar yapan bilim adamları Magnetron adını verdikleri ve elektronik dalgaları metal yüzeylerinden yansıtan bir cihaz keşfetmişlerdir. Bu keşif onları, şimdi radar adı verilen cihaza götürecek yolda bir anahtar olmuştur (Artan, 1997).

1950'li yıllarda yapılan ilk çalışmalarda mikrodalgaya maruz bırakılan maddelerin özellikleri hakkında güvenilir veriler elde edilmeye çalışılmıştır. Bu ön çalışmalar sonucunda birçok organik ve inorganik maddenin 100 Hz ile 10 GHz frekansları arasındaki yapısal özellikleri incelenmiştir. Takip eden yıllarda madde

özellikleri verilerine ek olarak, magnetronların, güç kaynaklarının ve yan ekipmanların tasarımındaki belirgin gelişmeler bu yeni tekniğin ilerlemesine ve güvenilirliğinin artmasına neden olmuştur. Fizik, kimya, elektrik, elektronik, makine, proses mühendisliği, termodinamik, madde fiziği vb. gibi birçok disiplin, bu tekniğin gelişmesindeki gereksinimleri karşılamak üzere işbirliği yapmıştır (Kingman ve Rowson, 1998).

İlk uygulamalar gıda sanayinde görülmektedir. Örneğin; gıda, kağıt, inşaat malzemeleri, metalurji sanayi, çevre ile ilgili olarak radyoaktif atık ve hastane atıklarının zararsız hale getirilmesinde kullanım ve uygulama alanı bulmuştur (Kanat, 2001).

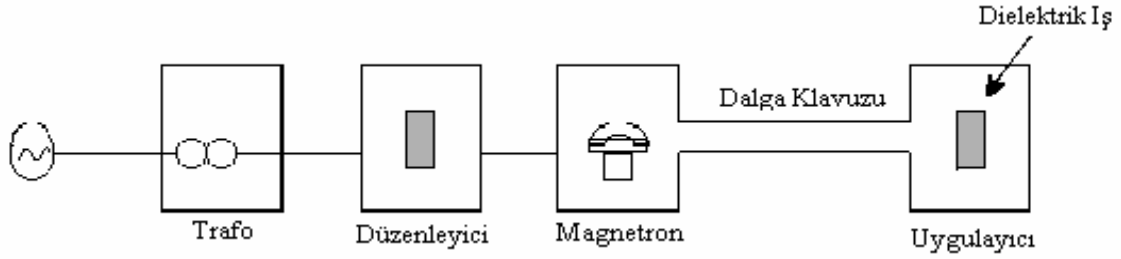
Son yıllarda mikrodalga fırın tasarımı üzerinde çalışan mühendisler, mikrodalga enerjisinin kontrolünde karşılaşılan iki problemi çözüme kavuşturmuştur. Bunlardan ilki Ayarlı Güç Ünitesi (VPU); burada güç, magnetron çıktısı ile kontrol edilmektedir. Diğeri ise Düğme Modeli Güç Dönüştürücü sistem ki bu sayede kontrol devamlılığı sağlanmıştır. VPU, ön program pişirme seçenekleri sunabilmekte, bu ise şimdilik ev kullanımı için istenen “Akıllı Fırın” düşüncesine en yakın seçenek anlamına gelmektedir. Ayarlanabilir ısıtma frekansı mikrodalga fırınlardaki bir başka teknik özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu, mikrodalga fırınların ana gelişme unsurları arasında gösterilmektedir. Halen araştırma aşamasında olan bu özellik şu an itibariyle ticari ürünlerde kullanılabilecek düzeyde değildir (Eskibalci, 2007).

Günümüzde yapılan araştırmalar; içindeki yiyeceklerin ne olduğunu anlayan, malzemenin nem, ağırlık vb. özelliklerine göre program seçeneklerini sunabilen mikrodalga fırınlar geliştirmeye yönelik olarak devam etmektedir.

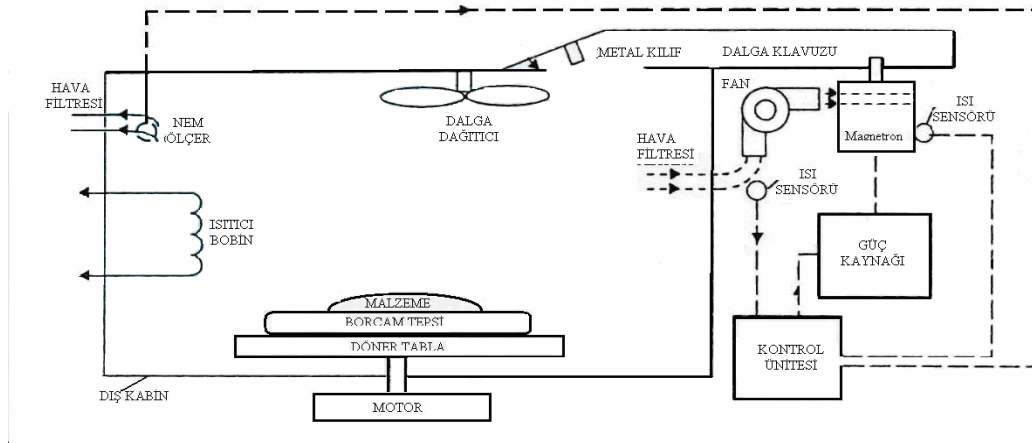
2.3.2. Mikrodalga fırınlarının çalışma prensibi

Mikrodalga fırınlarda ısıtma sistemi 4 temel kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; güç temini, magnetron, hedef malzemenin ısıtılması için uygulayıcı ve mikrodalgaların jeneratörden uygulayıcıya taşınması için kullanılan dalga kılavuzudur (Yıldız ve Alp, 2000).

Şekil 2.9’da mikrodalga ısıtma sisteminin basitleştirilmiş diyagramı ve Şekil 2.10’da ise bir mikrodalga fırının yapısı verilmiştir.



Şekil 2.9. Bir mikrodalga ısıtma sisteminin basit diyagramı (Haque, 1999).



Şekil 2.10. Bir mikrodalga fırının yapısı (Chow ve Reader, 2000).

Mikrodalgalar ışık hızında yayılırlar. Mikrodalga kaynağı açılır açılmaz, ısıtılacak kütleye nüfuz eder ve derhal enerji dönüşümünü başlatır. Kaynak kapatıldığında ısıtma prosesi derhal durur. Polar olmayan maddeler (teflon, hava, kuvars camı) mikrodalga enerjisini ısı enerjisine dönüştüremezler. Mikrodalgalar bu maddelerden geçerken zayıflamazlar. Genelde, enerji dönüşümünü yerine getiren ve ısı kaynağını temsil eden fırın, ısıtılacak maddeye mikrodalga gönderir. Metalik fırın muhafazası sadece maddeye enerji yönelterek enerji kaybını önlemek ve personeli mikrodalga radyasyona maruz bırakmamak için kullanılmaktadır (Stuchly ve Stuchly, 1983).

2.3.3. Mikrodalga fırınlarının kullanım alanları

Mikrodalga ısıtma ile pişirme, haşlama, kurutma, pastörizasyon, buz çözme, sterilizasyon ve temperleme gibi işlemler yüksek verimle kısa zamanda yapılabilir. Pişirme işlemi kısa zamanda, gıda maddesinin her noktasında

homojen bir ısı dağılımı oluşturularak yapılan bir işlemdir. İşlemin süresi pişirilecek gıdanın su içeriğine, yoğunluğuna, dielektrik kayıp faktörüne ve kütlesine bağlıdır. Mikrodalga güç uygulama gereçlerinin kullanıldığı alanlar, proses türüne göre sıralanmıştır (Seyrankaya ve Özalp, 2006).

Hava akımı altında büyük kütlelerin kurutulması ve kalsinasyonu

- Kağıt ve karton sanayi, bisküvi ve makarna sanayii
- Kuruyemiş ve çerez sanayii
- Tekstil sanayii (pamuk ve yün)
- Cam yünü üretimi, ahşap ve mobilya sanayii
- Aktif karbon rejenerasyonu, vb. gibi

Vakumlu Ortamda Isıya Hassas Malzemelerin Kurutulması

- İlaç sanayiinde, suya hassas kimyasalların kurutulmasında
- Makarna üretiminde, şeker kurutulmasında
- Soğan, çay ve ilaç hammaddesi olarak, kuruyemiş ve çerezlerde
- Hazır çorba bileşenlerinin imalatında

Isıl İşlemde

- Beton ve kaya parçalamada, aktivasyon işlemlerinde
- Seramik sinterlemede, asfalt rejenerasyonunda
- Petrol sondajında, lastik ve kauçuk vulkanizasyonunda

2.3.4. Cevher hazırlama ve zenginleştirmede mikrodalga uygulamaları

2.3.4.1. Mikrodalga ön işlemlerli cevher öğütülmesi

Pek çok mineral doğada saf olarak bulunmaz, ancak değerli ve değersiz minerallerin bir arada olduğu karışım şeklindedir. Her bir mineralin sahip olduğu farklı dielektrik özellikler nedeniyle malzemenin ısıtılması sırasında da farklı davranışlar göstermektedirler. Tane arayüzeyleri boyunca farklı gerilimler oluşmaktadır (Yıldız ve Alp, 2000).

Isıl destekli serbestleşme (boyut küçültme), öğütme için gerekli olan enerji ihtiyacını azaltmak ve mineral serbestleşmesini artırarak uygun cevherlerdeki

minerallerin birbirinden ayrılmasını geliştirmek için ekonomik bir yöntem olarak mikrodalga ön ısıtma önerilmektedir. Bunun yanında değirmen kapasitesinin arttırılabildiği, ton cevher başına aşınmanın azaldığı, değirmen ürün boyutlarının çok daha iyi kontrol edilebildiği, ince şlam üretiminin azaltılabildiği gibi faydaları da rapor edilmektedir (Ersayın ve ark., 1994).

Güngör ve Atalay (1996), ülkemizdeki Kef kromit cevheri ve farklı kimyasal bileşimdeki üç bakır cevheri üzerinde mikrodalga destekli öğütülebilirlik çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmalarda mikrodalga ıstmanın cevher üzerindeki etkilerini görmek için orijinal ve ısı uygulanmış örneklerin iş indeksi, kırılma oranı ve kırılma dağılım fonksiyonlarını araştırmışlardır. Bu araştırmacılar Kef kromit cevheri ve bakır cevherleri üzerinde yaptıkları çalışmalarda mikrodalga ön uygulamanın sınırlı bir etki yaptığını tespit etmişlerdir.

Walkiewicz ve ark. (1991), absorblama özelliği olmayan gang yapıları içinde mikrodalga enerji absorblayan mineraller içeren cevherlerin hızlı ısıtılmasının termal gerilimler ürettiğini göstermişlerdir. Bu termal gerilim mineral tane sınırları boyunca mikro çatlaklar meydana getirmiştir. Sonuç olarak, bir cevher örneği öğütme için çok uygun hale gelmektedir. Yazarlara göre öğütme işlemi, cevher hazırlama işlemleri içerisinde kullanılan enerjinin % 50-70'ini tüketmektedir. Bundan başka konvansiyonel öğütme proseslerinin enerji verimliliği yaklaşık olarak % 1'dir. Bu çalışmada Fe cevherinin mikrodalga ön ısıtılması ile öğütme veriminin % 9,9'dan % 23,9'a kadar artırılabilirdiği belirtilmiştir. Bununla birlikte bu verim artışı mikrodalga ön ısıtma işleminin gerektirdiği enerji tüketimini karşılamak için yeterli bulunmamıştır.

2.3.4.2. Mikrodalga destekli mineral liçi

Analitik kimyacılar, kimyasal analizlerde, metallerin, minerallerin ve değişik kimyasal ürünlerin çözülmesi için rutin olarak mikrodalga ısıtma cihazları kullanmışlardır. Daha önce belirtildiği üzere mikrodalga ısıtma; konvansiyonel ısıtmaya göre malzeme seçimli, daha hızlı ısıtma oranı ve daha hızlı çözünme oranı vermektedir (Lovas ve ark., 2003).

Kruesi ve Frahm (1982), nikel oksitler, kobalt ve demir içeren lateritik cevherlerin mikrodalga destekli liçi üzerinde çalışmışlardır. Bu mineral bileşiklerindeki metaller 30 dak. süreyle 80 °C'deki su içerisinde liç edilmiş ve bunu takiben cevher karışımı ve amonyum klorid mikrodalga fırında (1200 W, 2450 MHz, N₂ atmosferinde)

4-5 dk maruz bırakılarak kloridleri haline dönüştürülmüştür. Bu işlemde nikel ve kobalt kazanımları sırasıyla % 70 ve % 85 olmuştur ve bu sonuçların konvansiyonel bir döner fırında elde edilebilmesi için 300 °C fırın sıcaklığı ve 2 saatlik bir kavurma işlemi süresi gerekmektedir.

Son yıllarda asidik ferrik klorit ile sfaleritin liçinde mikrodalga enerji uygulanmıştır. Değişik liç parametreleri, örneğin sıcaklık, tane boyutu ve ferrik klorit konsantrasyonu çalışılmıştır. Test sonuçları, çinko liç oranının, her iki mikrodalga ve konvansiyonel ısıtma sistemlerinde sıcaklıkla arttığını göstermiştir. 95 °C’de, 60 dak. mikrodalga ısıtma ile 0,1 M HCl, 1,0 M FeCl₂ liç koşullarında çinko kazanımının % 90 olduğu rapor edilmiştir. Benzer koşullarda, konvansiyonel liç işlemi ile yalnızca % 50 çinko kazanımı yapılabilmektedir (Hua ve ark., 2002).

Weian (1997), bakır sülfür konsantrelerinin mikrodalga destekli asidik ferrik klorit liçi üzerinde çalışmıştır. Bu konsantre içindeki ana bakır mineralleri kalkosit (Cu₂S) ve kalkopirit (CuFeS₂) dir. Liç sıvısı doğrudan, değişik sürelerde mikrodalga (700 W 2450 MHz) ısıtmaya tabi tutulmuştur. 40-45 dk mikrodalga ısıtmadan sonra bakır kazanımı % 99’a ulaşmıştır. Buna karşın aynı değerde bir bakır kazanımı için konvansiyonel ısıtmada 2 saat gerekli olmaktadır. Yazar mikrodalga destekli liç işleminin bakır için hızlı bir çözünme oranı sağladığını ve bakır sülfür konsantrelerinin liçi sırasında mineral yüzeylerinde meydana gelen elementer sülfürün zararlı etkisini önlediğini belirtmiştir.

Antonucci ve Correa (1999), Kalkoprit konsantrelerinden (30,1-30,3 % Cu) bakır kazanımı konusunda, pH 1,6 da ve 60 °C ‘de su liçini takiben, konsantre ve sülfirik asit karışım pastasının mikrodalga ısıtması ile (2450 MHz; laboratuvar deneyleri için, ve 915 MHz; yarı pilot çaplı testler için) sülfatlaşma reaksiyonlarını incelemişlerdir. Yarı pilot çaplı testler 35 litre kapasiteli teflondan yapılmış silindirik döner reaktörde yapılmıştır. Reaktörün üzerinde bir açıklık vardır ki, şarj (konsantre ve H₂SO₄) buradan beslenmektedir ve aynı zamanda gaz ve elementer sülfür için çıkış yeri olarak servis yapmaktadır. Test sonuçları yüksek bakır kazanımlarının yüksek sülfirik asit dozajlarında olacağını göstermiştir. Yazarlar % 96’dan büyük bakır kazanımlarının, 1,8 kg konsantre karışımının mikrodalga ısıtması ile elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Bu proses elementer sülfür ve kuprik sülfat vermektedir.

Al-Harashsh ve Kingman (2003), mikrodalga uygulamasının kalkopirit liçi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalardan mikrodalga ısıtmanın reaksiyon kinetiklerine pozitif bir etki yaptığını belirlemişlerdir.

2.3.4.3. Mikrodalga destekli atık yöntemi

Üretim endüstrisi değişik oranlarda artık malzeme açığa çıkarmaktadır, bunların içerisinde maden öğütme tesisleri de girmektedir. Atığın bileşenleri ile ortaya çıkan tehlikeyi azaltmak için, teknolojiler atık üretiminin minimizasyonu ve güvenli işleme, taşıma, depolama, bozundurma, uzaklaştırma yada tehlikeli atıkların kontrolü için araştırmalar başlatmışlardır (Yıldız ve Alp, 2000).

Günümüzde mikrodalga enerjisi gazların, sıvı ve katı atıkların çok geniş bir yelpazede yönetiminde önemli bir potansiyel olabileceğini göstermektedir. Madencilik işlemleri, asit üretme potansiyeli olan büyük hacimlerde katı atıklar üretmektedir. Sıvı atıklar; asit, toksik ağır metaller ve non-metaller, siyanür, amonyak, organik maddeler ve diğerleridir. Gaz atıklar; kükürt dioksit, hidrojen sülfür, amonyak ve azot oksitlerdir (Haque, 1999).

Norman ve Cha (1996) yaptığı laboratuvar ölçekli testlerde; SO₂ ve NO_x gazlarının, elementer azota kükürt ve karbon monoksit ve ayrıca karbon dioksit karışımları haline dönüştürmüştür. Prosesin ilk adımı; SO₂ ve/veya NO_x leri içeren gazın, toksik gazları absorblaması için aktive edilmiş karbon bulunan bir kolon içerisinden geçirilmesini kapsar. Yüklü karbon kolonu daha sonra mikrodalga ile ısıtılmakta ve sonuçta; CO, CO₂ ve N₂ atmosfere salınmaktadır. Kükürt sprey odasında soğutularak satış için toplanmaktadır. Aşağıda bu reaksiyon kademeleri verilmiştir.



H₂S, ham petrol rafinasyonu sırasında üretilen çok toksik bir gazdır. Genellikle, hidrojen sülfür atık gaz akışı Claus prosesi ile muamele edilmektedir ki, bu hidrojen sülfürün, kükürt ve su olarak kısmi oksidasyonuna dayanmaktadır. Claus oksidasyon prosesi uygun oksidant karışımlarına gerek duymaktadır. Moskova'daki Kurchatov Enstitüsü mikrodalga plazma uygulayarak, hidrojen sülfürün, hidrojen ve kükürte bozunması için bir proses geliştirmiştir. Amerikan Argon National Laboratory (ANL); plazma-kimyasal artık muamele prosesi geliştirmiştir ki bu, hidrojen sülfür atık gazının bir mikrodalga-plazma reaktörden geçirilerek hidrojen ve kükürte bozunmasını

sağlamaktadır. ANL test sonuçları; her bir geçişte bozunma oranlarının % 65-80 aralığında olduğunu belirtmektedir. İlk enerji ve ekonomik analiz verileri, plasma-kimyasal atık muamele prosesinin yıllık enerji tasarrufunun 40-70 trilyon Btu yada rafine endüstrisine 500-1000 milyon ABD Doları tasarruf sağlayacağını göstermektedir (Yıldız ve Alp, 2000).

Çelik üretim fırınları, metalik tozlar üretmektedir. Elektrik ark fırınları (EAF) metallerin galvanizlenmesinde toz üretmektedir ki, bu toz yüksek oranda liç edilebilir kurşun (Pb), kadminyum (Cd), krom (Cr) ve çinko (Zn) içerir. Bu toz çeşitleri, risklerine göre sınıflandırılmakta kontrol ve düzenlemek için öncelikli olarak ele alınmaktadır. Günümüzde; ABD'nin birleştirilmiş EAF toz üretimleri yılda 677.000 ton dur. Geçerli toz uygulama işlemleri, 40.000 ton/yıl ve üzerindeki uygulamalar da ekonomik olabilmektedir. Tipik elektrik ark ocağı toz karışımlarının, öğütülmüş karbon ile değişik zaman aralıklarında mikrodalga enerjisi (900 W, 2450 MHz) ile ısıtılması çalışılmıştır. Bu araştırmalarda % 90 üzerindeki çinko, çinko oksit olarak buharlaşmıştır ki, daha sonra reaksiyon tabla üzerinde yerleştirilmiş alimünyum plaka üzerinde yoğunlaşmış ve toplanmıştır (Yıldız ve Alp, 2000).

Çelik üretimi sırasındaki cürufur ağırlıkça % 20 demir içermektedir. Fiziksel karakteristikleri modifiye etmek cüruftan demiri kazanmak için laboratuvar çaplı mikrodalga ısıtma testleri (1000 W, 2450 MHz) yapılmıştır. Çelik üretim cürufurunun karbon ya da manyetit ilave edilmeden ve edildikten sonraki ısınma davranışlarını araştırılmıştır. Test sonuçları; her iki karbon ve manyetit ilavesi ile cürufun ısınma oranının arttığını göstermiştir. Karbon ile 1000 °C'da, manyetit ile 800 °C'de ve hiç ilave olmaksızın 650 °C'de karşılaştırılmıştır. Kazanılan demir miktarı, ısıtma zamanı ile artarak % 90'lara ulaşmıştır. Mikrodalga ısıtma, cürufun fiziksel ve kimyasal özelliklerini bozmuştur (Haque, 1999).

2.3.4.4. Cevheri mikrodalga ön işlemleri manyetik yöntem ile zenginleştirme

Kingman ve ark. (2001), masif Norveç ilmenit cevherlerinin manyetik zenginleştirme olanaklarını araştırmıştır. Mikrodalga altında radyasyona maruz bırakılmış cevherler üzerinde yapılan manyetik ayırma deneylerinde, radyasyona maruz kalmamış olanlara kıyasla yüksek tenörlü değerli mineral kazanımını gerçekleştirmişlerdir.

Saf sülfür mineralleri üzerinde mikrodalga ısıtmanın etkisini araştırılmıştır. Bu çalışmalarda mikrodalga güç seviyesi arttıkça pirit ve kalkopiritin manyetik özelliklerinin arttığı bunun yanı sıra galen ve sfaleritin ise manyetik özelliklerinde bir değişme olmadığını tespit etmiştir.

Uslu ve Atalay (2003), çalışmalarında piritin mikrodalga ısıtma karakteristiklerini ve mikrodalga destekli manyetik özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. Kömürden pirit mineralinin uzaklaştırılmasında manyetik zenginleştirmenin performansı, piritin manyetik duyarlılığının artırılması ile geliştirilebilmektedir. Pek çok çalışmada piritin manyetik duyarlılığının ısı uygulaması ile arttığı belirtilmiştir. Ancak kömür içerisindeki piritin ısıtılmasındaki problem enerjinin piritin yanında ortamın ve kömüründe ısıtılması ile boşa harcanmasıdır. Seçimli bir ısıtma yöntemi olan mikrodalga ısıtma ile hem hızlı bir ısıtma gerçekleşirken hem de fırın içini ve kömürü ısıtmada harcanan enerjiden tasarruf edilmektedir.

Ağaçayak (2011), Kesikköprü (Bala-Ankara) demir cevherleri üzerinde manyetik ayırma ve mikrodalga ile manyetik ayırma deneyleri yapmıştır. Bu araştırma sonucunda 5-7 dakika arasındaki mikrodalgaya maruz kalma sürelerinde ve 180 watt mikrodalga gücünde demir tenörlerinin normale göre % 3-5 arasında arttığını belirtmiştir.

2.3.4.5. Cevherin mikrodalga destekli flotasyonu

Orumwense ve Negeri (2003), mikrodalga ön uygulamanın saf sülfür mineralleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneylerde mikrodalga güç seviyesi ve deney süresi arttıkça pirit, kalkopirit ve galenin yüzebilirliğinin azaldığı buna karşın sfaleritin yüzebilirliğinin değişmediği tespit edilmiştir. Yapay mineral karışımları ve cevherlerinin mikrodalga ön uygulaması ile etkilenmediği görülmüştür. Bununla birlikte bunların flotasyon verimlerinin % 3-5 oranında arttığı gözlenmiştir.

2.4. Adatepe (Karaçam) Yöresinin Jeolojisi ve Coğrafi Durumu

2.4.1. Bölgenin jeolojisi

Eskişehir ilinin Mihalıçcık ilçesine bağlı Yunusemre, Karaçam, Dumluca köyleri arasında silisli lateritik zonlar bulunmaktadır.

Silisli lateritik kesimler ve sahanın çeşitli yerlerinde izlenen ayrıışmış serpantinitin üzerinde gelişmiş limonitik toprak zonları nikel birikimi için elverişli yerleri oluşturmaktadır. Bu zonlar alttan üste doğru şu şekilde sıralanır; serpantinitler, ayrıışmış serpantinitler, lateritler, ara seviye, silisli kabuk (Boyalı ve Arıkal, 1986).

Yunusemre Köyü'nün güneyinde ve Dumluca Köyü'nün kuzeyi boyunca yaklaşık doğu-batı uzanımlı önemli bir tektonik hat oluşturarak uzanan tepeler dizisi lateritleşme gösteren ultramafik kayalardan oluşmuştur. Bu kayalardan çeşitli zamanlarda alınan örneklerden yapılan kimyasal analizlerde önemli Ni yüzdeleri bulunmuştur. Ni tenörünün yüksek olduğu bölümler, laterit zonların içinde belirli düzeyler yerine dağınıklıklar göstermekte ve lateritin tek bir zonuna bağlı değildirler (Gözler ve ark., 1984).

Nikel konsantrasyonunun en yoğun olduğu bölge Adatepe Şekil.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Adatepe Fe-Ni-Co yatağından genel bir görünüm.

2.4.2. Bölgenin coğrafi durumu

Bölge az engebeli olup genellikle yumuşak topoğrafyalı sırtlar ve birkaç tepeden oluşmaktadır. Sahadaki en önemli yükselti 1513 m. ile Sarnıç Tepe'dir. Diğer önemli yükseltiler ise Karasivri Tepe, Eşme Tepe, Tekeli Tepe, Killik Tepe, Dartasinsivri Tepe, Çobankaya Tepe ve Ada Tepe'dir.

Bölgenin taban kısımları küçük dere yatakları ile bölünmüştür. Bunlar yazın kuruyan, kışın sulu olan küçük derelerdir. Derelerin serpantinitle örtülü kısımlarındaki kırık ve çatlaklarda su kaynakları vardır. Serpantinitlerin üzerine gelen lateritik zon genellikle kurak olup yalnızca buradaki killi seviyeler su tutma özellikleri nedeniyle çok az nemlidir. Lateritik alanda su olmayışı sondaj çalışmalarını olumlu yönde etkilemektedir (Boyalı ve Arıkal, 1986).

Bölgede tipik karasal iklim hüküm sürmektedir. Nisan ayı ortalarından Kasım sonlarına kadar 7-8 ay arazi çalışmaları için uygun ortam olmakla birlikte madencilik çalışmaları alınacak bazı önlemlerle tüm sene boyunca yapılabilir (Ağaçayak, 2008).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneylerde Adatepe (Karaçam) yöresine ait lateritik nikel cevheri kullanılmıştır. Numune alma kuralları göz önünde bulundurularak yaklaşık 50 kg lateritik nikel cevheri Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği laboratuvarına getirilmiştir. Adatepe yöresine ait numunelerin element analizleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Adatepe (Karaçam) yöresi Ni cevher numunelerinin elemetal analizi.

	XRD sonuçları (%)
Ni	1,35
Fe	26,78
Co	0,04
Mn	0,04

Çeneli kırıcıdan geçirilmiş olan numune çubuklu değirmende öğütülerek 212, 150, 106, 75 μm ’lik eleklerden elenerek fraksiyonlara ayrılmıştır. Her bir fraksiyondan bir miktar numune alınarak Teflon beherlerde kral suyu ile (3 hacim HCl + 1 hacim HNO₃) çözündürülerek SensAA marka AAS analiz cihazında analiz edilmiştir. Her bir fraksiyona ait Ni, Fe, Co ve Mn değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

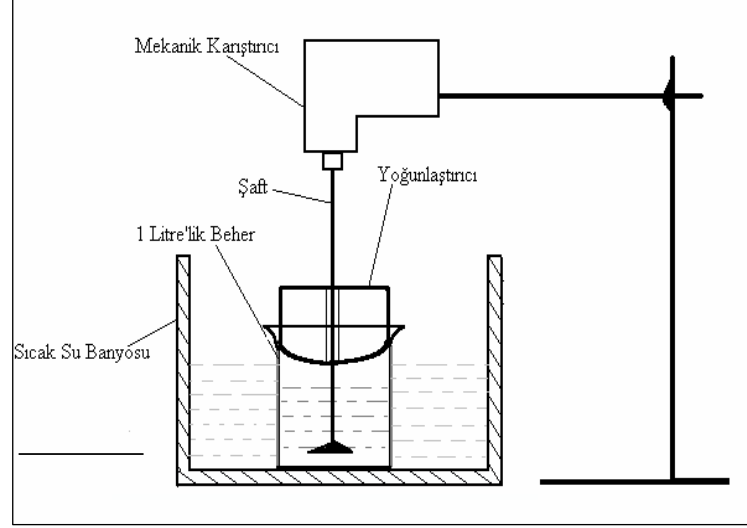
Çizelge 3.2. Adatepe (Karaçam) yöresi lateritik nikel cevherin her bir fraksiyonu için Ni, Fe, Co ve Mn değerleri.

Tane Boyutu (μm)	Element (%)			
	Ni	Fe	Co	Mn
-212 + 150	1,43	39,93	0,043	0,064
-150 + 106	1,37	22,70	0,039	0,045
-106 + 75	1,29	25,83	0,033	0,036
-75 + 53	1,30	18,67	0,027	0,024

3.2. Yöntem

Deneysel çalışmalarda, asidik ortam için % 98’lik H₂SO₄ (Merck), % 37’lik HCl (Merck) ve % 60’lik HClO₄ (Merck) kullanılarak Ni ve Fe çözündürülmesine olan etkileri araştırılmıştır. Deneyler, 1 lt’lik beherde 500 ml çözelti kullanılarak hassasiyeti $\pm 0,2$ °C olan sıcak su banyosunda yapılmıştır. Karıştırma için Heidolph RZR 2021

marka karıştırma hızı ayarlanabilir bir mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Mekanik karıştırıcıda kullanılan şaftın çözelti içerisindeki çeşitli iyonlardan etkilenmemesi ve ortam şartlarını değiştirmemesi için teflon bir şaft kullanılmıştır. Hacim azalmasını engellemek içinde içerisi soğuk su dolu iç bükey bir yoğunlaştırıcı düzenek kullanılmıştır. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.

Uygun derişimde hazırlanmış olan 500 ml çözelti, gerekli deney şartlarında sıcak su banyosuna konulmuştur. Kesintisiz olarak yapılan deneyler sırasında farklı sürelerde sistem durdurulmuş ve 2 ml liç çözeltisi alınmıştır. Sistemden alınan çözeltiler 100 ml’lik balon jojeler içerisinde çeşitli oranlarda seyreltilerek SenssAA marka AAS ile analizleri yapılmıştır. Çalışmalarda karıştırma hızının, asit derişiminin, sıcaklığın, katı/sıvı oranının ve tane boyutunun Ni ve Fe çözünmesine etkisi araştırılmıştır.

Ayrıca mikrodalga etkisindeki Adatepe (Karaçam) lateritik cevherinin liçing şartları araştırılmıştır. Bunun için 2,45 GHz’lik frekansta ve farklı güç seviyelerinde çalışabilen bir mutfak tipi mikrodalga fırın kullanılmıştır. -75+53 µm tane boyutuna getirilmiş cevher mikrodalga fırınında farklı güç (0, 90, 180, 360, 600 watt) ve farklı sürelerde (1, 3, 5, 7, 10, 15 ve 20 dak.) ön ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonraki aşamada mikrodalgada ısıl işleme tabi tutulan cevherlere asitli ortamda liç işlemi uygulanmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Liç Deneyleri

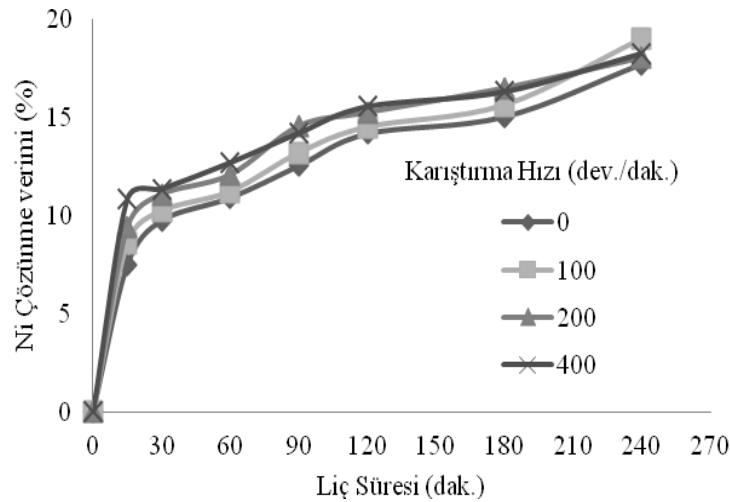
4.1.1. H₂SO₄ ile liçing çalışmaları

4.1.1.1. H₂SO₄ ortamında karıştırma hızının çözünmeye etkisi

Öncelikle karıştırma hızının etkisini araştırmak için, 50 °C sıcaklığında, 0,5 M H₂SO₄ derişiminde, -106+75 µm tane boyutunda 5 g cevher numunesi ve 500 ml çözelti kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 0, 100, 200 ve 400 dev./dak. karıştırma hızlarında ve 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dak. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ni için Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1’de Fe için Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. H₂SO₄ ortamında karıştırma hızının Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	0 (dev./dak.)	100 (dev./dak.)	200 (dev./dak.)	400 (dev./dak.)
15	7,48	8,58	9,42	10,85
30	9,76	10,23	11,09	11,37
60	10,92	11,22	12,09	12,71
90	12,55	13,18	14,57	14,22
120	14,19	14,50	15,27	15,57
180	15,05	15,62	16,51	16,33
240	17,74	18,99	18,06	18,28

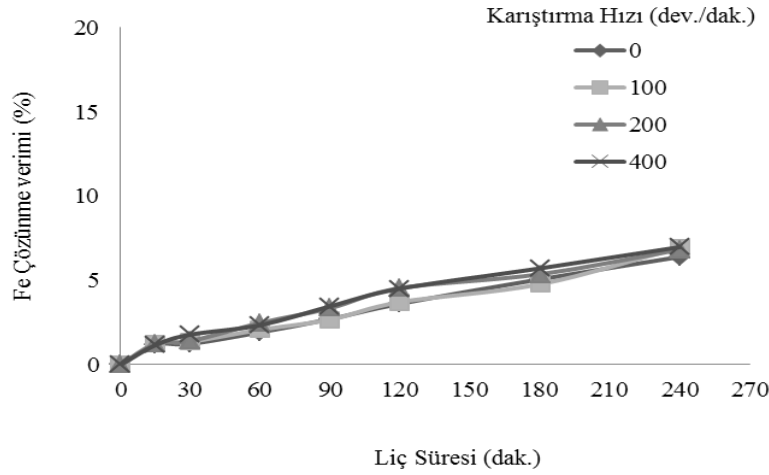


Şekil 4.1. H₂SO₄ ortamında karıştırma hızının Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1 incelendiğinde; örneğin; karıştırmasız ortamda 240 dak. sonunda Ni çözünme verimi % 17,74 iken, 400 dev./dak. karıştırma hızında 240 dak. sonunda Ni çözünme verimi % 18,28 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bağlı olarak, karıştırma hızının Ni çözünme verimine fazla bir etkisi olmadığı söylenebilir, bu nedenle diğer parametrelerin araştırılmasında karıştırmasız ortamın kullanılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 4.2. H₂SO₄ ortamında karıştırma hızının Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	0 (dev./dak.)	100 (dev./dak.)	200 (dev./dak.)	400 (dev./dak.)
15	1,18	1,27	1,23	1,17
30	1,24	1,37	1,41	1,79
60	1,93	2,08	2,48	2,35
90	2,71	2,68	3,36	3,47
120	3,62	3,72	4,55	4,52
180	5,07	4,78	5,37	5,72
240	6,40	6,94	6,83	6,98



Şekil 4.2. H₂SO₄ ortamında karıştırma hızının Fe çözünmesine etkisi.

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2 incelendiğinde; örneğin; karıştırmasız ortamda 240 dak. sonunda Fe çözünme verimi % 6,40 iken; 400 dev./dak. karıştırma hızında 240 dak. sonunda Fe çözünme verimi % 6,98 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlardan yola çıkarak, karıştırma hızının Fe çözünme verimine fazla bir etkisi olmadığı görülmektedir.

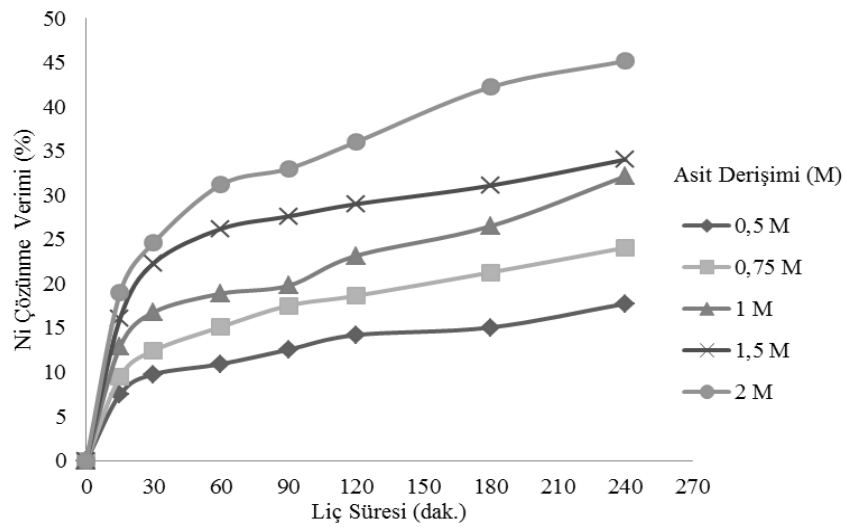
Bu nedenle, diğer parametrelerin araştırılmasında karıştırmasız ortamın kullanılmasına karar verilmiştir.

4.1.1.2. H₂SO₄ derişiminin çözünmeye etkisi

H₂SO₄ derişiminin etkisini araştırmak için, 50 °C sıcaklığında, karıştırmasız ortamda, -106+75 µm tane boyutunda 5 g cevher numunesi ve 500 ml çözelti kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 0,5, 0,75, 1, 1,5 ve 2 M derişimlerinde ve 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dak. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ni için Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3’de, Fe için Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. H₂SO₄ derişiminin Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)				
	0,5 M	0,75 M	1 M	1,5 M	2 M
15	7,48	9,46	12,87	16,05	18,95
30	9,76	12,44	16,78	22,33	24,64
60	10,92	15,12	18,88	26,20	31,20
90	12,55	17,52	19,77	27,60	33,00
120	14,19	18,63	23,14	28,99	36,00
180	15,05	21,27	26,50	31,09	42,21
240	17,74	24,07	32,15	34,03	45,17

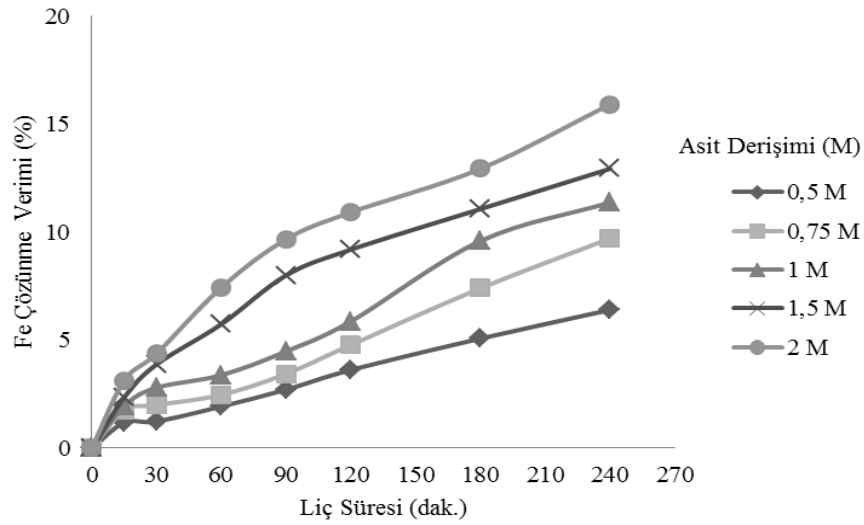


Şekil 4.3. H₂SO₄ derişiminin Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,5 M H_2SO_4 derişiminde % 17,74 Ni çözünürken, 2 M H_2SO_4 derişiminde ise % 45,17 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında asit derişimi arttıkça, Ni çözünme verimlerinde bir artış olmaktadır. Bu nedenle; diğer parametrelerin araştırılmasında H_2SO_4 derişimi 2 M olarak karar verilmiştir.

Çizelge 4.4. . H_2SO_4 derişiminin Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)				
	0,5 M	0,75 M	1 M	1,5 M	2 M
15	1,18	1,75	1,95	2,35	3,13
30	1,24	2,00	2,80	3,88	4,38
60	1,93	2,47	3,38	5,74	7,44
90	2,71	3,44	4,48	8,00	9,67
120	3,62	4,78	5,87	9,19	10,92
180	5,07	7,40	9,59	11,07	12,93
240	6,40	9,71	11,37	12,93	15,91



Şekil 4.4. . H_2SO_4 derişiminin Fe çözünme verimine etkisi.

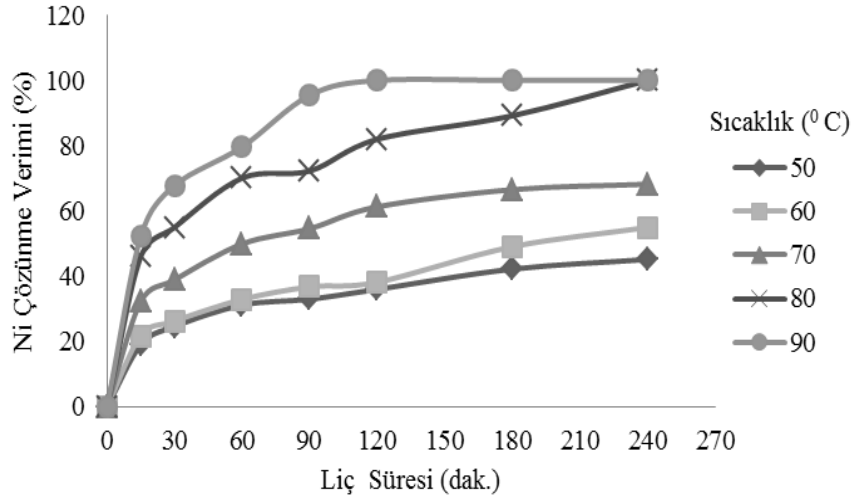
Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,5 M H_2SO_4 derişiminde % 6,40 Fe çözünürken, 2 M H_2SO_4 derişiminde ise % 15,91 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bağlı olarak asit derişimi arttıkça Fe çözünme verimlerinde bir artış olmaktadır. Bu nedenle; diğer parametrelerin araştırılmasında H_2SO_4 derişimi 2 M olarak karar verilmiştir.

4.1.1.3. H₂SO₄ ortamında sıcaklığın çözünmeye etkisi

Sıcaklığın etkisini araştırmak için, 2 M H₂SO₄ derişiminde, karıştırmasız ortamda, -106+75 µm tane boyutunda, 5 g cevher numunesi ve 500 ml çözelti kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dak. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni için Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5’de, Fe için Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.5. H₂SO₄ ortamında sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)				
	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
15	18,95	21,73	32,21	46,01	52,21
30	24,64	26,25	38,91	55,00	67,79
60	31,20	32,91	49,92	70,12	79,65
90	33,00	36,74	54,61	72,29	95,43
120	36,00	38,18	61,28	81,98	100,00
180	42,21	49,07	66,55	89,19	100,00
240	45,17	54,96	68,22	100,00	100,00

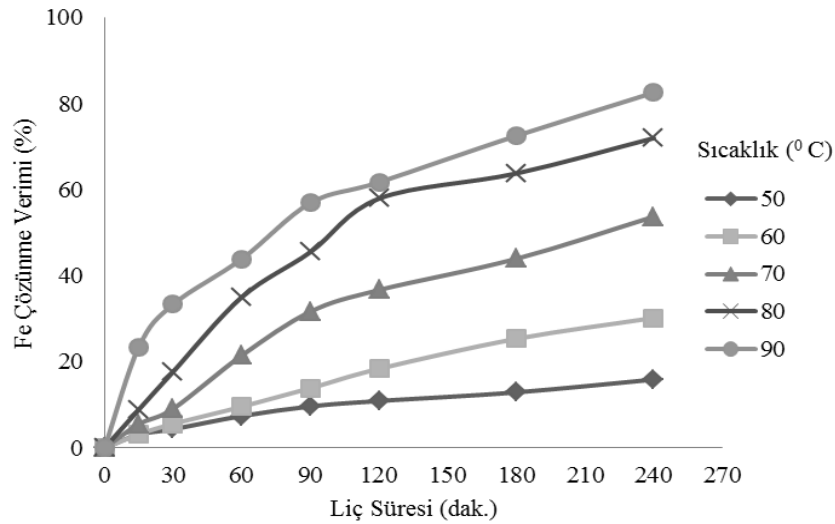


Şekil 4.5. H₂SO₄ ortamında sıcaklığın Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 50 °C'de % 45,17 Ni çözünürken, 80 °C'de ise % 100 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bağlı olarak sıcaklık arttıkça Ni çözünme verimlerinde bir artış olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda, sistemin kontrolü zorlaştığı için ve aralarında çok büyük bir değer farkı bulunmadığı için, diğer parametrelerin araştırılmasında sıcaklık 80 °C olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. H₂SO₄ ortamında sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)				
	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
15	3,13	3,19	5,54	8,94	23,48
30	4,38	5,60	9,11	17,71	33,37
60	7,44	9,60	21,50	35,04	43,92
90	9,67	13,90	31,68	45,53	56,93
120	10,92	18,40	36,72	57,96	61,75
180	12,93	25,37	43,96	63,79	72,53
240	15,91	30,22	53,74	72,00	82,57



Şekil 4.6. H₂SO₄ ortamında sıcaklığın Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 50 °C 'de % 15,91 Fe çözünürken, 90 °C 'de ise % 100'e en yakın değerine (82,57%) ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bağlı olarak sıcaklık arttıkça Fe çözünme verimlerinde bir artış olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda, sistemin kontrolü zorlaştığı için

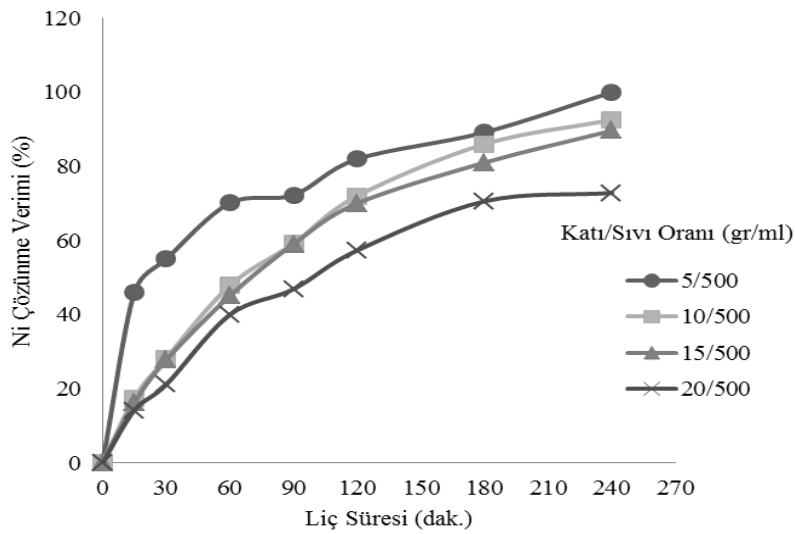
ve aralarında çok büyük bir değer farkı bulunmadığı için, diğer parametrelerin araştırılmasında sıcaklık 80 °C olarak belirlenmiştir.

4.1.1.4. H₂SO₄ ortamında katı/sıvı oranının çözünmeye etkisi

Katı/Sıvı oranı etkisini araştırmak için, 80 °C sıcaklığında, 2 M H₂SO₄ derişiminde, karıştırmaz ortamda, -106+75 µm tane boyutunda cevher numunesi ve 500 ml çözelti kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni için Çizelge 4.7 ve Şekil 4.7’de, Fe için Çizelge 4.8 ve Şekil 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. H₂SO₄ ortamında katı/sıvı oranının Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	5/500 g/ml	10/500 g/ml	15/500 g/ml	20/500 g/ml
15	46,01	17,50	16,24	14,26
30	55,00	28,28	27,83	21,17
60	70,12	47,88	45,12	40,00
90	72,29	59,21	59,07	46,93
120	81,98	72,03	70,03	57,35
180	89,19	86,03	81,03	70,61
240	100,00	92,56	89,65	72,85

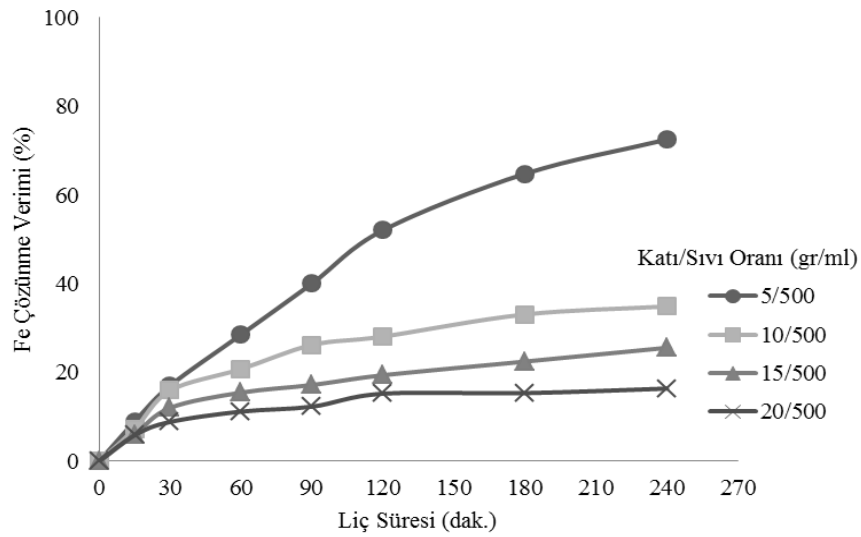


Şekil 4.7. H₂SO₄ ortamında katı/sıvı oranının Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.7 ve Şekil 4.7 incelendiğinde; örneğin, 5/500 katı/sıvı oranında 240 dakikanın sonunda Ni çözünmesi % 100 iken, 20/500 katı/sıvı oranında Ni çözünmesi % 72,85'e ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında, katı/sıvı oranı arttıkça Ni kazanma verimi az da olsa düşmektedir. Bu nedenle; diğer parametrelerin araştırılmasında Ni'in katı/sıvı oranının 5/500 g/ml olmasına karar verilmiştir.

Çizelge 4.8. H₂SO₄ ortamında katı/sıvı oranının Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	5/500 g/ml	10/500 g/ml	15/500 g/ml	20/500 g/ml
15	8,94	7,27	6,07	5,89
30	17,05	15,96	12,05	8,89
60	28,56	20,80	15,50	11,22
90	40,06	26,23	17,21	12,34
120	52,06	28,12	19,41	15,25
180	64,78	33,10	22,50	15,38
240	72,50	34,90	25,60	16,40



Şekil 4.8. H₂SO₄ ortamında katı/sıvı oranının Fe çözünme verimine etkisi.

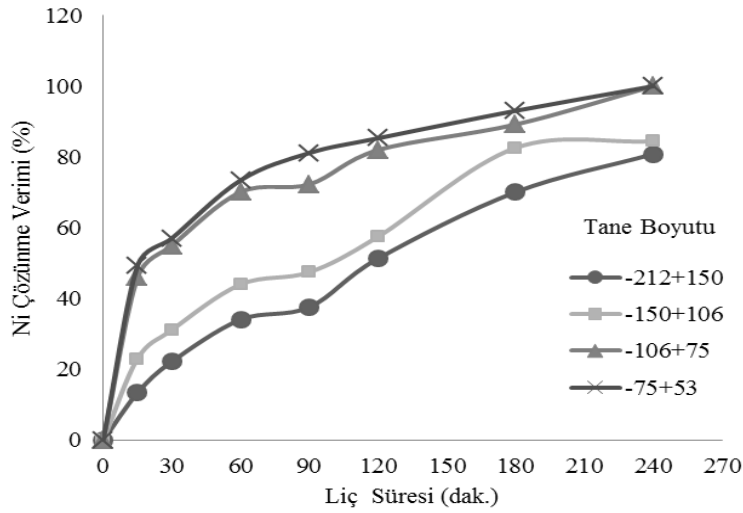
Çizelge 4.8 ve Şekil 4.8 incelendiğinde; örneğin, 5/500 katı/sıvı oranında 240 dakikanın sonunda Fe çözünmesi % 72,50 iken, 20/500 katı/sıvı oranında Fe çözünmesi % 16,40'a ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında, katı/sıvı oranı arttıkça Fe kazanma verimi az da olsa düşmektedir. Bu nedenle; diğer parametrelerin araştırılmasında Fe'in katı/sıvı oranının 5/500 g/ml olmasına karar verilmiştir.

4.1.1.5. H₂SO₄ ortamında tane boyutunun çözünmeye etkisi

Tane boyutunun etkisini araştırmak için, 80 °C sıcaklığında, 2 M H₂SO₄ derişiminde, karıştırmasız ortamda, -212+150, -150+106, -106+75, -75+53 µm tane boyutunda, 5 g cevher numunesi ve 500 ml çözelti kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni için Çizelge 4.9 ve Şekil 4.9'da, Fe için Çizelge 4.10 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. H₂SO₄ ortamında tane boyutunun Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	-212+150 µm	-150+106 µm	-106+75 µm	-75+53 µm
15	13,43	23,03	46,01	49,27
30	22,24	31,20	55,00	57,04
60	34,09	44,05	70,12	73,46
90	37,62	47,48	72,29	81,15
120	51,36	57,52	81,98	85,31
180	70,10	82,59	89,19	93,04
240	80,84	84,42	100,00	100,00



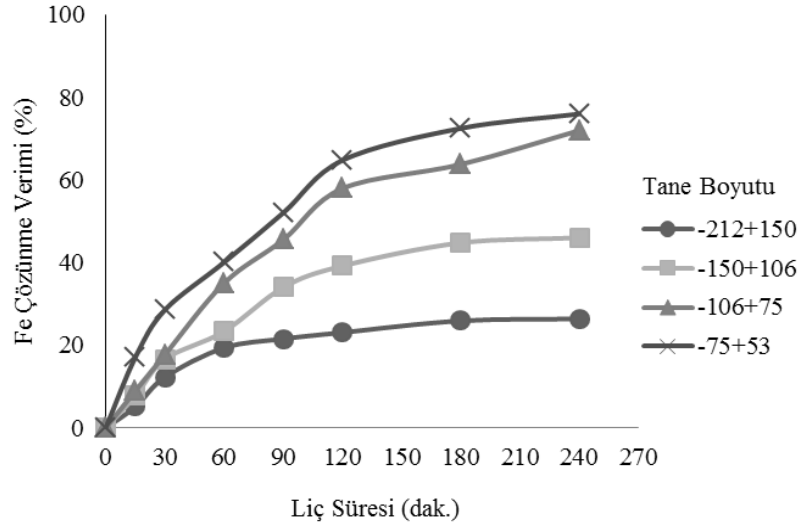
Şekil 4.9. H₂SO₄ ortamında tane boyutunun Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.9 ve Şekil 4.9 incelendiğinde; örneğin, -212+150 µm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda Ni çözünmesi % 80,84 iken -75+53 µm tane boyutunda Ni

çözünmesi % 100'e ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bağlı olarak tane boyutu küçüldükçe yüzey alanı arttığı için nikel kazanma verimi de artmaktadır.

Çizelge 4.10. H_2SO_4 ortamında tane boyutunun Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	-212+150 μm	-150+106 μm	-106+75 μm	-75+53 μm
15	5,10	7,73	8,94	17,05
30	12,27	16,62	17,71	28,56
60	19,39	23,36	35,04	40,06
90	21,55	34,00	45,53	52,06
120	23,09	39,20	57,96	64,78
180	25,91	44,80	63,79	72,50
240	26,39	46,00	72,00	76,01



Şekil 4.10. H_2SO_4 ortamında tane boyutunun Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.10 ve Şekil 4.10 incelendiğinde; örneğin, -212+150 μm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda Fe çözünmesi % 26,39 iken -75+53 μm tane boyutunda Fe çözünmesi % 76,01'e ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bağlı olarak tane boyutu küçüldükçe yüzey alanı arttığı için Fe kazanma verimi de artmaktadır.

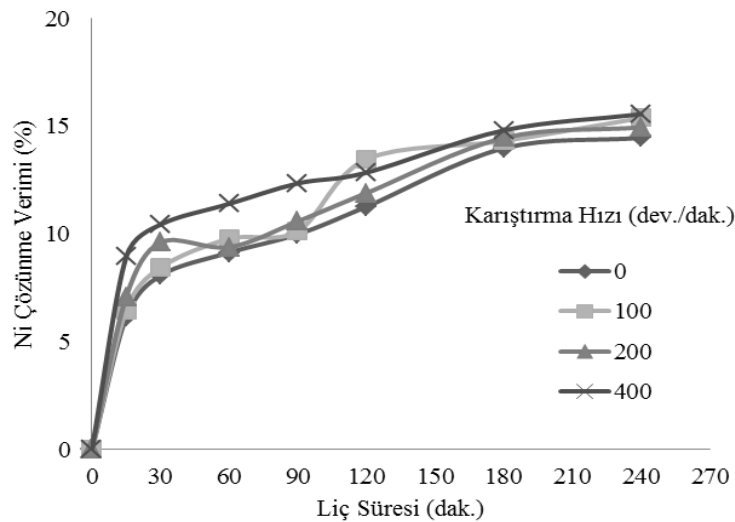
4.1.2. HCl ile liçing çalışmaları

4.1.2.1. HCl ortamında karıştırma hızının çözünmeye etkisi

Karıştırma hızının etkisini araştırmak, 50°C sıcaklığında, 0,5 M HCl derişiminde -106+75 µm tane boyutunda, 5 g cevher numunesi ve 500 ml çözelti kullanarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 0, 100, 200, 400 dev./dak. karıştırma hızlarında ve 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dak. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ni için Çizelge 4.11 ve Şekil 4.11'de Fe için Çizelge 4.12 ve Şekil 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. HCl ortamında karıştırma hızının Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	0 (dev./dak.)	100 (dev./dak.)	200 (dev./dak.)	400 (dev./dak.)
15	6,14	6,46	7,08	8,94
30	8,08	8,44	9,61	10,44
60	9,14	9,78	9,39	11,40
90	9,99	10,14	10,59	12,35
120	11,27	13,47	11,90	12,85
180	13,98	14,32	14,46	14,81
240	14,46	15,38	14,95	15,56



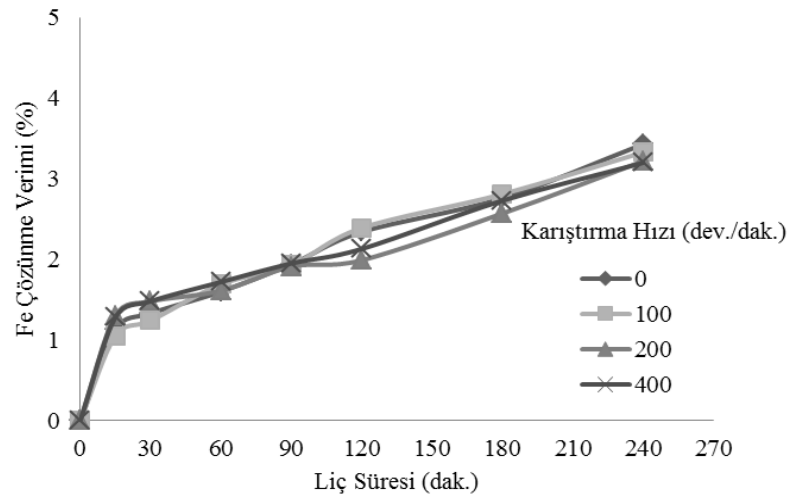
Şekil 4.11. HCl ortamında karıştırma hızının Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.11 ve Şekil 4.11 incelendiğinde; örneğin; karıştırmasız ortamda 240 dak. sonunda Ni çözünme verimi % 14,46 iken 400 dev./dak. karıştırma hızında 240

dak. sonunda Ni çözünme verimi % 15,56 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bağlı olarak karıştırma hızının Ni çözünme verimine çok fazla etkisi olmadığı söylenebilir, bu nedenle diğer parametrelerin araştırılmasında karıştırmasız ortamın kullanılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 4.12. HCl ortamında karıştırma hızının Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	0 (dev./dak.)	100 (dev./dak.)	200 (dev./dak.)	400 (dev./dak.)
15	1,13	1,05	1,30	1,28
30	1,33	1,24	1,48	1,48
60	1,60	1,69	1,61	1,72
90	1,94	1,93	1,91	1,95
120	2,34	2,39	1,99	2,13
180	2,76	2,81	2,57	2,73
240	3,43	3,33	3,22	3,20



Şekil 4.12. HCl ortamında karıştırma hızının Fe çözünme verimine etkisi.

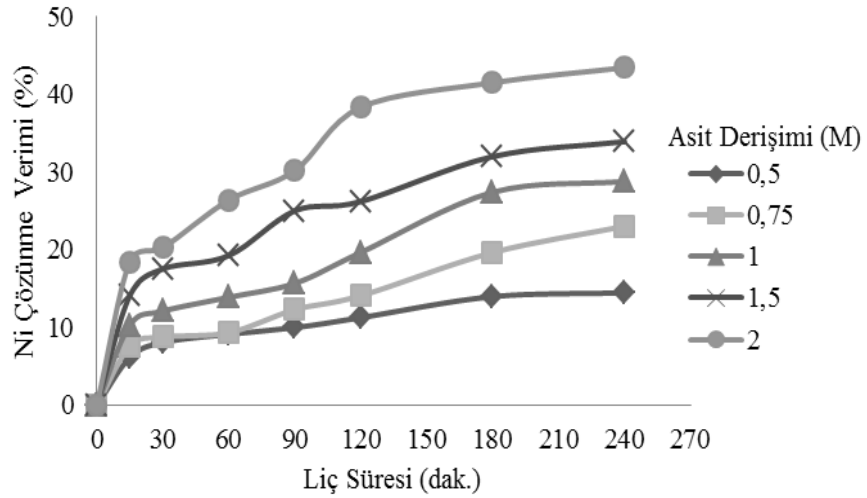
Çizelge 4.12 ve Şekil 4.12 incelendiğinde; örneğin; karıştırmasız ortamda 240 dak. sonunda Fe çözünme verimi % 3,43 iken 400 dev./dak. karıştırma hızında 240 dak. sonunda Fe çözünme verimi % 3,20 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında karıştırma hızının Fe çözünme verimine çok fazla etkisi olmadığı söylenebilir, bu nedenle diğer parametrelerin araştırılmasında karıştırmasız ortamın kullanılmasına karar verilmiştir.

4.1.2.2. HCl derişiminin çözünmeye etkisi

HCl derişimi etkisini araştırmak için, 50 °C sıcaklığında, karıştırmasız ortamda, -106+75 µm tane boyutunda, 5 g cevher numunesi ve 500 ml çözelti kullanarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 0, 5, 0,75, 1, 1, 5 ve 2 M derişimlerinde ve 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dak. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ni için Çizelge 4.13 ve Şekil 4.13’de; Fe için Çizelge 4.14 ve Şekil 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.13. HCl derişiminin Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)				
	0,5 M	0,75 M	1 M	1,5 M	2 M
15	6,14	7,59	10,32	14,11	18,46
30	8,08	8,79	12,11	17,54	20,24
60	9,14	9,34	13,89	19,25	26,39
90	9,99	12,30	15,68	25,01	30,16
120	11,27	14,09	19,65	26,20	38,32
180	13,98	19,65	27,39	31,98	41,48
240	14,46	23,02	28,78	33,90	43,41



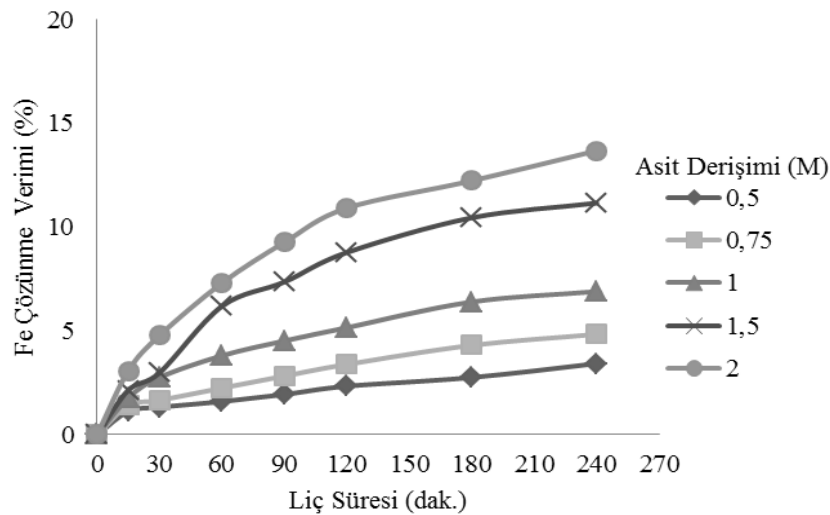
Şekil 4.13. HCl derişiminin Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.13 ve Şekil 4.13 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,5 M HCl derişiminde % 14,46 Ni çözünürken, 2 M HCl derişiminde ise %

43,41 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bağlı olarak asit derişimi arttıkça, Ni çözünme verimlerinde bir artış olmaktadır. Bu nedenle; diğer parametrelerin araştırılmasında HCl derişimi 2 M olarak karar verilmiştir.

Çizelge 4.14. HCl derişiminin Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)				
	0,5 M	0,75 M	1 M	1,5 M	2 M
15	1,13	1,41	1,78	2,15	3,08
30	1,33	1,66	2,76	2,98	4,78
60	1,60	2,25	3,81	6,19	7,31
90	1,94	2,83	4,52	7,36	9,27
120	2,34	3,39	5,16	8,78	10,92
180	2,76	4,31	6,40	10,45	12,23
240	3,43	4,84	6,90	11,16	13,68



Şekil 4.14. HCl derişiminin Fe çözünme verimine etkisi.

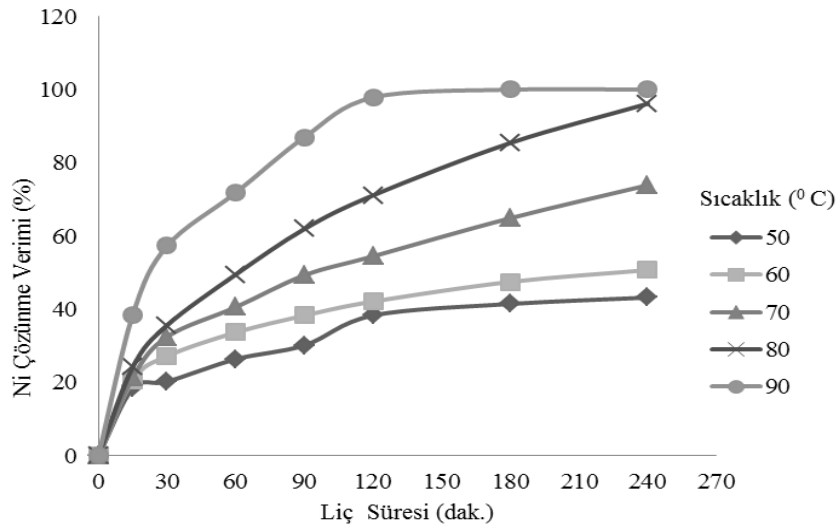
Çizelge 4.14 ve Şekil 4.14 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,5 M HCl derişiminde % 3,43 Fe çözünürken, 2 M HCl derişiminde ise % 13,68 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bağlı olarak asit derişimi arttıkça, Fe çözünme verimlerinde bir artış olmaktadır. Bu nedenle; diğer parametrelerin araştırılmasında HCl derişimi 2 M olarak karar verilmiştir.

4.1.2.3. HCl ortamında sıcaklığın çözünmeye etkisi

Sıcaklığın etkisini araştırmak için, 2 M HCl derişiminde, karıştırmassız ortamda, -106+75 µm tane boyutunda, 5 g cevher numunesi ve 500 ml çözelti kullanarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dak. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni için Çizelge 4.15 ve Şekil 4.15’de, Fe için Çizelge 4.16 ve Şekil 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.15. HCl ortamında sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)				
	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
15	18,46	20,67	21,43	24,26	38,55
30	20,24	27,21	32,50	35,64	57,33
60	26,39	33,69	40,60	49,51	71,85
90	30,16	38,30	49,30	61,96	87,00
120	38,32	42,13	54,50	71,13	97,88
180	41,48	47,50	64,90	85,43	100,00
240	43,21	50,72	73,91	96,17	100,00



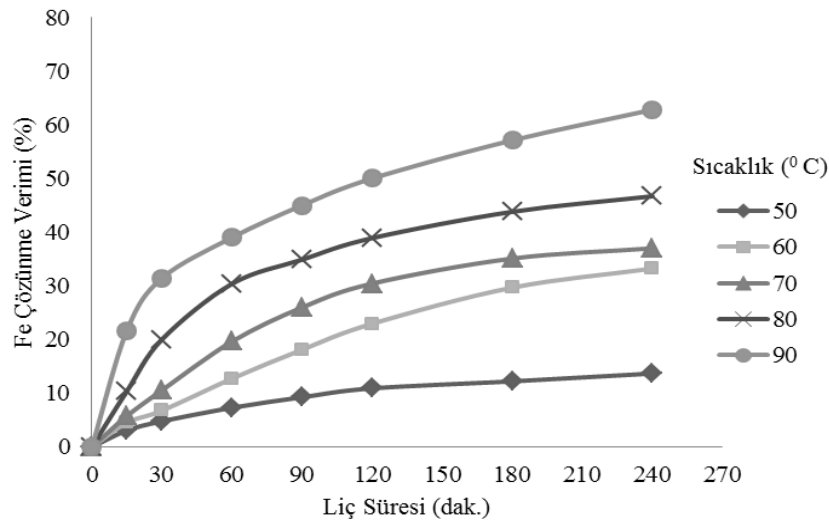
Şekil 4.15. HCl ortamında sıcaklığın Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.15 ve Şekil 4.15 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 50 °C'de % 43,21 Ni çözünürken, 90 °C'de ise % 100 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında, sıcaklık arttıkça Ni çözünme verimlerinde bir artış

olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda, sistemin kontrolü zorlaştığı için, diğer parametrelerin araştırılmasında sıcaklık 80 °C olarak karar verilmiştir.

Çizelge 4.16. HCl ortamında sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)				
	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
15	3,08	4,54	5,76	10,40	21,68
30	4,78	6,77	10,56	20,03	31,43
60	7,31	12,74	19,65	30,39	39,00
90	9,27	18,11	25,98	34,89	45,00
120	10,92	22,95	30,43	38,90	50,00
180	12,23	29,68	35,10	43,80	57,10
240	13,68	33,22	37,00	46,70	62,80



Şekil 4.16. HCl ortamında sıcaklığın Fe çözünme verimine etkisi.

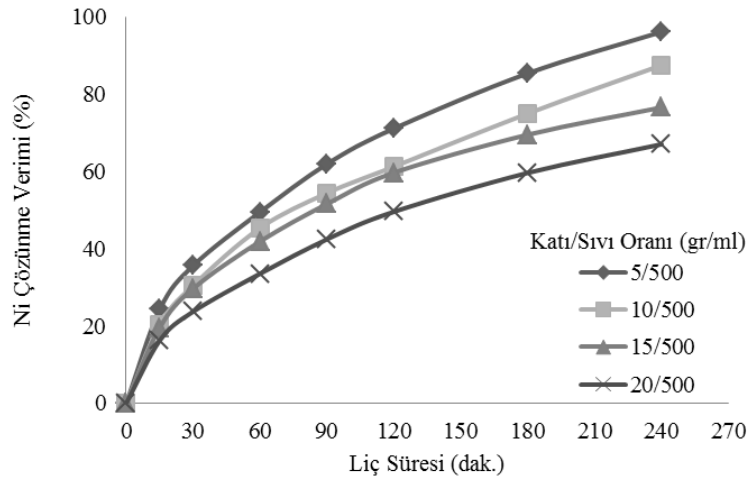
Çizelge 4.16 ve Şekil 4.16 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 50 °C 'de % 13,68 Fe çözünürken, 90 °C'de ise % 62,80 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında, sıcaklık arttıkça Fe çözünme verimlerinde bir artış olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda, sistemin kontrolü zorlaştığı için, diğer parametrelerin araştırılmasında sıcaklık 80 °C olarak belirlenmiştir.

4.1.2.4. HCl ortamında katı/sıvı oranının çözünmeye etkisi

Katı/sıvı oranı etkisini araştırmak için, 80 °C sıcaklığında, 2 M HCl derişiminde, karıştırmasız ortamda, -106+75 µm tane boyutunda cevher numunesi ve 500 ml çözelti kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dak. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni için Çizelge 4.17 ve Şekil 4.17’de, Fe için Çizelge 4.18 ve Şekil 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. HCl ortamında katı/sıvı oranının Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	5/500 g/ml	10/500 g/ml	15/500 g/ml	20/500 g/ml
15	24,26	20,31	19,56	16,23
30	35,64	30,50	29,69	23,71
60	49,51	45,39	41,90	33,54
90	61,96	54,40	51,61	42,45
120	71,13	61,28	59,70	49,58
180	85,43	75,02	69,52	59,64
240	96,17	87,54	76,59	67,05



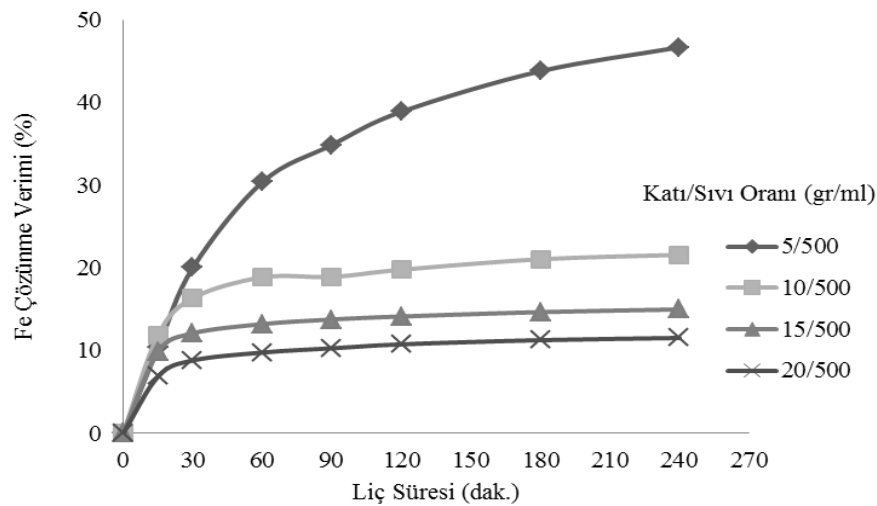
Şekil 4.17. HCl ortamında katı/sıvı oranının Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.17 ve Şekil 4.17 incelendiğinde; örneğin, 5/500 katı/sıvı oranında 240 dakikanın sonunda Ni çözünmesi % 96,17 iken, 20/500 katı/sıvı oranında Ni çözünmesi

% 67,05'e ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında katı/sıvı oranı arttıkça Ni kazanma verimi azda olsa düşmektedir.

Çizelge 4.18. HCl ortamında katı/sıvı oranının Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	5/500 g/ml	10/500 g/ml	15/500 g/ml	20/500 g/ml
15	10,4	11,86	9,85	6,87
30	20,03	16,35	12,09	8,81
60	30,39	18,87	13,21	9,77
90	34,89	18,92	13,77	10,28
120	38,9	19,79	14,13	10,76
180	43,8	21,06	14,66	11,26
240	46,7	21,58	14,98	11,54



Şekil 4.18. HCl ortamında katı/sıvı oranının Fe çözünme verimine etkisi.

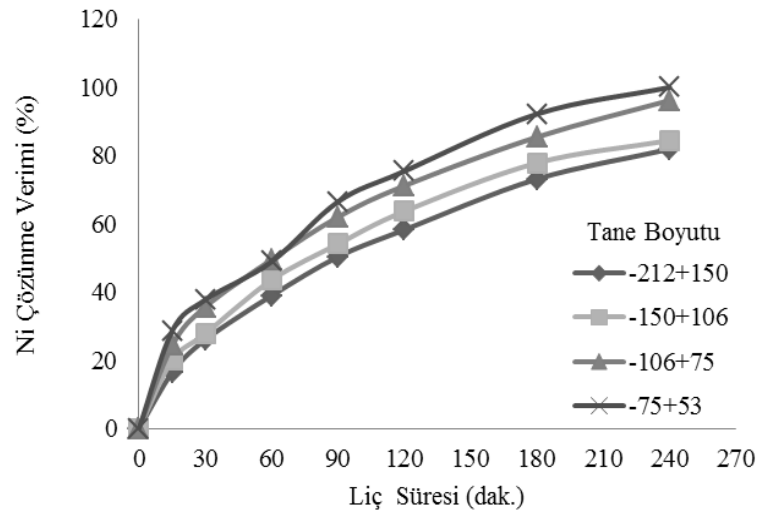
Çizelge 4.18 ve Şekil 4.18 incelendiğinde; örneğin, 5/500 katı/sıvı oranında 240 dakikanın sonunda Fe çözünmesi % 46,7 iken, 20/500 katı/sıvı oranında Fe çözünmesi % 11,54'e ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında katı/sıvı oranı arttıkça Fe kazanma verimi düşmektedir.

4.1.2.5. HCl ortamında tane boyutunun çözünmeye etkisi

Tane boyutunun etkisini araştırmak için, 80 °C sıcaklığında, 2 M HCl derişiminde, karıştırmasız ortamda, -212+150, -150+106, -106+75, -75+53 µm tane boyutunda, 5 g cevher numunesi ve 500 ml çözelti kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dak. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni için Çizelge 4.19 ve Şekil 4.19'da, Fe için Çizelge 4.20 ve Şekil 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.19. HCl ortamında tane boyutunun Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	-212+150 µm	-150+106 µm	-106+75 µm	-75+53 µm
15	16,36	19,96	24,26	28,58
30	25,98	27,79	35,64	37,73
60	38,95	43,53	49,51	48,88
90	50,31	54,04	61,96	66,46
120	58,22	63,64	71,13	75,42
180	73,11	77,83	85,43	92,19
240	81,89	84,41	96,17	100,00



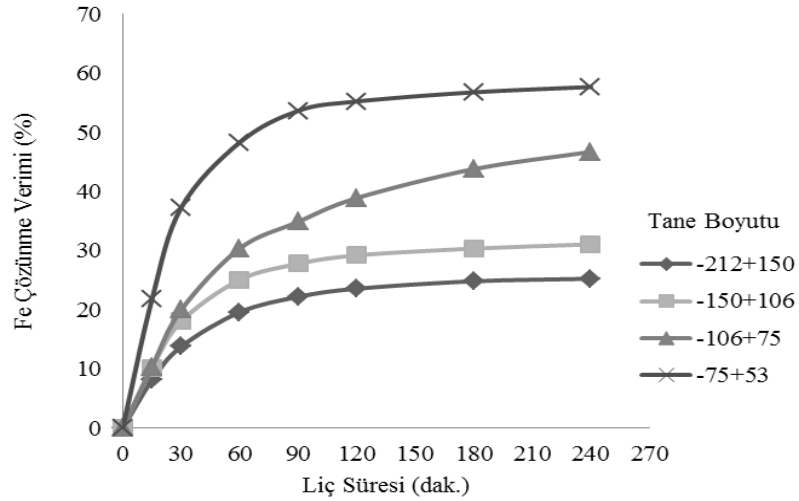
Şekil 4.19. HCl ortamında tane boyutunun Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.19 ve Şekil 4.19 incelendiğinde; örneğin, -212+150 µm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda Ni çözünmesi % 81,89 iken -75+53 µm tane

boyutunda Ni çözünmesi % 100'e ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında, tane boyutu küçüldükçe yüzey alanı arttığı için Ni kazanma verimi de artmaktadır.

Çizelge 4.20. HCl ortamında tane boyutunun Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	-212+150 μm	-150+106 μm	-106+75 μm	-75+53 μm
15	8,15	10,24	10,40	21,79
30	13,81	18,07	20,03	37,30
60	19,63	25,10	30,39	48,30
90	22,23	27,80	34,89	53,64
120	23,60	29,23	38,90	55,22
180	24,86	30,38	43,80	56,77
240	25,28	31,09	46,70	57,67



Şekil 4.20. HCl ortamında tane boyutunun Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.20 ve Şekil 4.20 incelendiğinde; örneğin, -212+150 μm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda Fe çözünmesi % 25,28 iken -75+53 μm tane boyutunda Fe çözünmesi % 57,67'ye ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında, tane boyutu küçüldükçe yüzey alanı arttığı için Fe kazanma verimi de artmaktadır.

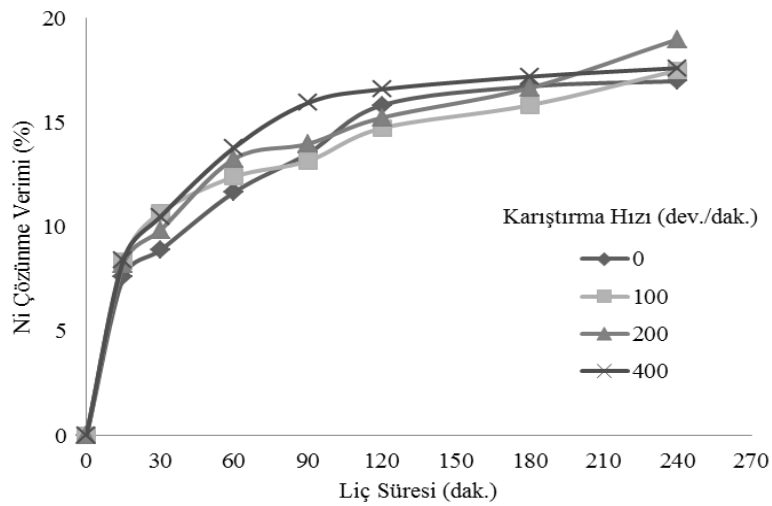
4.1.3. HClO₄ ile liçing çalışmaları

4.1.3.1. HClO₄ ortamında karıştırma hızının çözünmeye etkisi

Karıştırma hızının etkisini araştırmak için, 50°C sıcaklığında, 0,5 M HClO₄ derişiminde, -106+75 µm tane boyutunda, 5 g cevher numunesi ve 500 ml çözelti kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 0, 100, 200 ve 400 dev/dak. karıştırma hızlarında ve 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dak. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ni için Çizelge 4.21 ve Şekil 4.21’de Fe için Çizelge 4.22 ve Şekil 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.21. HClO₄ ortamında karıştırma hızının Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	0 (dev./dak.)	100 (dev./dak.)	200 (dev./dak.)	400 (dev./dak.)
15	7,60	8,34	8,22	8,40
30	8,88	10,68	9,84	10,48
60	11,66	12,40	13,26	13,80
90	13,52	13,16	13,98	15,94
120	15,83	14,73	15,23	16,59
180	16,73	15,83	16,66	17,20
240	16,98	17,50	18,99	17,61

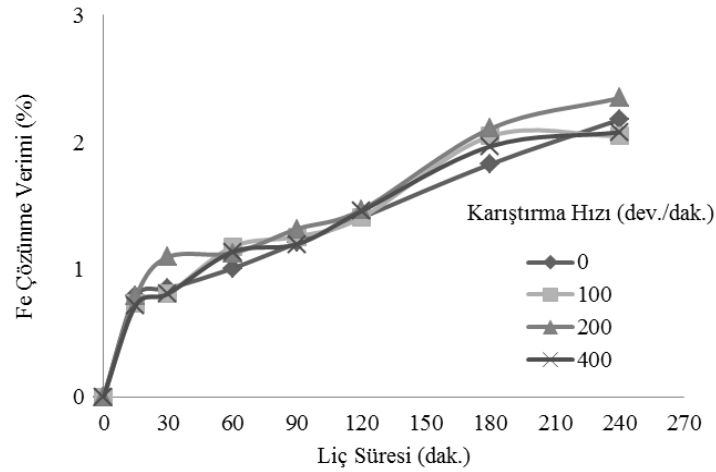


Şekil 4.21. HClO₄ ortamında karıştırma hızının Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.21 ve Şekil 4.21 incelendiğinde; örneğin; karıştırmasız ortamda 240 dak. sonunda Ni çözünme verimi % 16,98 iken 400 dev./dak. karıştırma hızında 240 dak. sonunda Ni çözünme verimi % 17,61 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bağlı olarak, karıştırma hızının Ni çözünme verimine çok fazla etkisi olmadığı söylenebilir. Bu nedenle, diğer parametrelerin araştırılmasında karıştırmasız ortamın kullanılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 4.22. HClO₄ ortamında karıştırma hızının Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	0 (dev./dak.)	100 (dev./dak.)	200 (dev./dak.)	400 (dev./dak.)
15	0,79	0,73	0,79	0,72
30	0,85	0,81	1,10	0,81
60	1,01	1,18	1,13	1,14
90	1,21	1,26	1,32	1,20
120	1,41	1,41	1,47	1,46
180	1,83	2,05	2,11	1,97
240	2,18	2,05	2,35	2,08



Şekil 4.22. HClO₄ ortamında karıştırma hızının Fe çözünme verimine etkisi.

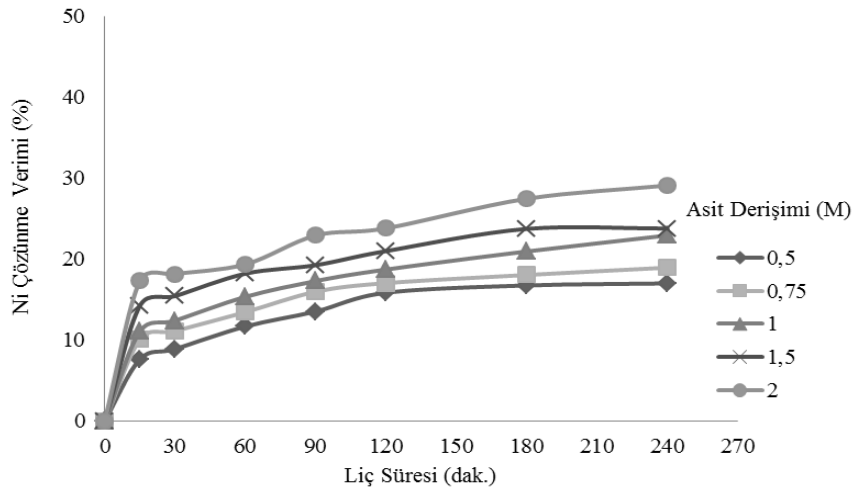
Çizelge 4.22 ve Şekil 4.22 incelendiğinde; örneğin; karıştırmasız ortamda 240 dak. sonunda Fe çözünme verimi % 2,18 iken 400 dev./dak. karıştırma hızında 240 dak. sonunda Fe çözünme verimi % 2,08 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bağlı olarak, karıştırma hızının Fe çözünme verimine çok fazla etkisi olmadığı söylenebilir. Bu nedenle, diğer parametrelerin araştırılmasında karıştırmasız ortamın kullanılmasına karar verilmiştir.

4.1.3.2. HClO₄ derişiminin çözünmeye etkisi

HClO₄ derişimi etkisini araştırmak için, 50 °C sıcaklığında, karıştırmasız ortamda, -106+75 µm tane boyutunda, 5 g cevher numunesi ve 500 ml çözelti kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 0,5, 0,75, 1, 1,5 ve 2 M derişimlerinde ve 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dak. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ni için Çizelge 4.23 ve Şekil 4.23’de, Fe için Çizelge 4.24 ve Şekil 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.23. HClO₄ derişiminin Ni çözünmeye etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)				
	0,5 M	0,75 M	1 M	1,5 M	2 M
15	7,60	10,06	11,04	14,22	17,29
30	8,88	11,11	12,39	15,42	18,14
60	11,66	13,44	15,32	18,19	19,34
90	13,52	15,96	17,28	19,24	22,91
120	15,83	17,02	18,70	20,98	23,80
180	16,73	18,03	20,93	23,72	27,44
240	16,98	18,93	22,91	23,76	29,08



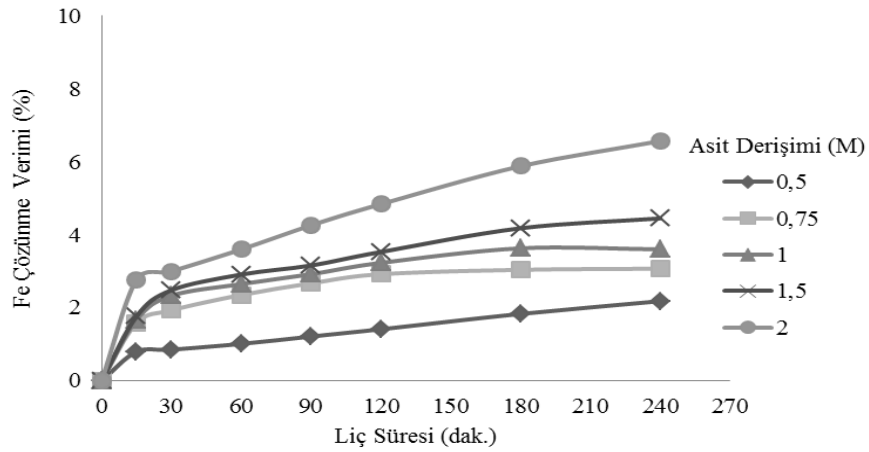
Şekil 4.23. HClO₄ derişiminin Ni çözünmeye verimine etkisi.

Çizelge 4.23 ve Şekil 4.23 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,5 M HClO₄ derişiminde % 16,98 Ni çözünürken, 2 M HClO₄ derişiminde ise % 29,08 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında, asit derişimi arttıkça, Ni

çözünme verimlerinde bir artış olmaktadır, bu nedenle diğer parametrelerin araştırılmasında HClO_4 derişimi 2 M olarak karar verilmiştir.

Çizelge 4.24. HClO_4 derişiminin Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)				
	0,5 M	0,75 M	1 M	1,5 M	2 M
15	0,79	1,58	1,67	1,76	2,76
30	0,85	1,93	2,33	2,48	3,00
60	1,01	2,35	2,65	2,91	3,60
90	1,21	2,67	2,92	3,16	4,26
120	1,41	2,92	3,23	3,53	4,84
180	1,83	3,04	3,63	4,18	5,88
240	2,18	3,07	3,60	4,45	6,57



Şekil 4.24. HClO_4 derişiminin Fe çözünme verimine etkisi.

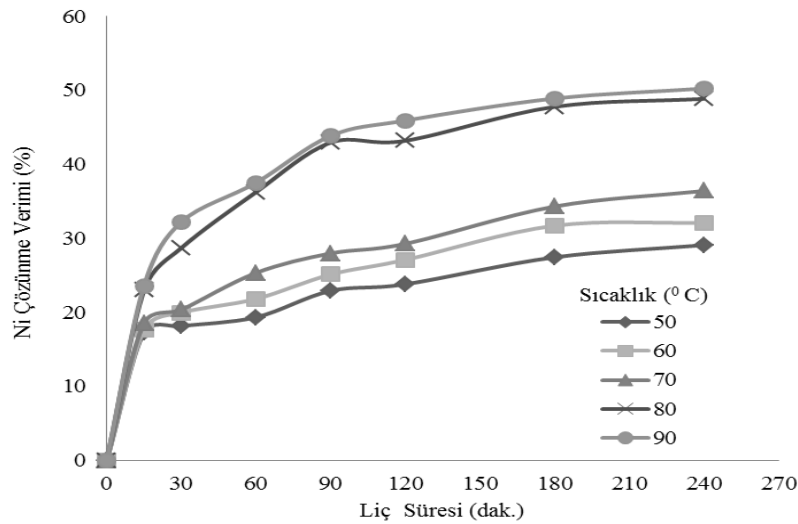
Çizelge 4.24 ve Şekil 4.24 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,5 M HClO_4 derişiminde % 2,18 Fe çözünürken, 2 M HClO_4 derişiminde ise % 6,57 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında, asit derişimi arttıkça Fe çözünme verimlerinde bir artış olmaktadır, bu nedenle diğer parametrelerin araştırılmasında HClO_4 derişimi 2 M olarak karar verilmiştir.

4.1.3.3. HClO₄ ortamında sıcaklığın çözünmeye etkisi

Sıcaklığın etkisini araştırmak için, 2 M HClO₄ derişiminde, karıştırmasız ortamda, -106+75 µm tane boyutunda, 5 g cevher numunesi ve 500 ml çözelti kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dak. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni için Çizelge 4.25 ve Şekil 4.25’de, Fe için Çizelge 4.26 ve Şekil 4.26’da verilmiştir.

Çizelge 4.25. HClO₄ ortamında sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)				
	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
15	17,29	17,64	18,53	22,98	23,60
30	18,14	19,96	20,35	28,69	32,21
60	19,34	21,82	25,33	36,24	37,51
90	22,91	25,12	27,97	42,93	43,84
120	23,80	27,09	29,26	43,18	45,91
180	27,44	31,71	34,30	47,77	48,89
240	29,08	32,11	36,40	48,84	50,24



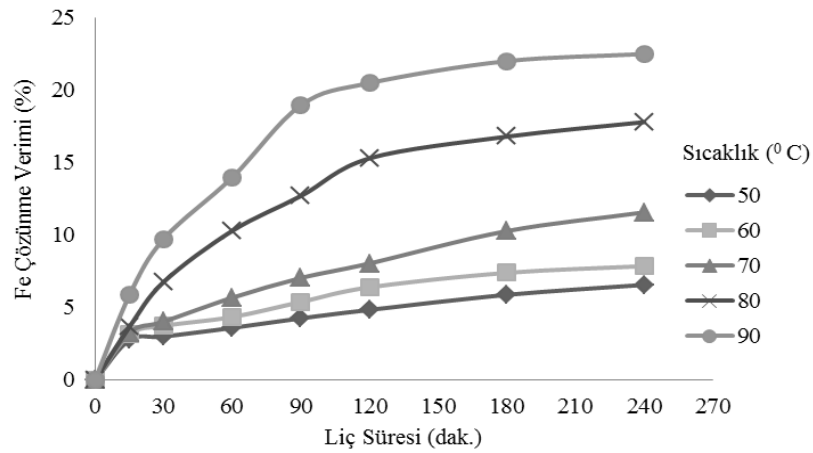
Şekil 4.25. HClO₄ ortamında sıcaklığın Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.25 ve Şekil 4.25 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 50 °C’de % 29,08 Ni çözünürken, 90 °C’de ise % 50,24 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında, sıcaklık arttıkça Ni çözünme verimlerinde bir artış olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda, sistemin kontrolü zorlaştığı için ve 90 °C ile aralarında

çok fazla sıcaklık farkı olmadığı için, diğer parametrelerin araştırılmasında sıcaklık 80 °C olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.26. HClO₄ ortamında sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)				
	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
15	2,76	3,13	3,27	3,66	5,85
30	3,00	3,74	4,03	6,77	9,74
60	3,60	4,35	5,68	10,30	13,99
90	4,26	5,39	7,04	12,70	18,97
120	4,84	6,40	8,05	15,30	20,50
180	5,88	7,40	10,28	16,80	22,01
240	6,57	7,86	11,57	17,80	22,50



Şekil 4.26. HClO₄ ortamında sıcaklığın Fe çözünme verimine etkisi.

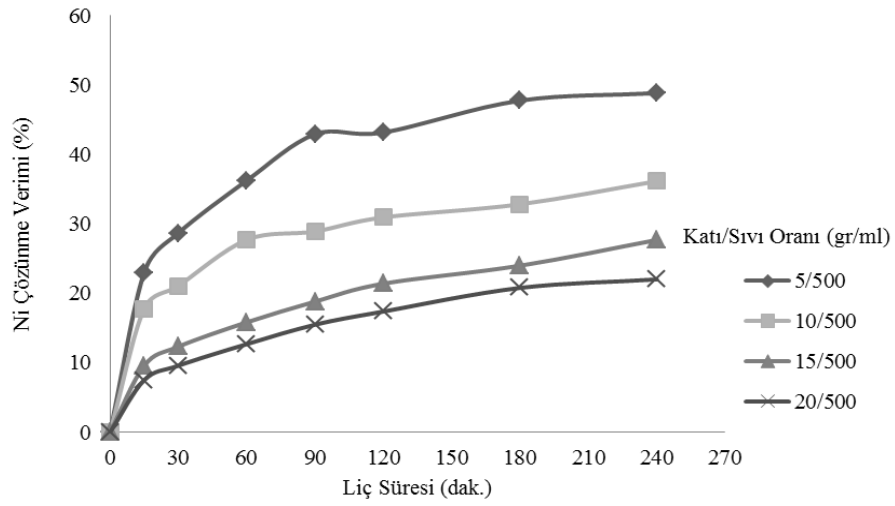
Çizelge 4.26 ve Şekil 4.26 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 50 °C 'de % 6,57 Fe çözünürken, 90 °C 'de ise % 22,50 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında, sıcaklık arttıkça Fe çözünme verimlerinde bir artış olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda, sistemin kontrolü zorlaştığı için ve 90 °C ile aralarında çok fazla sıcaklık farkı olmadığı için, diğer parametrelerin araştırılmasında sıcaklık 80 °C olarak belirlenmiştir.

4.1.3.4. HClO₄ ortamında katı/sıvı oranının çözünmeye etkisi

Katı/sıvı oranı etkisini araştırmak için, 80°C sıcaklığında, 2 M HClO₄ derişiminde, karıştırmasız ortamda, -106+75 µm tane boyutunda cevher numunesi ve 500 ml çözelti kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dak. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni için Çizelge 4.27 ve Şekil 4.27’de, Fe için Çizelge 4.28 ve Şekil 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.27. HClO₄ ortamında katı/sıvı oranının Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	5/500	10/500	15/500	20/500
15	22,98	17,76	9,58	7,50
30	28,69	21,07	12,33	9,60
60	36,24	27,72	15,84	12,70
90	42,93	28,93	18,82	15,50
120	43,18	30,95	21,41	17,40
180	47,77	32,84	24,00	20,80
240	48,84	36,16	27,70	22,02



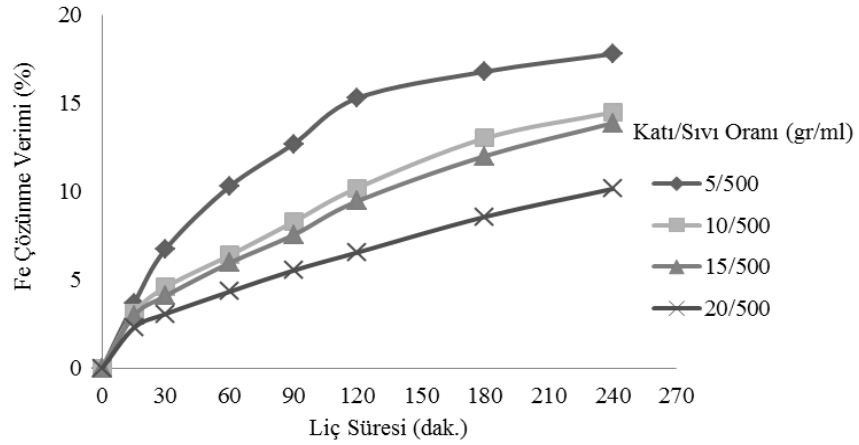
Şekil 4.27. HClO₄ ortamında katı/sıvı oranının Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.27 ve Şekil 4.27 incelendiğinde; örneğin, 5/500 katı/sıvı oranında 240 dakikanın sonunda Ni çözünmesi % 48,84 iken, 20/500 katı/sıvı oranında Ni

çözünmesi % 22,02'ye ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında, katı/sıvı oranı arttıkça Ni kazanma verimi az da olsa düşmektedir.

Çizelge 4.28. HClO₄ ortamında katı/sıvı oranının Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	5/500	10/500	15/500	20/500
15	3,66	3,11	2,97	2,29
30	6,77	4,60	4,11	3,08
60	10,30	6,40	5,97	4,34
90	12,70	8,29	7,55	5,54
120	15,30	10,21	9,46	6,56
180	16,80	13,03	12,02	8,58
240	17,80	14,49	13,88	10,16



Şekil 4.28. HClO₄ ortamında katı/sıvı oranının Fe çözünme verimine etkisi.

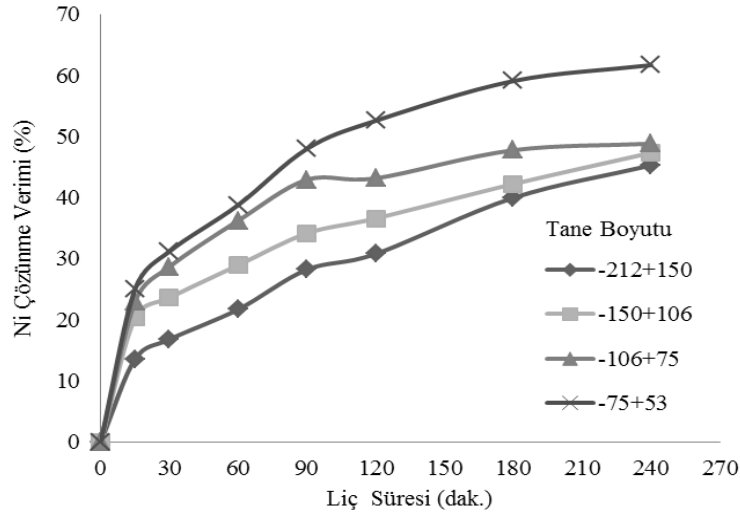
Çizelge 4.28 ve Şekil 4.28 incelendiğinde; örneğin, 5/500 katı/sıvı oranında 240 dakikanın sonunda Fe çözünmesi % 17,80 iken, 20/500 katı/sıvı oranında Fe çözünmesi % 10,16'ya ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında, katı/sıvı oranı arttıkça Fe kazanma verimi düşmektedir.

4.1.3.5. HClO₄ ortamında tane boyutunun çözünmeye etkisi

Tane boyutunun etkisini araştırmak için, 80°C sıcaklığında, 2 M HClO₄ derişiminde, karıştırmasız ortamda, -212+150, -150+106, -106+75, -75+53 µm tane boyutunda, 5 g cevher numunesi ve 500 ml çözelti kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dak. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni için Çizelge 4.29 ve Şekil 4.29'da, Fe için Çizelge 4.30 ve Şekil 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.29. HClO₄ ortamında tane boyutunun Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	-212+150 µm	-150+106 µm	-106+75 µm	-75+53 µm
15	13,54	20,31	22,98	25,00
30	16,80	23,60	28,69	31,20
60	21,71	28,96	36,24	38,80
90	28,23	34,16	42,93	48,00
120	30,80	36,61	43,18	52,60
180	39,97	42,24	47,77	59,10
240	45,28	47,34	48,84	61,70

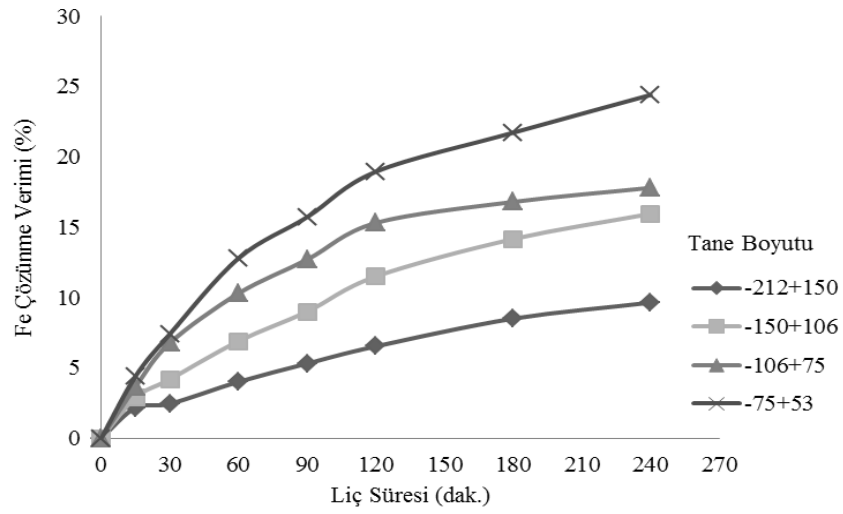


Şekil 4.29. HClO₄ ortamında tane boyutunun Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.29 ve Şekil 4.29 incelendiğinde; örneğin, -212+150 µm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda Ni çözünmesi % 45,28 iken -75+53 µm tane boyutunda Ni çözünmesi % 61,70'e ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında, tane boyutu küçüldükçe yüzey alanı arttığı için Ni kazanma verimi artmaktadır.

Çizelge 4.30. HClO₄ ortamında tane boyutunun Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	-212+150 µm	-150+106 µm	-106+75 µm	-75+53 µm
15	2,17	2,90	3,66	4,40
30	2,45	4,19	6,77	7,40
60	4,01	6,90	10,30	12,79
90	5,31	9,00	12,70	15,72
120	6,53	11,50	15,30	18,94
180	8,50	14,16	16,80	21,72
240	9,64	15,95	17,80	24,40

**Şekil 4.30.** HClO₄ ortamında tane boyutunun Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 4.30 ve Şekil 4.30 incelendiğinde; örneğin, -212+150 µm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda Fe çözünmesi % 9,64 iken -75+53 µm tane boyutunda Fe çözünmesi % 24,40'a ulaşmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında, tane boyutu küçüldükçe yüzey alanı arttığı için Fe kazanma verimi artmaktadır.

4.2. Mikrodalga Ön İşlemli Liçing Çalışmaları

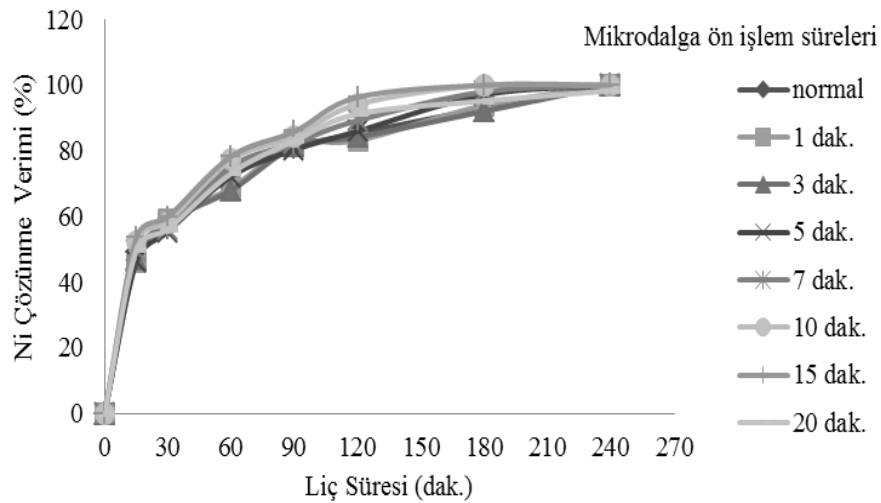
4.2.1. H₂SO₄ ortamında mikrodalga ön işlemli liçing çalışması

4.2.1.1. H₂SO₄ ortamında mikrodalga ön işlem süresinin Ni ve Fe çözünmesine etkisi

Ön işlem süresinin çözünmeye etkisini araştırma deneylerinde, -75+53 µm tane boyutuna getirilmiş cevher 360 watt gücünde mikrodalga fırınında farklı sürelerde (1, 3, 5, 7, 10, 15 ve 20 dak.) ön işleme tabi tutulmuştur. Belirlenmiş olan optimum liç şartlarında (2 M H₂SO₄, liç süresi 240 dak., sıcaklık 80°C, katı/sıvı 5/500 g/ml, karıştırmasız ortamda) mikrodalga ön işlemine tabi tutulmuş cevherler üzerinde deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları, Ni çözünmesi için Çizelge 4.39 ve Şekil 4.39'da, Fe için ise Çizelge 4.40 ve Şekil 4.40'ta verilmiştir.

Çizelge 4.39. Mikrodalga ön işlem süresinin Ni çözünmesine etkisi.

Liç Süresi (dak.)	normal	1 dak.	3 dak.	5 dak.	7 dak.	10 dak.	15 dak.	20 dak.
0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	49,27	46,10	47,18	46,18	49,38	52,21	53,61	49,88
30	57,04	58,88	58,47	55,41	56,29	58,33	59,89	56,10
60	73,46	68,75	68,01	72,26	75,22	77,25	78,36	73,20
90	81,15	82,14	81,32	80,33	82,38	84,38	85,92	83,09
120	85,31	83,21	84,25	86,00	89,26	94,21	96,33	91,27
180	93,04	93,84	92,08	97,09	98,01	100,00	100,00	95,22
240	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,33

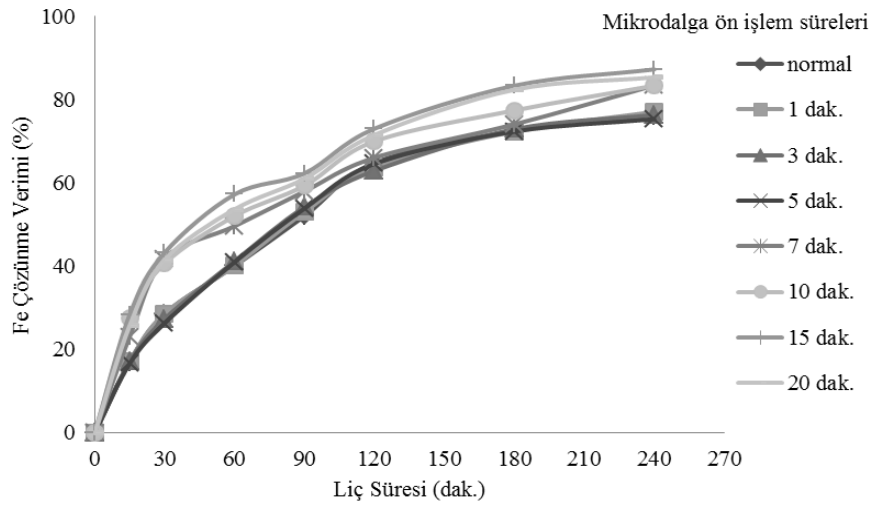


Şekil 4.39. Mikrodalga ön işlem süresinin Ni çözünmesine etkisi.

Çizelge 4.39 ve Şekil 4.39’da görüldüğü gibi, 360 watt gücünde mikrodalga ön işlemine tabi tutulmuş numunenin liç deneyleri sonucunda 1 dakikalık ön işlem sonucunda 240 dakikada Ni çözünmesi % 100 olur iken, 15 dakikalık ön işlem sonunda, 120 dakika liç süresinde Ni çözünmesinin % 100’e yaklaştığı görülmüştür. Bu nedenle, mikrodalga ön işlem süresi 15 dakika olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.40. Mikrodalga ön işlem süresinin Fe çözünmesine etkisi.

Liç Süresi (dak.)	normal	1 dak.	3 dak.	5 dak.	7 dak.	10 dak.	15 dak.	20 dak.
0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	17,05	17,08	17,12	16,65	23,11	27,58	28,34	25,74
30	28,56	28,63	27,33	26,32	41,75	40,64	43,24	41,54
60	40,06	40,12	41,21	40,98	49,62	52,03	57,22	53,66
90	52,06	53,04	54,21	53,87	57,97	59,33	62,27	61,03
120	64,78	63,72	62,89	64,58	66,03	69,98	72,99	71,49
180	72,50	72,33	72,88	72,31	74,04	77,38	83,32	82,36
240	76,01	77,02	76,31	75,28	83,39	83,32	87,24	85,33



Şekil 4.40. Mikrodalga ön işlem süresinin Fe çözünmesine etkisi.

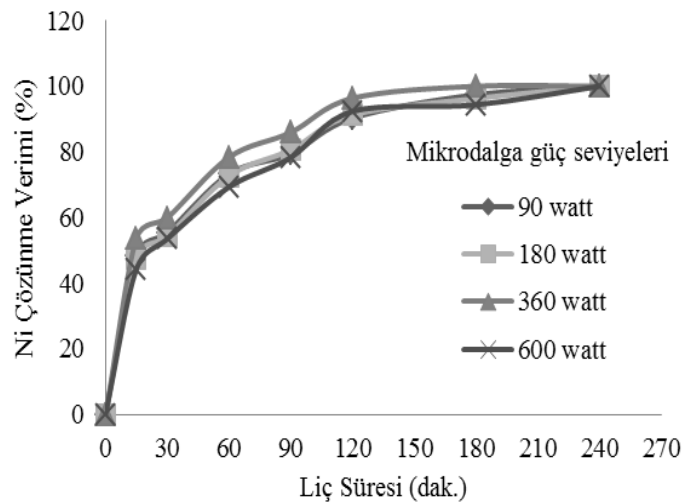
Çizelge 4.40 ve Şekil 4.40’ta görüldüğü gibi, 360 watt gücünde mikrodalga ön işlemine tabi tutulmuş numunenin liç deneyleri sonucunda 1 dakikalık ön işlem sonucunda 240 dakikada Fe çözünmesi % 77,02 olur iken, 15 dakikalık ön işlem sonunda, 240 dakika liç süresinde Fe çözünmesinin % 87,24’lere (maksimum değer) çıktığı görülmüştür. Bu nedenle, mikrodalga ön işlem süresi 15 dakika olarak seçilmiştir.

4.2.1.2. H₂SO₄ ortamında mikrodalga gücünün Ni ve Fe çözünmesine etkisi

Mikrodalga gücünün çözünmeye etkisini araştırma deneylerinde, -75+53 µm tane boyutuna getirilmiş cevher 15 dakika boyunca mikrodalga fırınında farklı güçlerde (0, 90, 180, 360 ve 600 watt) ön işleme tabi tutulmuştur. Aynı liç şartlarında, mikrodalga ön işlemine tabi tutulmuş cevherler üzerinde deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları, Ni çözünmesi için Çizelge 4.41 ve Şekil 4.41’de, Fe için ise Çizelge 4.42 ve Şekil 4.42’de verilmiştir.

Çizelge 4.41. Mikrodalga gücünün Ni çözünmesine etkisi.

Liç Süresi (dak.)	90 watt	180 watt	360 watt	600 watt
0	0	0	0	0
15	48,38	47,65	53,61	44,23
30	55,39	54,28	59,89	53,48
60	73,28	72,68	78,36	69,31
90	79,46	80,63	85,92	78,26
120	90,31	91,23	96,33	92,33
180	97,41	96,29	100,00	94,34
240	100,00	100,00	100,00	100,00



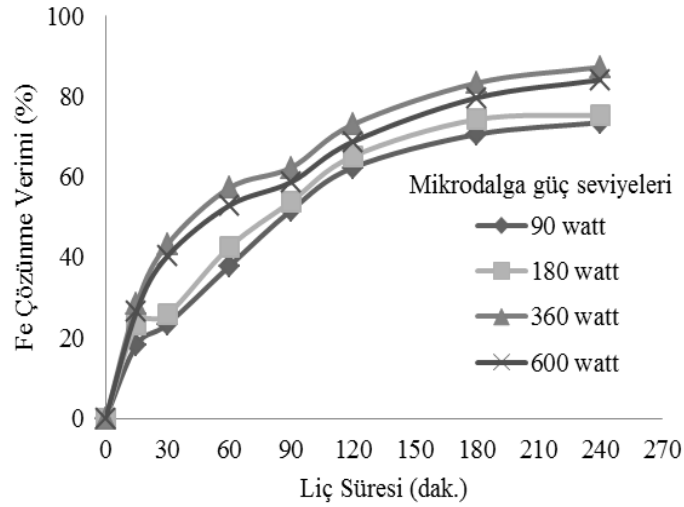
Şekil 4.41. Mikrodalga gücünün Ni çözünmesine etkisi.

Çizelge 4.41 ve Şekil 4.41’de görüldüğü gibi, ön ısısal işleme tabi tutulmamış cevher numunesi liç deneyleri sonucunda 240 dakikada Ni çözünmesi % 100 olur iken, mikrodalga işlemine tabi tutulduğu zaman daha kısa sürelerde Ni çözünmesinin %

100'e ulaştığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, mikrodalga gücünün belli bir seviyenin üstüne çıkarılması sonucunda, ön ısısal işlemin ters etki yaptığı gözlenmektedir. Deneyler sonucunda 180 dakika liç süresinde, 360 watt gücünde Ni çözünmesini % 100'e ulaşmaktadır. Bu nedenle diğer parametrenin belirlenmesinde mikrodalga gücü 360 watt olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.42. Mikrodalga gücünün Fe çözünmesine etkisi.

Liç Süresi (dak.)	90 watt	180 watt	360 watt	600 watt
0	0	0	0	0
15	18,25	23,18	28,34	26,52
30	23,39	25,73	43,24	40,28
60	37,78	42,52	57,22	52,87
90	51,67	53,84	62,27	58,69
120	62,28	65,08	72,99	68,73
180	70,55	74,24	83,32	79,61
240	73,48	75,32	87,24	84,09



Şekil 4.42. Mikrodalga gücünün Fe çözünmesine etkisi.

Çizelge 4.42 ve Şekil 4.42'de görüldüğü gibi, ön ısısal işleme tabi tutulmamış cevher numunesi liç deneyleri sonucunda maksimum seviyeye ancak 240 dakikada gelir iken, mikrodalga işlemine tabi tutulduğu zaman daha kısa sürelerde Fe çözünmesinin maksimum seviyelere ulaştığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, mikrodalga gücünün belli bir seviyenin üstüne çıkarılması sonucunda, ön ısısal işlemin Fe

çözünmesine etkisinin azaldığı gözlenmektedir. Deneyler sonucunda 240 dakika liç süresinde, 360 watt gücünde Ni çözünmesini % 87,24'e (maksimum değer) ulaşmaktadır. Bu nedenle diğer parametrenin belirlenmesinde mikrodalga gücü 360 watt olarak seçilmiştir.

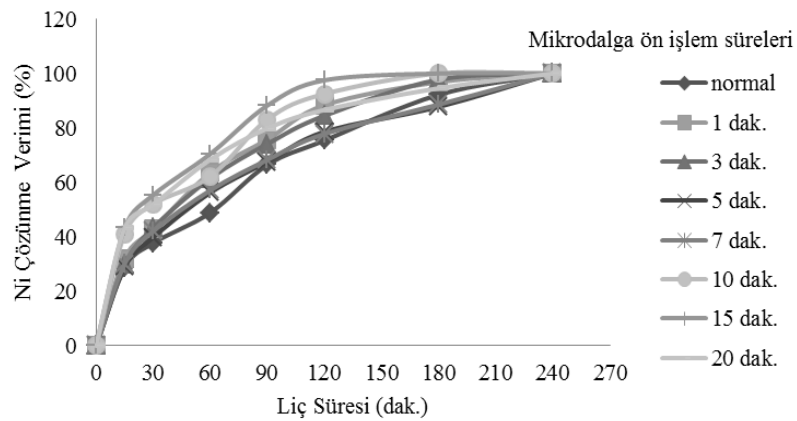
4.2.2. HCl ortamında mikrodalga ön işlemlili liçing çalışması

4.2.2.1. HCl ortamında mikrodalga ön işlem süresinin Ni ve Fe çözünmesine etkisi

Ön işlem süresinin çözünmeye etkisini araştırma deneylerinde, -75+53 µm tane boyutuna getirilmiş cevher 360 watt gücünde mikrodalga fırınında farklı sürelerde (1, 3, 5, 7, 10, 15 ve 20 dak.) ön işleme tabi tutulmuştur. Belirlenmiş olan optimum liç şartlarında (2 M HCl, liç süresi 240 dak., sıcaklık 80 °C, katı/sıvı 5/500 g/ml, karıştırmasız ortamda) mikrodalga ön işleme tabi tutulmuş cevherler üzerinde deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları, Ni çözünmesi için Çizelge 4.31 ve Şekil 4.31'de, Fe için ise Çizelge 4.32 ve Şekil 4.32'de verilmiştir.

Çizelge 4.31. Mikrodalga ön işlem süresinin Ni çözünmesine etkisi.

Liç Süresi (dak.)	normal	1 dak.	3 dak.	5 dak.	7 dak.	10 dak.	15 dak.	20 dak.
0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	28,58	32,14	29,74	28,96	30,09	41,08	43,32	43,34
30	37,73	42,85	43,34	39,82	42,07	52,08	55,36	51,80
60	48,88	63,57	61,52	56,24	57,08	62,16	70,47	68,36
90	66,46	75,76	74,14	67,58	68,29	83,13	88,25	79,84
120	75,42	88,37	84,50	78,58	77,80	92,51	97,50	86,61
180	92,19	96,83	97,74	87,74	88,58	100,00	100,00	94,57
240	100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

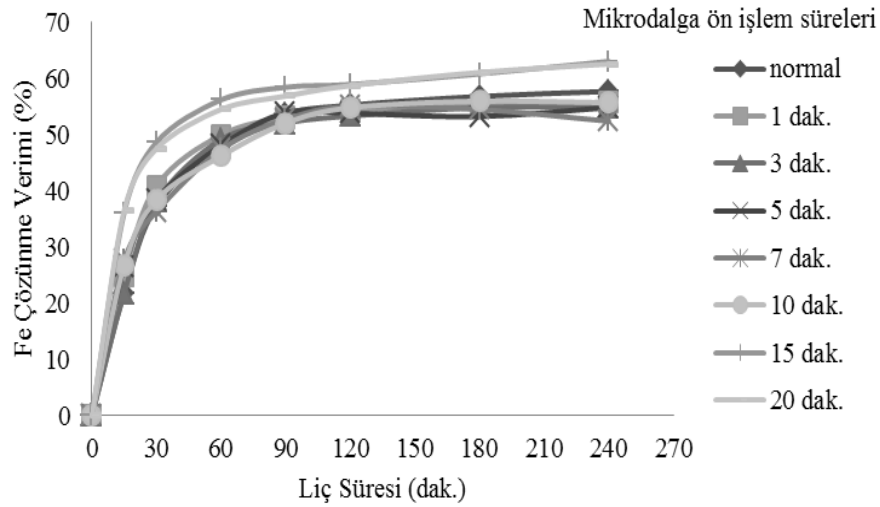


Şekil 4.31. Mikrodalga ön işlem süresinin Ni çözünmesine etkisi.

Çizelge 4.31 ve Şekil 4.31’de görüldüğü gibi, 360 watt gücünde mikrodalga ön işlemine tabi tutulmuş numunenin liç deneyleri sonucunda 1 dakikalık ön işlem sonucunda 240 dakikada Ni çözünmesi % 100 olur iken, 15 dakikalık ön işlem sonunda, 120 dakika liç süresinde Ni çözünmesinin % 90’ların üstüne çıktığı görülmüştür. Bu nedenle, mikrodalga ön işlem süresi 15 dakika olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.32. Mikrodalga ön işlem süresinin Fe çözünmesine etkisi.

Liç Süresi (dak.)	normal	1 dak.	3 dak.	5 dak.	7 dak.	10 dak.	15 dak.	20 dak.
0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	21,79	24,93	21,81	26,38	27,59	26,66	36,03	36,54
30	37,30	40,88	38,04	38,45	36,31	38,43	48,63	47,49
60	48,30	49,92	49,10	48,03	47,33	46,18	56,16	54,47
90	53,64	53,06	52,05	53,88	52,68	52,01	58,40	56,84
120	55,22	54,35	53,30	53,79	54,96	54,77	58,91	58,68
180	56,77	55,27	54,78	53,20	54,45	55,92	60,78	61,04
240	57,67	55,75	54,89	54,80	52,37	55,64	63,01	62,53



Şekil 4.32. Mikrodalga ön işlem süresinin Fe çözünmesine etkisi.

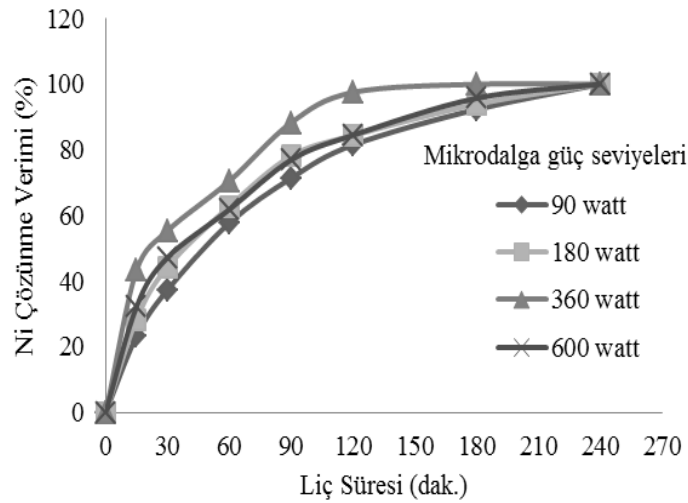
Çizelge 4.32 ve Şekil 4.32’de görüldüğü gibi, 360 watt gücünde mikrodalga ön işlemine tabi tutulmuş numunenin liç deneyleri sonucunda 1 dakikalık ön işlem sonucunda 240 dakikada Fe çözünmesi % 55,75 olur iken, 15 dakikalık ön işlem sonunda, 240 dakika liç süresinde Fe çözünmesinin maksimum değere çıktığı görülmüştür. Bu nedenle, mikrodalga ön işlem süresi 15 dakika olarak seçilmiştir.

4.2.2.2. HCl ortamında mikrodalga gücünün Ni ve Fe çözünmesine etkisi

Mikrodalga gücünün çözünmeye etkisini araştırma deneylerinde, $-75+53\ \mu\text{m}$ tane boyutuna getirilmiş cevher 15 dakika boyunca mikrodalga fırınında farklı güçlerde (0, 90, 180, 360 ve 600 watt) ön işleme tabi tutulmuştur. Aynı liç şartlarında, mikrodalga ön işlemine tabi tutulmuş cevherler üzerinde deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları, Ni çözünmesi için Çizelge 4.33 ve Şekil 4.33’de, Fe için ise Çizelge 4.34 ve Şekil 4.34’de verilmiştir.

Çizelge 4.33. Mikrodalga gücünün Ni çözünmesine etkisi.

Liç Süresi (dak.)	90 watt	180 watt	360 watt	600 watt
0	0	0	0	0
15	23,26	28,32	43,32	32,22
30	37,35	44,36	55,36	47,18
60	57,72	62,78	70,47	61,84
90	71,38	78,10	88,25	76,94
120	81,49	84,38	97,50	84,46
180	92,33	93,92	100,00	95,73
240	100,00	100,00	100,00	100,00



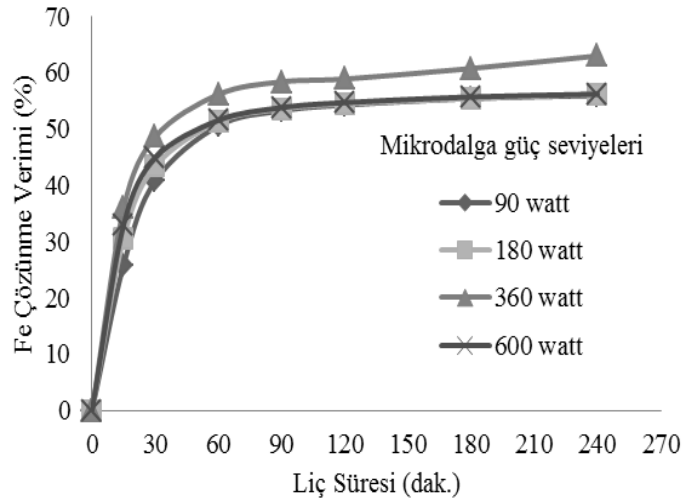
Şekil 4.33. Mikrodalga gücünün Ni çözünmesine etkisi.

Çizelge 4.33 ve Şekil 4.33’de görüldüğü gibi, ön ısısal işleme tabi tutulmamış cevher numunesi liç deneyleri sonucunda 240 dakikada Ni çözünmesi % 100 olur iken, mikrodalga işlemine tabi tutulduğu zaman daha kısa sürelerde Ni çözünmesinin % 100’e ulaştığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, mikrodalga gücünün belli bir seviyenin

üstüne çıkarılması sonucunda, ön ısısal işlemin ters etki yaptığı gözlenmektedir. Deneyler sonucunda 180 dakika liç süresinde, 360 watt gücünde Ni çözünmesini % 100'e ulaşmaktadır. Bu nedenle diğer parametrenin belirlenmesinde mikrodalga gücü 360 watt olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.34. Mikrodalga gücünün Fe çözünmesine etkisi.

Liç Süresi (dak.)	90 watt	180 watt	360 watt	600 watt
0	0	0	0	0
15	25,86	30,63	36,03	32,99
30	40,81	43,41	48,63	44,89
60	50,61	51,32	56,16	51,58
90	53,26	53,60	58,40	53,82
120	54,28	54,47	58,91	54,72
180	55,45	55,44	60,78	55,71
240	55,96	56,23	63,01	56,23



Şekil 4.34. Mikrodalga gücünün Fe çözünmesine etkisi.

Çizelge 4.34 ve Şekil 4.34’de görüldüğü gibi, ön ısısal işleme tabi tutulmamış cevher numunesi liç deneyleri sonucunda maksimum seviyeye ancak 240 dakikada gelir iken, mikrodalga işlemine tabi tutulduğu zaman daha kısa sürelerde Fe çözünmesinin maksimum seviyelere ulaştığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, mikrodalga gücünün belli bir seviyenin üstüne çıkarılması sonucunda, ön ısısal işlemin Fe çözünmesine etkisinin azaldığı gözlenmektedir. Deneyler sonucunda 240 dakika liç süresinde, 360 watt gücünde Ni çözünmesini % 63,01’e ulaşmaktadır. Bu nedenle diğer parametrenin belirlenmesinde mikrodalga gücü 360 watt olarak seçilmiştir.

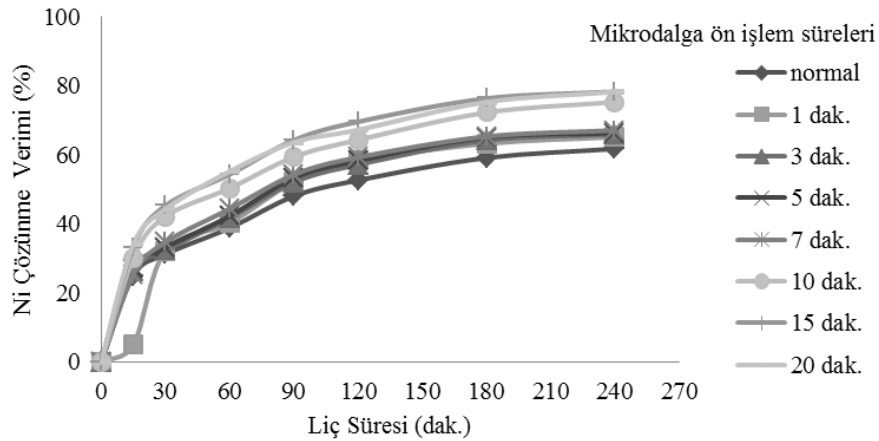
4.2.3. HClO₄ ortamında mikrodalga ön işlemlili liçing çalışması

4.2.3.1. HClO₄ ortamında mikrodalga ön işlem süresinin Ni ve Fe çözünmesine etkisi

Ön işlem süresinin çözünmeye etkisini araştırma deneylerinde, -75+53 µm tane boyutuna getirilmiş cevher 360 watt gücünde mikrodalga fırınında farklı sürelerde (1, 3, 5, 7, 10, 15 ve 20 dak.) ön işleme tabi tutulmuştur. Belirlenmiş olan optimum liç şartlarında (2 M HClO₄, liç süresi 240 dak., sıcaklık 80°C, katı/sıvı 5/500 g/ml, karıştırmasız ortamda) mikrodalga ön işlemine tabi tutulmuş cevherler üzerinde deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları, Ni çözünmesi için Çizelge 4.35 ve Şekil 4.35’de, Fe için ise Çizelge 4.36 ve Şekil 4.36’de verilmiştir.

Çizelge 4.35. Mikrodalga ön işlem süresinin Ni çözünmesine etkisi.

Liç Süresi (dak.)	normal	1 dak.	3 dak.	5 dak.	7 dak.	10 dak.	15 dak.	20 dak.
0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	25,00	4,93	26,33	26,87	25,38	30,08	33,21	34,01
30	31,2	32,21	32,24	33,11	34,66	42,11	45,26	44,28
60	38,8	40,25	41,66	42,25	44,33	50,28	54,32	55,17
90	48,00	52,11	52,03	53,27	54,21	59,33	64,21	63,59
120	52,6	58,23	57,12	58,29	59,24	64,28	69,54	67,21
180	59,1	63,21	64,14	65,01	65,28	72,21	76,31	75,25
240	61,7	65,12	65,88	66,23	67,03	75,24	78,24	78,18



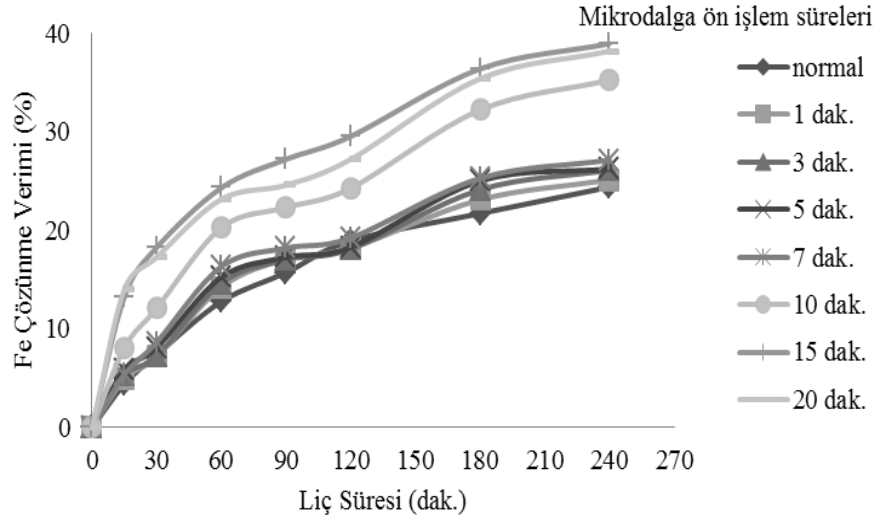
Şekil 4.35. Mikrodalga ön işlem süresinin Ni çözünmesine etkisi.

Çizelge 4.35 ve Şekil 4.35’te görüldüğü gibi, 360 watt gücünde mikrodalga ön işlemine tabi tutulmuş numunenin liç deneyleri sonucunda 1 dakikalık ön işlem sonucunda 240 dakikada Ni çözünmesi % 65,12 olur iken, 15 dakikalık ön işlem

sonunda, 120 dakika liç süresinde Ni çözünmesinin % 69,54'lerin üstüne çıktığı görülmüştür. Bu nedenle, mikrodalga ön işlem süresi 15 dakika olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.36. Mikrodalga ön işlem süresinin Fe çözünmesine etkisi.

Liç Süresi (dak.)	normal	1 dak.	3 dak.	5 dak.	7 dak.	10 dak.	15 dak.	20 dak.
0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	4,4	4,93	5,33	5,87	5,38	8,08	13,21	14,01
30	7,4	7,21	7,24	8,11	8,66	12,11	18,26	17,28
60	12,79	14,25	14,66	15,25	16,33	20,28	24,32	23,17
90	15,72	17,11	17,03	17,27	18,21	22,33	27,21	24,59
120	18,94	18,23	18,12	18,29	19,24	24,28	29,54	27,21
180	21,72	23,11	24,12	25,02	25,28	32,21	36,38	35,38
240	24,4	25,12	26,11	26,23	27,13	35,24	38,93	38,18



Şekil 4.36. Mikrodalga ön işlem süresinin Fe çözünmesine etkisi.

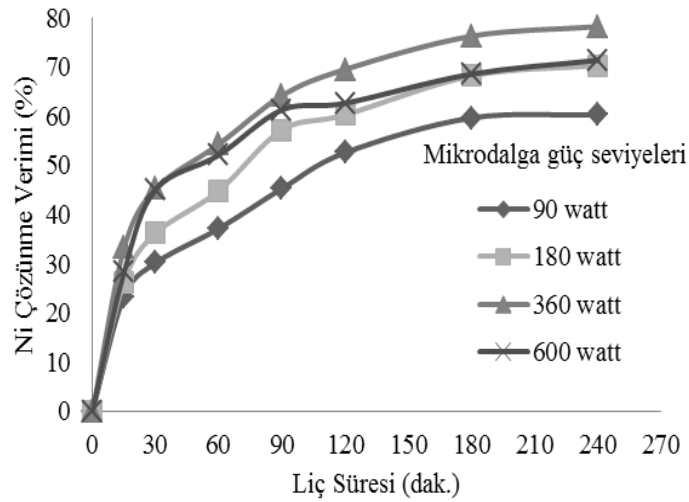
Çizelge 4.36 ve Şekil 4.36'da görüldüğü gibi, 360 watt gücünde mikrodalga ön işlemine tabi tutulmuş numunenin liç deneyleri sonucunda 1 dakikalık ön işlem sonucunda 240 dakikada Fe çözünmesi % 25,12 olur iken, 15 dakikalık ön işlem sonucunda, 240 dakika liç süresinde Fe çözünmesinin % 38,93'lere (maksimum değer) çıktığı görülmüştür. Bu nedenle, mikrodalga ön işlem süresi 15 dakika olarak seçilmiştir.

4.2.3.2. HClO₄ ortamında mikrodalga gücünün Ni ve Fe çözünmesine etkisi

Mikrodalga gücünün çözünmeye etkisini araştırma deneylerinde, -75+53 μ m tane boyutuna getirilmiş cevher 15 dakika boyunca mikrodalga fırınında farklı güçlerde (0, 90, 180, 360 ve 600 watt) ön işleme tabi tutulmuştur. Aynı liç şartlarında, mikrodalga ön işlemine tabi tutulmuş cevherler üzerinde deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları, Ni çözünmesi için Çizelge 4.37 ve Şekil 4.37’de, Fe için ise Çizelge 4.38 ve Şekil 4.38’de verilmiştir.

Çizelge 4.37. Mikrodalga gücünün Ni çözünmesine etkisi.

Liç Süresi (dak.)	90 watt	180 watt	360 watt	600 watt
0	0	0	0	0
15	23,31	26,32	33,21	28,31
30	30,21	36,23	45,26	45,11
60	37,18	44,86	54,32	52,13
90	45,32	57,25	64,21	61,31
120	52,62	60,32	69,54	62,68
180	59,69	68,25	76,31	68,59
240	60,28	70,35	78,24	71,41



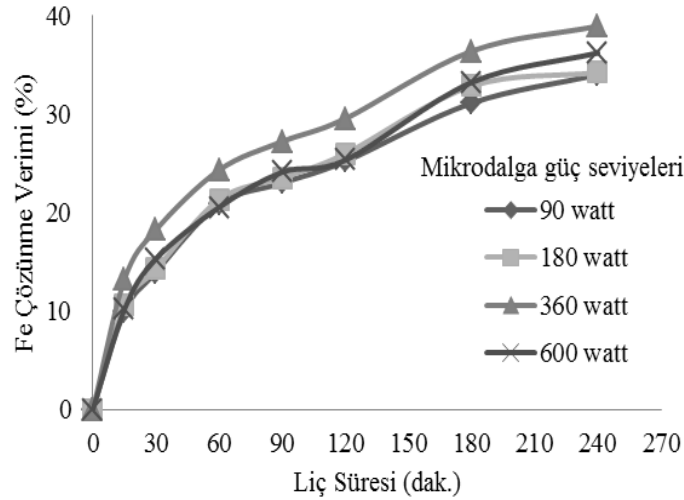
Şekil 4.37. Mikrodalga gücünün Ni çözünmesine etkisi.

Çizelge 4.37 ve Şekil 4.37’de görüldüğü gibi, ön ısısal işleme tabi tutulmamış cevher numunesi liç deneyleri sonucunda 240 dakikada Ni çözünmesi maksimum seviyelere ulaşırken, mikrodalga işlemine tabi tutulduğu zaman daha kısa sürelerde Ni

çözünmesinin maksimum seviyelere ulaştığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, mikrodalga gücünün belli bir seviyenin üstüne çıkarılması sonucunda, ön ısısal işlemin ters etki yaptığı gözlenmektedir. Deneyler sonucunda 180 dakika liç süresinde, 360 watt gücünde Ni çözünmesini % 100'e ulaşmaktadır. Bu nedenle diğer parametrenin belirlenmesinde mikrodalga gücü 360 watt olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.38. Mikrodalga gücünün Fe çözünmesine etkisi.

Liç Süresi (dak.)	90 watt	180 watt	360 watt	600 watt
0	0	0	0	0
15	9,92	10,61	13,21	10,18
30	13,97	14,26	18,26	15,31
60	20,86	21,33	24,32	20,54
90	23,01	23,54	27,21	24,11
120	25,21	25,98	29,54	25,33
180	31,11	32,85	36,38	33,21
240	33,99	34,21	38,93	36,21



Şekil 4.38. Mikrodalga gücünün Fe çözünmesine etkisi.

Çizelge 4.38 ve Şekil 4.38’de görüldüğü gibi, ön ısısal işleme tabi tutulmamış cevher numunesi liç deneyleri sonucunda maksimum seviyeye ancak 240 dakikada gelir iken, mikrodalga işlemine tabi tutulduğu zaman daha kısa sürelerde Fe çözünmesinin maksimum seviyelere ulaştığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, mikrodalga gücünün belli bir seviyenin üstüne çıkarılması sonucunda, ön ısısal işlemin Fe çözünmesine etkisinin azaldığı gözlenmektedir. Deneyler sonucunda 240 dakika liç süresinde, 360 watt

gücünde Ni çözünmesini % 38,93'e (maksimum değer) ulaşmaktadır. Bu nedenle diğer parametrenin belirlenmesinde mikrodalga gücü 360 watt olarak seçilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada Adatepe (Karaçam) lateritik cevherinin liçing şartları üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Asidik ortam için % 98'lik H_2SO_4 , % 37'lik HCl ve % 60'lık $HClO_4$ kullanılarak karıştırma hızı, asit derişimi, sıcaklık, katı/sıvı oranı ve tane boyutunun Ni ve Fe çözündürülmesine olan etkisi araştırılmıştır. Bunlara ilaveten aynı cevherin mikrodalga etkisinde liçing şartları üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bunun için 2,45 GHz'lik frekansta ve farklı güç seviyelerinde çalışabilen bir mutfak tipi mikrodalga fırın kullanılmıştır. -75+ 53 μm tane boyutuna getirilmiş cevher mikrodalga fırınında farklı güç (0, 90, 180, 360, 600 watt) ve farklı sürelerde (1, 3, 5, 7, 10, 15 ve 20 dak.) ön ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonraki aşamada mikrodalgada ısıtma işlemine tabi tutulan cevherlere asitli ortamda liç işlemi uygulanmıştır.

H_2SO_4 deneylerinde karıştırma hızı, asit derişimi, sıcaklık, katı/sıvı oranı ve tane boyutunun Ni ve Fe çözünmesine olan etkisi araştırılmıştır.

Karıştırma hızının Ni ve Fe çözünmesine etkisini incelemek için yapılan liç deneylerinde, -106+75 μm tane boyutunda cevher, katı/sıvı oranı 5/500 g/ml, 50 °C sıcaklığında ve 0,5 M H_2SO_4 çözeltisi kullanılmıştır. Deneyler, 0, 100, 200 ve 400 dev/dk karıştırma hızlarında ve 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dak. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarından, karıştırma hızının çözünmeye kaydadeğer bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Diğer parametrelerin incelenmesinde karıştırmasız ortam seçilmiştir.

H_2SO_4 derişiminin Ni ve Fe çözünmesine etkisini incelemek için yapılan liç deneyleri sonuçlarına göre; 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,5 M H_2SO_4 derişiminde % 17,74 nikel, % 6,40 demir çözünürken, 2 M H_2SO_4 derişiminde ise % 45,17 nikel, % 15,91 demir çözünmektedir. H_2SO_4 derişiminin artması ile Ni ve Fe çözünmesinin arttığı gözlemlenmiştir. H_2SO_4 derişimi sıcaklık deneyleri için 2 M olarak seçilmiştir.

H_2SO_4 ortamında sıcaklığın Ni ve Fe çözünmesine etkisini incelemek için yapılan liç deneyleri sonuçlarına göre, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 50 °C'de % 45,17 Ni, % 15,91 Fe çözünürken, 80 °C'de nikel % 100, % 72 Fe çözünmektedir. Sonuç olarak, artan sıcaklıkla Ni ve Fe çözünme verimi artmaktadır.

H_2SO_4 ortamında, katı/sıvı oranının etkisini incelemek için yapılan liç deneyleri sonuçlarına göre; 5/500 katı/sıvı oranında 240 dakikanın sonunda Ni çözünmesi % 100,

Fe çözünmesi % 72,50 iken, 20/500 katı/sıvı oranında nikel çözünmesi % 72,85'e ulaşırken Fe çözünmesi % 16,40'a düşmektedir. Buradan anlaşılabacağı gibi, katı/sıvı oranı arttıkça nikel çözünmesi azda olsa azalmaktadır. Fe çözünmesinde ise katı/sıvı oranı arttıkça Fe çözünmesi bariz şekilde azalmaktadır.

H₂SO₄ ortamında tane boyutunun etkisini incelemek için yapılan liç deneyleri sonuçlarına göre, -212+150 µm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda Ni çözünmesi % 80,84, Fe çözünmesi % 26,39 iken; -75+53 µm tane boyutunda Ni çözünmesi % 100, Fe çözünmesi ise %76,01'e ulaşmaktadır. Bu sonuçlara göre; tane boyutu küçüldükçe yüzey alanı arttığı için Ni ve Fe kazanma verimi artmaktadır.

HCl deneylerinde, karıştırma hızı, asit derişimi, sıcaklık, katı/sıvı oranı ve tane boyutunun Ni ve Fe çözünmesine etkisi araştırılmıştır. H₂SO₄ liçi için belirlenmiş olan deney şartları burada da uygulanmıştır ve aynı şekilde karıştırma hızının kaydadeğer bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

HCl derişiminin Ni ve Fe çözünmesinde, H₂SO₄'te olduğu gibi asit derişiminin artmasıyla çözünme veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Örnek olarak, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,5 M HCl derişiminde % 14,46 Ni, % 3,43 Fe çözünürken, 2 M HCl derişiminde ise % 43,41 Ni, % 13,68 Fe çözünmektedir.

HCl ortamında sıcaklık arttıkça Ni ve Fe çözünmesinde artış olduğu belirlenmiş olup, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 50 °C'de % 43,21 Ni, % 13,68 Fe çözünüp, yine 240 dakikalık liç işlemi sonunda Ni 80 °C'de %100'e yaklaşırken Fe'nin 90°C'de % 62,80'i çözünmektedir.

HCl ortamında, katı/sıvı oranının etkisini incelemek için yapılan liç deneyleri sonuçlarına göre; 5/500 katı/sıvı oranında 240 dakikanın sonunda Ni çözünmesi % 96,17, Fe çözünmesi % 46,70 iken, 20/500 katı/sıvı oranında Ni çözünmesi % 67,05'e ulaşırken Fe çözünmesi % 11,54'e düşmektedir. Buradan anlaşılabacağı gibi, katı/sıvı oranı arttıkça Ni çözünmesi de Fe çözünmesi de azalmaktadır.

HCl ortamında tane boyutu arttıkça Ni ve Fe çözünmesinde, yüzey alanı küçüldüğü için bir azalma olduğu belirlenmiş olup, -212+150 µm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda Ni çözünmesi % 81,89, Fe çözünmesi % 25,28 iken, -75+53 µm tane boyutunda Ni çözünmesi % 100, Fe çözünmesi ise % 57,67'dir.

HClO₄ deneylerinde de karıştırma hızı, asit derişimi, sıcaklık, katı/sıvı oranı ve tane boyutunun Ni ve Fe çözünmesine etkisi araştırılmıştır. Yine yukarıda bahsettiğimiz 2 deneyde olduğu gibi karıştırma hızının liç üzerine kaydadeğer bir etkisinin bulunmadığı görülmüştür.

HClO₄ derişiminin Ni ve Fe çözünmesinde, yukarıdaki deneylerde olduğu gibi asit derişiminin artmasıyla çözünme hızında arttığı gözlemlenmiştir. Örnek olarak, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,5 M HClO₄ derişiminde % 16,98 Ni, % 2,18 Fe çözünürken, 2 M HClO₄ derişiminde ise % 29,08 Ni, % 6,57 Fe çözünmektedir.

HClO₄ ortamında sıcaklık arttıkça Ni ve Fe çözünmesinde artış olduğu belirlenmiş olup, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 50 °C'de % 29,08 Ni, % 6,57 Fe çözünüp, yine 240 dakikalık liç işlemi sonunda Ni 80 °C'de % 48,84 olurken, Fe'nin 80°C'de % 17,80'i çözünmektedir.

HClO₄ ortamında, katı/sıvı oranının etkisini incelemek için yapılan liç deneyleri sonuçlarına göre; 5/500 katı/sıvı oranında 240 dakikanın sonunda Ni çözünmesi % 48,84, Fe çözünmesi % 17,80 iken, 20/500 katı/sıvı oranında Ni çözünmesi % 22,02'ye gerilerken Fe çözünmesi % 10,16'ya düşmektedir. Buradan anlaşılağı gibi, katı/sıvı oranı arttıkça Ni çözünmesi de Fe çözünmesi de azalmaktadır.

HClO₄ ortamında tane boyutu arttıkça Ni ve Fe çözünmesinde, yüzey alanı küçüldüğü için bir azalma olduğu belirlenmiş olup, -212+150 µm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda Ni çözünmesi % 45,28, Fe çözünmesi % 9,64 iken, -75+53 µm tane boyutunda Ni çözünmesi % 61,70, Fe çözünmesi ise % 24,40'dır.

Mikrodalga etkisinde Adatepe (Karaçam) lateritik cevherinin liçing deneylerinin sonuçları ise aşağıda verilmiştir.

H₂SO₄ ortamında mikrodalga ön işlem süresinin çözünmeye etkisini araştırma deneylerinden elde edilen sonuçlara göre, 1 dakikalık ön işlem sonucunda 240 dakikada Ni çözünmesi % 100 , Fe çözünmesi % 77,02 olur iken, 15 dakikalık ön işlem sonucunda, 180 dakika liç süresinde Ni çözünmesinin % 100, Fe çözünmesinin ise % 83,32' ye ulaşmıştır. Bu nedenle, mikrodalga ön işlem süresi 15 dakika olarak seçilmiştir.

H₂SO₄ ortamında mikrodalga gücünün çözünmeye etkisini araştırma deneylerinden elde edilen sonuçlara göre, ön ısısal işleme tabi tutulmamış cevher numunesi liç deneyleri sonucunda 240 dakikada Ni ve Fe çözünmesi maksimum değerlerde olur iken, mikrodalga işlemine tabi tutulduğu zaman daha kısa sürelerde Ni ve Fe çözünmesinin maksimum seviyelere ulaştığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, mikrodalga gücünün belli bir seviyenin üstüne çıkarılması sonucunda, ön ısısal işlemin ters etki yaptığı gözlenmektedir. Deneyler sonucunda 180 dakika liç süresinde, 360 watt gücünde Ni çözünmesini % 100, Fe çözünmesi ise % 87,24'e ulaşmıştır. Bu nedenle diğer parametrenin belirlenmesinde mikrodalga gücü 360 watt olarak seçilmiştir.

HCl ortamında mikrodalga ön işlem süresinin çözünmeye etkisini araştırma deneylerinden elde edilen sonuçlara göre, 1 dakikalık ön işlem sonucunda 240 dakikada Ni çözünmesi % 100 , Fe çözünmesi % 55,75 olur iken, 15 dakikalık ön işlem sonucunda, 180 dakika liç süresinde Ni çözünmesinin % 100, Fe çözünmesinin ise maksimum seviyeye (% 63,01) ulaştığı görülmüştür. Bu nedenle, mikrodalga ön işlem süresi 15 dakika olarak seçilmiştir.

HCl ortamında mikrodalga gücünün çözünmeye etkisini araştırma deneylerinden elde edilen sonuçlara göre, ön ısısal işleme tabi tutulmamış cevher numunesi liç deneyleri sonucunda 240 dakikada Ni ve Fe çözünmesi maksimum değerlerde olur iken, mikrodalga işlemine tabi tutulduğu zaman daha kısa sürelerde Ni ve Fe çözünmesinin maksimum seviyelere ulaştığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, mikrodalga gücünün belli bir seviyenin üstüne çıkarılması sonucunda, ön ısısal işlemin ters etki yaptığı gözlenmektedir. Deneyler sonucunda 180 dakika liç süresinde, 360 watt gücünde Ni çözünmesini % 100, Fe çözünmesi ise % 60,78'e ulaşmıştır. Bu nedenle diğer parametrenin belirlenmesinde mikrodalga gücü 360 watt olarak seçilmiştir.

HClO₄ ortamında mikrodalga ön işlem süresinin çözünmeye etkisini araştırma deneylerinden elde edilen sonuçlara göre, 1 dakikalık ön işlem sonucunda 240 dakikada Ni çözünmesi % 65,12 , Fe çözünmesi % 25,12 olur iken, 15 dakikalık ön işlem sonucunda, 180 dakika liç süresinde Ni ve Fe çözünmesinin maksimum seviyelere ulaştığı görülmüştür. Bu nedenle, mikrodalga ön işlem süresi 15 dakika olarak seçilmiştir.

HClO₄ ortamında mikrodalga gücünün çözünmeye etkisini araştırma deneylerinden elde edilen sonuçlara göre, ön ısısal işleme tabi tutulmamış cevher numunesi liç deneyleri sonucunda 240 dakikada Ni ve Fe çözünmesi maksimum değerlerde olur iken, mikrodalga işlemine tabi tutulduğu zaman daha kısa sürelerde Ni ve Fe çözünmesinin maksimum seviyelere ulaştığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, mikrodalga gücünün belli bir seviyenin üstüne çıkarılması sonucunda, ön ısısal işlemin ters etki yaptığı gözlenmektedir. Deneyler sonucunda 180 dakika liç süresinde, 360 watt gücünde Ni çözünmesini % 76,31, Fe çözünmesi ise % 36,38'e ulaşmıştır. Bu nedenle diğer parametrenin belirlenmesinde mikrodalga gücü 360 watt olarak seçilmiştir.

5.2. Öneriler

Sonuç olarak, Eskişehir Adatepe (Karaçam) yöresine ait lateritik nikel cevherlerinden Fe ve Ni kazanımı için asit liçi uygulamasının uygun bir yöntem olduğu söylenebilir. Cevherin çözünmesi için kullanılan asitler içinde en ekonomik asit olarak sülfürik asit seçilmiş olup en iyi sonuçların da sülfürik asitli ortamda yapılan liç deneylerinde elde edildiği tespit edilmiştir.

Mikrodalga ile işleme tabi tutulan cevherlerde ise liç süresinin kısaldığı ve yüksek çözünme verimlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

Bu nedenle, mikrodalga güç uygulama gereçlerinin geliştirilmesi ve endüstriyel çapta, cevher hazırlama ve metalurji sanayisinde kullanılması önerilebilir.

Bu çalışma, farklı asitler ve parametreler kullanılarak geliştirilebilir. Ayrıca cevherin boyutu küçültülmeden önce de mikrodalgaya tabi tutularak, mikrodalgaın öğütme için gerekli olan enerji ihtiyacını azaltıp azaltmayacağı, mineral serbestleşmesine bir etkisi olup olmayacağı veya cevherdeki minerallerin birbirinden ayrılmasındaki rolü üzerinde araştırmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Ağaçayak, T., 2008, "Karaçam (Eskişehir) Lateritik Nikel Cevherinin Fiziksel ve Kimyasal Yöntemlerle Zenginleştirilmesi" Doktora Tezi. Maden Mühendisliği, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Agacayak, T., 2011, Effect of microwave heating on magnetic separation: Kesikköprü magnetite deposits in Ankara, Central,Turkey, Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Selçuk University, pp: 1856-1864
- Akçıl, A. ve Çiftçi, H., 2003; “Küre Bakır Cevherinin Bakteriyel Liçi”, Madencilik Dergisi, 42, (4), s:15-25.
- Akçıl, A. ve Çiftçi, H., 2006, “Metal Kazanımında Bakteriyel Liç Mekanizmaları” Madencilik, Cilt 45, Sayı 4, s:19-27.
- Akikol, İ., 2005, Farklı Aktivasyon Yöntemleriyle Geliştirilen Aktif Karbonlar İle Sudan Ağır Metal Giderimi. Yüksek Lisans Tezi. Kimya Mühendisliği, Y.T.Ü, İstanbul, s:21.
- Akdağ, M., 1992, Hidrometalurji Temel Esasları ve Uygulamaları, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları No:88, İzmir.
- Akdağ, M., 1984, "Ekstraktif Metalurji-Pirometalurji ve Uygulamalar" Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği, İzmir.
- Al-Harash M. and Kingman W., 2003, Microwave-assisted leaching—a review, Hydrometallurgy, Volume 73, Issues 3-4, June 2004, Pages 189-203.
- Amil, MM, Kangal, O. and Güney, A., 2006, "Nickel recovery from chromite ore", XXIII . International Mineral Processing Congress, 2, pp:1410 - 1414.
- Anales Des Mines, (1978) “Valeur de la Production Miniere Mandi Ale” s.h. 180-181
- Antonucci, V. and Correa, C., 1999, Sulphuric acid leaching of chalcopyrite concentrate assisted by application of microwave energy. In: Proceeding of COPPER 95-COPRE 95 international conference, Electrefining and Hydrometallurgy of Copper vol. 3, The Metallurgical Society of CIM, Santiago, Chile, pp. 549–557.
- Artan E.T., 1997, Mikrodalga güç uygulama aparatlarında ısı dağılımının simülasyonu, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Aslaner, M., 1979, Nikel Yatakları ve Türkiye Nikel Olanaklarına Toplu ve Yeni Bir Bakış Jeoloji Mühendisliği, K.T.Ü, Trabzon, s: 25-36
- Baykurt, F., Anorganik Kimya Praktumu, Dördüncü Basım, İstanbul, 68-270, 1974.
- Beşe, A.V., 2000, “Konverter cürufundan hidrometalurjik yöntemlerle saf bakır üretimi” Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.

- Boyalı İ. ve Arıkal R.T., 1986, Yunusemre Karaçam Dumluca Yöresinin Nikel-Kobalt Maden Jeoloji Raporu.
- Bingöl, D., 1993, "Oksitli Bakır Cevherinin Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı, Sivas.
- Canbazoğlu, M., 2001, Çözelti Madenciliği Ders Notları, Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fak. Maden Müh. Böl. s:18-24, Sivas.
- Canbazoğlu M. ve Girgin İ. 2001, Cevher Hazırlama El Kitabı, 1-18. İTÜ Yayınları, İstanbul.
- Caneb G., 1970, Nikel, Madencilik, TMMOB Maden Müh. Od. Derg. Cilt:9 Sayı:5
- Chow TSE V. and Reader H.C., 2000, Understanding microwave heating cavities, ISBN 1-58053-094-X, s:9-35.
- Cöcen, Ü., 1980, Çaldağ Nikel Cevherinin Değerlendirme, Kosulları Yüksek Lisans Tezi.
- Çiftçi, H. ve Akçıl, H., 2003; "Piritli Bakır Cevherinin Mezofilik Bakterilerle Çözündürülmesinde Demir Oksidasyonu Üzerine Bir Çalışma", Geosound, (43), pp: 63-75.
- Çilingir, Y., 1990, "Metalik cevherler ve zenginleştirme yöntemleri, Cilt1. s: 5-10, 5-16. DEÜ. Müh. Yayınları, İzmir.
- DPT, 2001, "Madencilik özel ihtisas Komisyonu, metal madenler alt komisyonu diğer metal madenler çalışma grubu raporu" Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, DPT, Ankara.
- Ehrlich, H.L., 2004; "Beginnings of rational bioleaching and highlights in the development of biohydrometallurgy: A brief history", The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection, 4, pp: 102-112.
- El-Dahshan M.E., 1996, "Fundamentals of extractive metallurgy" King Saud University, 362, pp:13-21.
- Ermiş, İ.U., 2011, "Stronsiyum Sülfat Konsantresinden Liçing Yöntemleriyle Amonyum Sülfat ve Stronsiyum Karbonat Üretimi", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Ersayın S., Ergün S. L. and Benzer H., 1994, The effects of heat treatment on grinding and liberation of chromite ores, *Progress in Mineral Processing Technology*, 5. *International Mineral Processing Symposium Cappadocia/Turkey*, Demirel&Ersayın (eds), pp: 33-37, Balkema.
- Eskibalçı F. M. , 2007, Cevher hazırlama ve zenginleştirmede mikrodalga enerjisinin kullanılabilirliğinin araştırılması , Doktora tezi , İ.Ü. ,Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Göktaş, M., 2007, Manisa-Turgutlu-Çaldağ Nikel Ham Cevherinin Yapısal Özelliklerinin ve Bunlara Dayalı Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması” DEÜ Fen bilimleri Enst., Yüksek lisans Tezi, s:97, İzmir.
- Göveli, A., 2006, “Nickel Extraction From Gördes Laterites By Hydrochloric Acid Leaching” MSc thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, p: 102, Ankara.
- Gözler M.Z., Cevher F., Küçükayman A., Taşanyürek M., Asutay H.J., Acar Ş., 1984, Kızılcaören Kompleks Cevher Yatağı ile Yunusemre Nikel Cevherleşmesinin Jeolojisi.
- Güngör A. and Atalay Ü., 1996, Microwave processing and grindability, Innovations in Mineral and Coal Processing, 7. International Mineral Processing Symposium Istanbul/Turkey, Atak, Önal& Çelik (eds), pp:13-16, Balkema, Rotterdam.
- Habashi, F., 1982, “Chemical and Eng. News, Faculty of Min. and Met., Laval University of Kanada.
- Haque, K. E., 1999, Microwave energy for mineral treatment processes- a brief review, International Journal of Mineral Processing, Vol 57, pp:1-24.
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel>
- <http://www.insg.org/>
- <http://www.sardesnikel.com.tr>
- <http://tr.wikipedia.org/wiki/Nikel>
- Hua Y., Lin Z. and Yan Z., 2002, Application of microwave irradiation to quick leach of zinc silicate ore, Minerals Engineering, 15, p451-456.
- Kanat, A., 2001, İ.T.Ü. KOSGEB’de geliştirilmekte olan mikrodalga fırında elma meyvesinin kurutulmasına yönelik bir çalışma, Yüksek Lisans Tezi İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kingman S.W. and Rowson N.A., 1998, Microwave Treatment of Minerals- A Review, Minerals Engineering, vol. 11, No 11, pp 1081-1087.
- Kingman S.W, Vorster, W. and Rowson N.A., 2001, The Effect of Microwave Radiation upon the Processing of Neves Corvo Copper Ore, International Journal of Mineral Processing, vol. 63, 1, 29-44.
- Kruesi, P.R. and Frahm, V.H., 1982, Process for the recovery of nickel, cobalt and manganese from their oxides and silicates. US Patent No. 4,311,520.

- Lovas M., Murova I., Mockovciakova A., Rowson N. And Jakabsky S., 2003, Intensification of magnetic separation and leaching of Cuores by microwave radiation, *Separation and Purification Technology*, Volume 31, Issue 3, 1 June, Pages 291-299.
- Norman L. M. and Cha C. Y., 1996, Production of activated carbon from coal chars using microwave energy, *Fuel and Energy Abstracts*, vol:37, Issue 1, pp:4, July.
- Orumwense A.O. and Negeri T., 2003, The impact of microwave irradiation on the processing of a sulphide ore, *SME Annual Meeting* Feb. 24-26, Cincinnati, Ohio.
- Özdemir, V., 2006, “Hydrometallurgical Extraction of Nickel and Cobalt From Çaldağ Laterite Ores. Msc Thesis. The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, p:80, Ankara.
- Öztunalı Ö., 1973, *Maden Yatakları Olusumları ve Değerlendirmeleri*, Latin matbaası.
- Seifelnassr, A.A.S. ve Abouzeid, A.Z.M., 2000; “Cevher Hazırlamada Yeni Eğilimler: Bakteriyel Aktivitelerin Kullanımı”, *Ore Dressing*, 4, s:17-41.
- Seyrankaya A. and Ozalp B., 2006, Dehydration of sodium carbonate monohydrate with indirect microwave heating, *Thermochimica Acta*, 448, p31–36.
- Stuchly M. A. and Stuchly S. S., 1983, Industrial, scientific, medical and domestic applications of microwaves, *IEE Proceedings*, Vol 130, No 8, pp:467502.
- Thostenson E.T. and Chou T.W., 1999, Microwave processing: fundamentals and applications, *Composites: Part A* 30, p:1055-1071.
- Uslu T. and Atalay Ü., 2003, Effect of microwave heating on magnetic separation of pyrite, *Mining Engineering Department, Middle East Technical University, Ankara, Turkey*, p: 161-167.
- Walkiewicz J.W., Clark A.E. and McGill S.L., 1991, Microwave-Assisted Grinding, *IEEE Transactions on Industry Application*, Vol 27, No 2, pp: 239-243, Mart/April.
- Weian, D., 1997, Leaching behaviour of complex sulphide concentrate with ferric chloride by microwave irradiation. *Rare Metals* 16 2, pp. 153–155.
- Yıldız K. ve Alp A., 2000., Metalurjik proseslerde mikrodalga kullanımı, *Metalurji Dergisi*, Cilt 24, Sayı:125, s.24-29.
- Yıldız, Y., 2008, Sulu Çözeltilerden Kobalt ve Nikelin Sıvı Membranlarla Ayrılması. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Sakarya, s:9.
- Zainol, Z., 2005 “The development of a resin-in-pulp process for the recovery of nickel and cobalt from laterite leach slurries” MSc thesis, Murdoch University, Western Australia, p:258.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Merve KÖSELER
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya 12.08.1986
Telefon : 0 534 643 87 68
Faks :
e-mail : mervekoseler@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Cemil Keleşoğlu Lisesi, Selçuklu, KONYA	2004
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Böl., KONYA	2009
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Maden Müh. Anabilim Dalı, KONYA	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011	Çevre Uzmanı Danışmanlık	Maden Mühendisi

YABANCI DİLLER : İngilizce (Intermediate)