T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARAÇAM (ESKİŞEHİR) LATERİTİK NİKEL CEVHERİNİN FİZİKSEL VE KİMYASAL YÖNTEMLERLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Tevfik AĞAÇAYAK
DOKTORA TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONYA-2008

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARAÇAM (ESKİŞEHİR) LATERİTİK NİKEL CEVHERİNİN FİZİKSEL VE KİMYASAL YÖNTEMLERLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Tevfik AĞAÇAYAK

DOKTORA TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 18.04.2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Veysel ZEDEF (Danışman)	Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY (Üye)	Doç. Dr. Salih AYDOĞAN (Üye)
Doç. Dr. Murat ERDEMOĞLU (Üye)		Yrd. Doç. Dr. Adnan DÖYEN (Üye)

ÖZET

Doktora Tezi

KARAÇAM (ESKİŞEHİR) LATERİTİK NİKEL CEVHERİNİN FİZİKSEL VE KİMYASAL YÖNTEMLERLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Tevfik AĞAÇAYAK

Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Veysel ZEDEF
2008, 215 sayfa

Jüri: Prof. Dr. Veysel ZEDEF
Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY
Doç. Dr. Salih AYDOĞAN
Doç. Dr. Murat ERDEMOĞLU
Yrd. Doç. Dr. Adnan DÖYEN

Bu tez, Karaçam (ESKİŞEHİR) lateritik nikel cevherinin fiziksel ve kimyasal yöntemlerle zenginleştirilmesini kapsamaktadır. Bu amaçla, öncelikle fiziksel ve fizikokimyasal yöntemler kullanılmıştır. Yeterli tenör ve verime ulaşılmadığı için asit liçi çalışmaları yapılmıştır. Asit olarak, sülfürik asit (H_2SO_4), hidroklorik asit (HCl) ve nitrik asit (HNO_3) kullanılmıştır.

XRD sonuçlarına göre, cevher içerisinde bulunan nikel minerallerinin redgersit ($NiSO_4.6H_2O$) ve gaspeit ($NiCO_3$) olduğu belirlenmiştir. Demir mineralleri olarak, götit (FeO(OH)), hematit (Fe_2O_3), vustit (FeO) olduğu ve demir yanında kil (montmorillonit, $(Ca_{0,2}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4(H_2O)$ saponit $(Ca_{0,5}(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4(H_2O))$ ve silikatlı kayaçların olduğu tespit edilmiştir.

Fiziksel zenginleştirme yöntemlerinde, multi gravite seperatör ve yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar kullanılmıştır. MGS deneylerinde, 2° tambur eğiminde konsantredeki Ni içeriği % 2,55 ve artıkdaki Ni içeriği % 1,08 olarak belirlenmiştir.

Manyetik ayırma deneylerinde, 9,2 tesla manyetik alan şiddetinde,

konsantredeki Ni içeriği % 2,02, 12,6 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki % Ni içeriği 2,08 iken, 17,4 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki Ni içeriği % 0,81 olarak belirlenmiştir.

Fizikokimyasal zenginleştirme yöntemlerinden sadece flotasyon uygulanmıştır. Flotasyon deneylerinde, pH'ın, toplayıcı cinsinin ve canlandırıcı miktarının Ni flotasyonuna etkisi araştırılmış ve en uygun pH'ın 8, toplayıcı cinsinin Na-oleat ve canlandırıcı miktarı ise 10 g/t olarak belirlenmiştir.

80 °C'de, 2 M H_2SO_4 kullanılarak yapılanliç deneylerinden elde edilen sülfatlı çözeltilere solvent ekstraksiyon uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre, pH 3,09 değerinde % 0,04 nikel organik faza alınırken, pH 9,24 değerinde % 99,66 nikel organik faza alınmıştır.

Liçing çalışmalarında, yüksek verimle nikel çözeltiye alınabilmiştir. Kullanılan bütün asitlerde, nikel çözünmesi % 100'e ulaşmış ve nikel çözündürmesinin teknolojik olarak mümkün olabileceği ortaya konulmuştur. Ayrıca, birçok parametrenin Ni çözünmesine olan etkisi incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre Ni çözünme hızının karıştırma hızından bağımsız olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, sıcaklık ve asit derişimi arttıkça Ni çözünme hızının da arttığı tespit edilmiştir.

Tez kapsamında, ayrıca nikel çözünme kinetikleri de incelenmiştir. Buradan yola çıkılarak her bir asit ortamı için sistemdeki her hangi bir değişiklikte muhtemel Ni çözünme verimi tahmin edilebilecek genel hız eşitliği oluşturulmuştur. Benzer eşitlik demir çözünmesi içinde oluşturulmuştur.

Çalışma sonucu, cevher içerisindeki nikel minerallerinin herhangi bir yükseltgen iyonda (ferik iyonları ve hidrojen peroksit) etkilenmediği, sadece asit derişimi ve sıcaklığın etkili olduğu ortaya koymuştur. Ni çözünme hızı difüzyonla kontrol edilirken, Fe çözünme hızı kimyasal olarak kontrol edildiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nikel, lateritik, asit, liç kinetiği, difüzyon, Eskişehir, Türkiye

ABSTRACT

PhD Thesis

BENEFICIATION OF KARAÇAM (ESKİŞEHİR) LATERITIC NICKEL ORE BY PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS

Tevfik AĞAÇAYAK

Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Veysel ZEDEF
2008, 215 pages

Jury: Prof. Dr. Veysel ZEDEF
Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY
Assoc. Prof. Dr. Salih AYDOĞAN
Assoc. Prof. Dr. Murat ERDEMOĞLU
Assist. Prof. Dr. Adnan DÖYEN

This thesis involves the beneficiation of Karaçam (Eskişehir) lateritic nickel ore by physical and chemical methods. For this purpose, first physical and physicochemical methods were used. Because of insufficient grade and recovery value, acid leaching experiments were carried out using sulphuric acid, hydrochloric acid and nitric acid as acidic mediums.

Redgersite ($NiSO_4.6H_2O$) and gaspeite ($NiCO_3$) which are Ni minerals were determined in ore by XRD results. Goethite (FeO(OH)), hematite (Fe_2O_3) and wustite (FeO) were also determined as iron minerals, in addition it is seen that clay minerals (montmorillanite $(Ca_{0,2}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4(H_2O)$ and saponite $(Ca_{0,5}(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4(H_2O))$) and silicated rocks occurred beside iron.

Multi gravity separator and high intensity wet magnetic separator were used in physical methods. Ni content of concentrate and tailing were obtained as 2.55 % and 1.08 % respectively at 2° drum slope in MGS experiments.

In the magnetic separator experiments, it was determined that Ni content of concentrate were 2.02, 2.08 and 0.81 % at magnetic field intensity of 9.2, 12.6 and 14.7 tesla respectively.

Only flotation method was applied in physicochemical beneficiation methods. In the flotation experiments, effects of pH, type of collector and amount of activator on Ni flotation were investigated, and the best conditions were determined as pH=8, Na-oleat as collector and 10 g/t of activator amount.

Solvent extraction was applied to sulphate contained solutions which obtained from leaching experiments using 2 M H_2SO_4 at 80 ° temperature. As a result of experiments, 0.04 % and 99.66 % nickel were loaded to organic phase at pH=3.09 and pH=9.24 respectively.

Nickel dissolution was achieved with high recovery. Nickel dissolution reached 100% and it was proved that nickel dissolution is possible technologically in all acidic medium. Also effect of a lot of parameters on Ni dissolution was investigated. It was determined that Ni dissolution rate was independed from stirring speed, but Ni dissolution rate increased with increasing temperature and acid concentration.

This thesis also contains the investigation of nickel dissolution kinetics. In the light of these studies a general rate equation was obtained in order to estimate the probable Ni recovery as a result of any change in system for every acidic medium. A similar equation was also obtained for iron dissolution.

Consequently it is shown that nickel minerals aren't affected in any oxidizing ion such as ferric ions and hydrogen peroxide. However, it is seen that only temperature and acid concentration is effective on Nickel dissolution. It was concluded that while Ni dissolution rate is controlled by diffusion, Fe dissolution rate is controlled chemically.

Key Words: Nickel, lateritic, acid, leaching kinetic, diffusion, Eskisehir, Turkey.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında beni destekleyip yönlendiren ve benim yetişmem için emeğini, bilgisini esirgemeyen danışmanım, Prof. Dr. Veysel ZEDEF'e sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunuyorum. Araştırma süresince büyük yardımlarını gördüğüm, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Bölümümüz Öğretim üyelerinden, Doç. Dr. Salih AYDOĞAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmada bilgilerini esirgemeyen ve bana yol gösteren, Maden Mühendisliği Bölümü Bölüm Başkanı, Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY'a, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı Başkanı, Doç. Dr. Alper ÖZKAN'a, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi, Yrd. Doç. Dr. M. Salim ÖNCEL'e, TİK üyesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi, Yrd. Doç. Dr. Adnan DÖYEN'e, Bölümümüzün diğer öğretim elemanlarına ve bu çalışmayı destekleyen S.Ü. B.A.P. Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın her aşamasında maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme, eşime meşguliyetlerime katlanan çocuklarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER **Sayfa No**

ÖZET i

ABSTRACT iii

TEŞEKKÜR v

İÇİNDEKİLER vi

ÇİZELGELER DİZİNİ x

ŞEKİLLER DİZİNİ xv

1.GİRİŞ 1

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 3

2.1. Nikel Hakkında Genel Bilgiler 3

2.1.1. Nikel mineralleri 3

2.1.2. Nikelin kimyasal ve fiziksel özellikleri 5

2.1.3. Nikelin kullanım alanları 6

2.1.4. Nikel yataklarının oluşumu 7

2.1.4.1. Sülfürlü nikel yatakları 7

2.1.4.2. Lateritik (Kalıntı) nikel yatakları 7

2.1.4.3. Hidrotermal nikel yatakları 9

2.2. Dünya'da ve Türkiye'de Nikel Madenciliği 10

2.2.1. Dünya'da nikel yatakları ve rezervleri 10

2.2.2. Dünya'da nikel üretimi 12

2.2.3. Türkiye'de nikel yatakları ve rezervleri 15

2.2.3.1. Manisa-Turgotlu-Çaldağ nikel yatağı 15

2.2.3.2. Manisa-Gördes nikel yatağı 16

2.2.3.3. Eskişehir-Mihalıççık-Yunusemre nikel yatağı 16

2.2.3.4. Uşak-Banaz nikel yatağı 17

2.2.3.5. Bitlis-Pancarlı nikel yatağı 17

2.2.3.6. Bursa-Orhaneli-Yapköydere nikel yatağı 17

2.2.3.7. Hatay-Payas-Dörtyol nikel yatağı 17

2.2.4. Türkiye'de nikel üretimi 18

2.3. Nikel Cevherini Zenginleştirme Yöntemleri 18

2.3.1. Fiziksel yöntemler 18

2.3.2. Fizikokimyasal yöntemler 19

2.3.3. Kimyasal yöntemler 20
2.3.3.1. Ferronikel ergitme 20
2.3.3.2. Mat ergitme 21
2.3.3.3. İndirgeme-Kavurma, Amonyak Liçi: Caron Prosesi 22
2.3.3.4. Basınçlı asit liçi 24
2.3.3.5. Yığın liçi 28
2.4. Liçing 30
2.4.1. Liçing yöntemleri 32
2.4.1.1. Yerinde liç 33
2.4.1.2. Yığın liçi 34
2.4.1.3. Perkolasyon veya tank liçi 37
2.4.1.4. Karıştırma liçi 37
2.4.1.5. Bakteri liçi 38
2.5. Çözünme Kinetik Modelleri 39
3. KARAÇAM (ESKİŞEHİR) BÖLGESİNİN JEOLOJİSİ VE COĞRAFİ DURUMU 43
3.1. Bölgenin Jeolojisi 43
3.2. Bölgenin Coğrafi Durumu 48
4. **MATERYAL VE METOT** 50
4.1. Materyal 50
4.2. Metot 51
5. **BULGULAR** 54
5.1. Öğütebilirlik Çalışmaları 54
5.1.1. Bond iş endeksinin belirlenmesi 54
5.2. Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri 58
5.2.1. Multi Gravite Seperatör ile zenginleştirme deneyleri 58
5.2.2. Manyetik ayırma ile zenginleştirme deneyleri 63
5.3. Fizikokimyasal Zenginleştirme Yöntemleri 68
5.3.1. Flotasyon ile zenginleştirme deneyleri 68
5.3.1.1. pH'ın etkisi 69
5.3.1.2. Toplayıcı cinsinin etkisi 71
5.3.1.3. Canlandırıcı (Na_2S) miktarının etkisi 73
5.4. Kimyasal Yöntemler 76

5.4.1. H_2SO_4 ile liçing çalışmaları 76
5.4.1.1. H_2SO_4 ortamında karıştırma hızının çözünmeye etkisi 76
5.4.1.2. Sülfürik asit derişiminin çözünmeye etkisi 78
5.4.1.3. H_2SO_4 ortamında sıcaklığın çözünmeye etkisi 80
5.4.1.4. H_2SO_4 ortamında tane boyutunun çözünmeye etkisi 83
5.4.1.5. H_2SO_4 ortamında katı/sıvı oranının çözünmeye etkisi 85
5.4.2. HCl ile liçing çalışmaları 88
5.4.2.1. HCl ortamında karıştırma hızının çözünmeye etkisi 88
5.4.2.2. Hidroklorik asit derişiminin çözünmeye etkisi 90
5.4.2.3. HCl ortamında sıcaklığın çözünmeye etkisi 93
5.4.2.4. HCl ortamında tane boyutunun çözünmeye etkisi 95
5.4.3. HNO_3 ile liçing çalışmaları 98
5.4.3.1. HNO_3 ortamında karıştırma hızının çözünmeye etkisi 98
5.4.3.2. HNO_3 ortamında sıcaklığın çözünmeye etkisi 100
5.4.3.3. Nitrik asit derişiminin çözünmeye etkisi 102
5.4.3.4. HNO_3 ortamında tane boyutunun çözünmeye etkisi 105
5.4.4. Sülfürik asitli ortamda potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) liçi 107
5.4.4.1. H_2SO_4 ortamında $K_2Cr_2O_7$ etkisinde sıcaklığın çözünmeye etkisi 107
5.4.5. Sülfürik asitli ortamda hidrojen peroksit (H_2O_2) liçi 111
5.4.5.1. H_2SO_4 ortamında H_2O_2 etkisinde sıcaklığın çözünmeye etkisi 111
5.4.5.2. H_2O_2 etkisinde sülfürik asit derişiminin çözünmeye etkisi 115
5.4.5.3. H_2SO_4 ortamında hidrojen peroksit derişiminin çözünmeye etkisi 118
5.4.6.Sülfürik asit-Hidrojen peroksit ortamında sodyum klorat ($NaClO_3$) liçi 122
5.4.7. Sülfürik asit ortamında sodyum klorat ($NaClO_3$) liçi 125
5.4.8. Sülfürik asit ortamında ferrik sülfat ($Fe_2(SO_4)_3$) liçi 129
5.4.9. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit liçi 130
5.4.9.1. H_2SO_4 ortamında sodyum florür derisiminin çözünmeye etkisi 130
5.4.9.2.Sodyum florür etkisinde sülfürik asit derişiminin çözünmeye etkisi 134
5.4.9.3. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit ortamında sıcaklığın çözünmeye etkisi 138
5.4.10. Hidroklorik asit ortamında sodyum klorat ($NaClO_3$) liçi 142
5.4.11. Hidroklorik asit ortamında sodyum klorür (NaCl) liçi 145

5.4.12. Kavurma-Sülfürik asit liçi 149
5.4.13. Kavurma-Amonyak-Amonyum karbonat liçi 152
5.5. Solvent Ekstraksiyon Deneyleri 153
6. TARTIŞMA 155
6.1. Çözünme Kinetiği 155
6.1.1. Çözünme kinetiği: Sülfürik asit çalışmaları 155
6.1.1.1. Sülfürik asit deneylerinde incelenen çözünme kinetiği: Sıcaklığın etkisi 156
6.1.1.2. Sülfürik asit deneylerinde incelenen çözünme kinetiği Sülfürik asit derişiminin etkisi 165
6.1.1.3. Sülfürik asit deneylerinde incelenen çözünme kinetiği : Katı/sıvı oranının etkisi 168
6.1.2. Çözünme kinetiği: Hidroklorik asit çalışmaları 174
6.1.2.1. HCl asit deneylerine uygulanan çözünme kinetiği: Sıcaklığın etkisi 174
6.1.2.2. HCl asit deneylerine uygulanan çözünme kinetiği: Asit derişiminin etkisi 180
6.1.3. Çözünme kinetiği: Nitrik asit çalışmaları 186
6.1.3.1. HNO_3 asit deneylerine uygulanan çözünme kinetiği: Sıcaklığın etkisi 186
6.1.3.2. HNO_3 asit deneylerine uygulanan çözünme kinetiği: Asit derişiminin etkisi 191
6.2. Çözünme Reaksiyonu 198
6.3. Asit Tüketimi ve Ekonomik Değeri 198
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 200
8. KAYNAKLAR 207

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1. Başlıca nikel mineralleri ve bulunuş şekilleri	4
Çizelge 2.2. Nikel elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	5
Çizelge 2.3. Bazı ülkelerin nikel rezerv ve baz rezervleri	11
Çizelge 2.4. Dünya nikel madeni üretimi	13
Çizelge 2.5. Dünya'da birincil nikel üretimi	14
Çizelge 2.6. Dünya'da birincil nikel kullanımı	14
Çizelge 2.7. Türkiye nikel rezervleri	15
Çizelge 2.8.Liç uygulama alanları	32
Çizelge 2.9. Hidrometalürjik üretim yöntemleri	33
Çizelge 4.1. Adatepe, Sarnıçtepe ve Belek yöresi numunelerinin element analizi	50
Çizelge 4.2. Belek yöresi nikel içerikli lateritik cevherin her bir fraksiyonu için Ni, Fe, Mg, Co değerleri	51
Çizelge 5.1. Bond değirmeni testinde kullanılan bilyaların çapları ve sayıları.	54
Çizelge 5.2. 3,35 mm altına kırılmış malzemenin elek analizi	55
Çizelge 5.3. Son üç öğütme evresinde elde edilen elek altı malzemesinin elek analizi	56
Çizelge 5.4. Bond İş indeksi deney sonuçları	57
Çizelge 5.5. Multi gravite seperatör deneyi sonucunda elde edilen Ni değerleri	58
Çizelge 5.6. Multi gravite seperatör deneyi sonucunda elde edilen Fe değerleri	60
Çizelge 5.7. Multi gravite seperatör deneyi sonucunda elde edilen Mg değerleri	61
Çizelge 5.8. Multi gravite seperatör deneyi sonucunda elde edilen Mg değerleri	62
Çizelge 5.9. Ni için yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deney sonuçları	64
Çizelge 5.10. Fe için yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deney sonuçları	65
Çizelge 5.11. Mg için yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deney sonuçları	66
Çizelge 5.12. Co için yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deney sonuçları	67
Çizelge 5.13. pH'ın Ni, Fe, Mg ve Co tenörüne ve verimine etkisi	70
Çizelge 5.14. Toplayıcı cinsinin, Ni, Fe, Mg ve Co tenörüne ve verimine etkisi	72
Çizelge 5.15. Na_2S miktarının, Ni, Fe, Mg ve Co tenörüne ve verimine etkisi	75
Çizelge 5.16. H_2SO_4 ortamında karıştırma hızının Ni çözünmesine etkisi	76

Çizelge 5.17. H_2SO_4 ortamında karıştırma hızının Fe çözünmesine etkisi 77
Çizelge 5.18. Sülfirik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi 78
Çizelge 5.19. Sülfirik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi 79
Çizelge 5.20. H_2SO_4 ortamında sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi 81
Çizelge 5.21. H_2SO_4 ortamında sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi 82
Çizelge 5.22. H_2SO_4 ortamında tane boyutunun Ni çözünmesine etkisi 83
Çizelge 5.23. H_2SO_4 ortamında tane boyutunun Fe çözünmesine etkisi 84
Çizelge 5.24. H_2SO_4 ortamında katı/sıvı oranının Ni çözünmesine etkisi. 86
Çizelge 5.25. H_2SO_4 ortamında katı/sıvı oranının Fe çözünmesine etkisi 87
Çizelge 5.26. HCl ortamında karıştırma hızının Ni çözünmesine etkisi 88
Çizelge 5.27. HCl ortamında karıştırma hızının Fe çözünmesine etkisi 89
Çizelge 5.28. Hidroklorik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi 91
Çizelge 5.29. Hidroklorik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi. 92
Çizelge 5.30. HCl ortamında sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi 93
Çizelge 5.31. HCl ortamında sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi 94
Çizelge 5.32. HCl ortamında tane boyutunun Ni çözünmesine etkisi. 96
Çizelge 5.33. HCl ortamında tane boyutunun Fe çözünmesine etkisi. 97
Çizelge 5.34. HNO_3 ortamında karıştırma hızının Ni çözünmesine etkisi. 98
Çizelge 5.35. HNO_3 ortamında karıştırma hızının Fe çözünmesine etkisi. 99
Çizelge 5.36. HNO_3 ortamında sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi 100
Çizelge 5.37. HNO_3 ortamında sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi. 101
Çizelge 5.38. Nitrik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi. 103
Çizelge 5.39. Nitrik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi. 104
Çizelge 5.40. HNO_3 ortamında tane boyutunun Ni çözünmesine etkisi 105
Çizelge 5.41. HNO_3 ortamında tane boyutunun Fe çözünmesine etkisi 106
Çizelge 5.42. H_2SO_4 ortamında $K_2Cr_2O_7$ etkisinde sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi 108
Çizelge 5.43. H_2SO_4 ortamında $K_2Cr_2O_7$ etkisinde sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi 109
Çizelge 5.44. H_2SO_4 ortamında $K_2Cr_2O_7$ etkisinde sıcaklığın Mg çözünmesine etkisi 110
Çizelge 5.30. H_2SO_4 ortamında H_2O_2 etkisinde sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi 111

Çizelge 5.46. H_2SO_4 ortamında H_2O_2 etkisinde sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi 113
Çizelge 5.47. H_2SO_4 ortamında H_2O_2 etkisinde sıcaklığın Mg çözünmesine etkisi. 114
Çizelge 5.48. H_2O_2 etkisinde sülfürik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi 115
Çizelge 5.49. H_2O_2 etkisinde sülfürik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi 116
Çizelge 5.50. H_2O_2 etkisinde sülfürik asit derişiminin Mg çözünmesine etkisi 117
Çizelge 5.51. H_2SO_4 ortamında hidrojen peroksit derişiminin Ni çözünmesine etkisi 119
Çizelge 5.52. H_2SO_4 ortamında hidrojen peroksit derişiminin Fe çözünmesine etkisi 120
Çizelge 5.53. H_2SO_4 ortamında hidrojen peroksit derişiminin Mg çözünmesine etkisi 121
Çizelge 5.54. 2 M H_2SO_4+0,1 M H_2O_2+ 0,1 M $NaClO_3$ Ni çözünmesine etkisi 122
Çizelge 5.55. 2 M H_2SO_4+0,1 M H_2O_2+ 0,1 M $NaClO_3$ Fe çözünmesine etkisi 123
Çizelge 5.56. 2 M H_2SO_4+0,1 M H_2O_2+ 0,1 M $NaClO_3$ Mg çözünmesine etkisi 124
Çizelge 5.57. 1 M H_2SO_4+1 M $NaClO_3$ Ni çözünmesine etkisi 126
Çizelge 5.58. 1 M H_2SO_4+1 M $NaClO_3$ Fe çözünmesine etkisi 127
Çizelge 5.59. 1 M H_2SO_4+1 M $NaClO_3$ Mg çözünmesine etkisi 128
Çizelge 5.60. 0,5 M H_2SO_4+0,5 M $Fe_2(SO_4)_3$ Ni çözünmesine etkisi 129
Çizelge 5.61. Sülfürik asit ortamında Sodyum florür derişiminin Ni çözünmesine etkisi 130
Çizelge 5.62. Sülfürik asit ortamında sodyum florür derişiminin Fe çözünmesine etkisi 132
Çizelge 5.63. Sülfürik asit ortamında sodyum florür derişiminin Mg çözünmesine etkisi 133
Çizelge 5.64. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi 135
Çizelge 5.65. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi 136
Çizelge 5.66. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit derişiminin Mg çözünmesine etkisi 137
Çizelge 5.67. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit ortamında sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi 138

Çizelge 5.68. Sodyum forür (NaF) etkisinde sülfürik asit ortamında sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi 140
Çizelge 5.69. Sodyum forür (NaF) etkisinde sülfürik asit ortamında sıcaklığın Mg çözünmesine etkisi 141
Çizelge 5.70. 1 M HCl +1 M $NaClO_3$ Ni çözünmesine etkisi. 142
Çizelge 5.71. 1 M HCl +1 M $NaClO_3$ Fe çözünmesine etkisi 143
Çizelge 5.72. 1 M HCl +1 M $NaClO_3$ Mg çözünmesine etkisi 144
Çizelge 5.73. 1 M HCl +1 M NaCl Ni çözünmesine etkisi. 146
Çizelge 5.74. 1 M HCl +1 M NaCl Fe çözünmesine etkisi 147
Çizelge 5.75. 1 M HCl +1 M NaCl Mg çözünmesine etkisi 148
Çizelge 5.76. 700 °C'de kavurma +0,5 H_2SO_4 Ni çözünmesine etkisi 149
Çizelge 5.77. 700 °C'de kavurma +0,5 H_2SO_4 Fe çözünmesine etkisi 150
Çizelge 5.78. 700 °C'de kavurma +0,5 H_2SO_4 Mg çözünmesine etkisi 151
Çizelge 5.79. Kavurma-amonyak-amonyum karbonatın Ni çözünmesine etkisi 152
Çizelge 5.80. Solvent ekstraksiyon deney sonuçları 154
Çizelge 6.1. Sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi: Kinetik modeller ve her bir kinetik modele ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları. 158
Çizelge 6.2. Sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi: Kinetik modeller ve her bir kinetik modele ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları 161
Çizelge 6.3. H_2SO_4 liçing şartlarında çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) değerleri 163
Çizelge 6.4. H_2SO_4 liçing şartlarında Sıcaklığa bağlı çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) değerleri 163
Çizelge 6.5. Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı çözünen Fe/Ni (mol/mol) oranlarının eğimleri ve korelasyon değerleri 164
Çizelge 6.6. Sülfürik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi: Difüzyon modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları. 165
Çizelge 6.7. Sülfürik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi: Kimyasal modele ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları. 167
Çizelge 6.8. Katı/ sıvı oranının Ni çözünmesine etkisi: Difüzyon modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları. 168
Çizelge 6.9. Katı/ sıvı oranının Fe çözünmesine etkisi: Kimyasal modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları 171

Çizelge 6.9. Difüzyon modeli için deneylerden elde edilen üssel değerler 172
Çizelge 6.11. Kimyasal model için deneylerden elde edilen üssel değerler 172
Çizelge 6.12. Sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi: Difüzyon modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları. 175
Çizelge 6.13. Sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi: Kimyasal modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları 176
Çizelge 6.14. HCl liçing şartlarında çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) değerleri. 178
Çizelge 6.15. HCl liçing şartlarında sıcaklığa bağlı çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) değerleri 178
Çizelge 6.16. Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı çözünen Fe/Ni (mol/mol) oranlarının eğimleri ve korelasyon değerleri 179
Çizelge 6.17. Hidroklorik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi: Difüzyon modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları 181
Çizelge 6.18. Hidroklorik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi: Kimyasal modele ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları. 182
Çizelge 6.19. Difüzyon modeli için deneylerden elde edilen üssel değerler. 184
Çizelge 6.20. Kimyasal model için deneylerden elde edilen üssel değerler 184
Çizelge 6.21. Sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi: Difüzyon modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları 187
Çizelge 6.22. Sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi: Kimyasal modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları. 188
Çizelge 6.23. HNO_3 liçing şartlarında çözünen Fe(mol)/çözünen Ni(mol) değerleri 189
Çizelge 6.24. HNO_3 liçing şartlarında sıcaklığa bağlı çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) değerleri 190
Çizelge 6.25. Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı çözünen Fe/Ni (mol/mol) oranlarının eğimleri ve korelasyon değerleri 191
Çizelge 6.26. Nitrik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi: Difüzyon modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları 192
Çizelge 6.27. Hidroklorik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi: Kimyasal modele ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları 194
Çizelge 6.28. Difüzyon modeli için deneylerden elde edilen üssel değerler 196
Çizelge 6.29. Kimyasal model için deneylerden elde edilen üssel değerler 196

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Nikelin kullanım alanları	
Şekil 2.2. Nikel içerikli lateritik yatağın ideal oluşumu	10
Şekil 2.3. Lateritik nikel cevher kaynaklarının dünyadaki dağılımı	12
Şekil 2.4. Ferronikel ergitme için örnek akım şeması	21
Şekil 2.5. Basitleştirilmiş mat ergitme akım şeması	22
Şekil 2.6. Caron Prosesi akım şeması	
Şekil 2.7. Yüksek basınçlı asit liçi için genel akım şeması	24
Şekil 2.8. Manisa Çaldağ yığın liçi uygulaması	29
Şekil 2.9. Genel liç akım şeması (Habashi, 1982).	31
Şekil 2.10. Uranyum cevheri için yerinde liç (Habashi, 1982).	34
Şekil 2.11. Bakır cevheri için örnek bir yığın liçi uygulaması (Woods, 2004).	
Şekil 2.12. (a) Bir tepe yamacındaki hazırlıksız yığın liçi, (b) Çukur bir alandaki hazırlıksız yığın liçi (Canbazoğlu ve Girgin, 2001).	36
Şekil 2.13. Yığının tabakalar halinde hazırlanması (Girgin, 1989)	37
Şekil 2.14. (a) Dorr ajitatörü, (b) Pachuca tankı, (c) Denver ajitatörü	38
Şekil 2.15. Küçülen çekirdek ve küçülen partikül modelleri (Levenspiel, 1974)	40
Şekil 3.1. Bölgedeki lateritik cevherlerin zonlanma biçimi	45
Şekil 3.2. Lateritik nikel yatğının yerini gösterir harita	46
Şekil 3.3. Adatepe Fe-Ni-Co yatağından genel bir görünüm.	47
Şekil 3.4. Sarnıçtepe Fe-Ni-Co yatağından genel bir görünüm	47
Şekil 3.5.Belek Fe-Ni-Co yatağından genel bir görünüm	48
Şekil 3.6. Bölgeden genel bir görünüm	49
Şekil 4.1. Belek yöresi cevher numunesinin XRD sonuçları	52
Şekil 4.2. Deney düzeneğinin şematik gösterimi	53
Şekil 5.1. 3,35 mm altına kırılmış malzemenin kümülatif elek altı eğrisi	55
Şekil 5.2. Son üç öğütme evresinde elde edilen elek altı malzemesinin kümülatif elek altı eğrisi	56
Şekil 5.3. Multi gravite seperatör ile zenginleştirme deneyi Ni tenör ve verim grafiği	59
Şekil 5.4. Multi gravite seperatör ile zenginleştirme deneyi Fe tenör ve verim grafiği	60

Şekil 5.5. Multi gravite seperatör ile zenginleştirme deneyi Mg tenör ve verim grafiği 61
Şekil 5.6. Multi gravite seperatör ile zenginleştirme deneyi Co tenör verim grafiği 63
Şekil 5.7. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma Ni tenör ve verim grafiği 64
Şekil 5.8. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma Fe tenör ve verim grafiği. 65
Şekil 5.9. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma Mg tenör ve verim grafiği 67
Şekil 5.10 Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma Co tenör ve verim grafiği 68
Şekil 5.11. pH'ın Ni, Fe, Mg ve Co tenörüne ve verimine etkisi 69
Şekil 5.12. Toplayıcı cinsinin, Ni, Fe, Mg ve Co tenörüne ve verimine etkisi 73
Şekil 5.13.Canlandırıcı miktarının, Ni, Fe, Mg ve Co tenörüne ve verimine etkisi 74
Şekil 5.14. H_2SO_4 ortamında karıştırma hızının Ni çözünme verimine etkisi 76
Şekil 5.15. H_2SO_4 ortamında karıştırma hızının Fe çözünmesine etkisi 77
Şekil 5.16. Sülfürik asit derişiminin Ni çözünme verimine etkisi 79
Şekil 5.17. Sülfürik asit derişiminin Fe çözünme verimine etkisi 80
Şekil 5.18. H_2SO_4 ortamında sıcaklığın Ni çözünme verimine etkisi 81
Şekil 5.19. H_2SO_4 ortamında sıcaklığın Fe çözünme verimine etkisi 82
Şekil 5.20. H_2SO_4 ortamında tane boyutunun Ni çözünme verimine etkisi 84
Şekil 5.21. H_2SO_4 ortamında tane boyutunun Fe çözünme verimine etkisi. 85
Şekil 5.22. H_2SO_4 ortamında katı/sıvı oranının Ni çözünme verimine etkisi 86
Şekil 5.23. H_2SO_4 ortamında katı/sıvı oranının Fe çözünme verimine etkisi 87
Şekil 5.24. HCl ortamında karıştırma hızının Ni çözünme verimine etkisi 89
Şekil 5.25. HCl ortamında karıştırma hızının Fe çözünme verimine etkisi 90
Şekil 5.26. Hidroklorik asit derişiminin Ni çözünme verimine etkisi. 91
Şekil 5.27. Hidroklorik asit derişiminin Fe çözünme verimine etkisi 92
Şekil 5.28. HCl ortamında sıcaklığın Ni çözünme verimine etkisi 94
Şekil 5.29. HCl ortamında sıcaklığın Fe çözünme verimine etkisi 95
Şekil 5.30. HCl ortamında tane boyutunun Ni çözünme verimine etkisi 96
Şekil 5.31. HCl ortamında tane boyutunun Fe çözünme verimine etkisi 97
Şekil 5.32. HNO_3 ortamında karıştırma hızının Ni çözünme verimine etkisi 98
Şekil 5.33. HNO_3 ortamında karıştırma hızının Fe çözünme verimine etkisi 99

Şekil 5.34. HNO_3 ortamında sıcaklığın Ni çözünme verimine etkisi. 101
Sekil 5.35. HNO_3 ortamında sıcaklığın Fe çözünme verimine etkisi 102
Şekil 5.36. Nitrik asit derişiminin Ni çözünme verimine etkisi 103
Şekil 5.37. Nitrik asit derişiminin Fe çözünme verimine etkisi 104
Şekil 5.38. HNO_3 ortamında tane boyutunun Ni çözünme verimine etkisi 106
Şekil 5.39. HNO_3 ortamında tane boyutunun Fe çözünme verimine etkisi 107
Şekil 5.40. H_2SO_4 ortamında $K_2Cr_2O_7$ etkisinde sıcaklığın Ni çözünme verimine etkisi. 108
Şekil 5.41. H_2SO_4 ortamında $K_2Cr_2O_7$ etkisinde sıcaklığın Fe çözünme verimine etkisi. 109
Şekil 5.42. H_2SO_4 ortamında $K_2Cr_2O_7$ etkisinde sıcaklığın Mg çözünme verimine etkisi 110
Şekil 5.43. H_2SO_4 ortamında H_2O_2 etkisinde sıcaklığın Ni çözünme verimine etkisi 112
Şekil 5.44. H_2SO_4 ortamında H_2O_2 etkisinde sıcaklığın Fe çözünme verimine etkisi. 113
Şekil 5.45. H_2SO_4 ortamında H_2O_2 etkisinde sıcaklığın Mg çözünme verimine etkisi 114
Şekil 5.46. H_2O_2 etkisinde sülfürik asit derişiminin Ni çözünme verimine etkisi 116
Şekil 5.47. H_2O_2 etkisinde sülfürik asit derişiminin Fe çözünme etkisi 117
Şekil 5.48. H_2O_2 etkisinde sülfürik asit derişiminin Mg çözünme verimine etkisi 118
Şekil 5.49. H_2SO_4 ortamında hidrojen peroksit derişiminin Ni çözünme verimine etkisi. 119
Şekil 5.50. H_2SO_4 ortamında hidrojen peroksit derişiminin Fe çözünme verimine etkisi 120
Şekil 5.51. H_2SO_4 ortamında hidrojen peroksit derişiminin Mg çözünme verimine etkisi 121
Şekil 5.52. 2 M H_2SO_4+0.1 M H_2O_2+ 0.1 M $NaClO_3$ Ni çözünme verimine etkisi 123
Şekil 5.53. 2 M H_2SO_4+0,1 M H_2O_2+ 0,1 M $NaClO_3$ Fe çözünme verimine etkisi 124
Şekil 5.54. 2 M H_2SO_4+0,1 M H_2O_2+ 0,1 M $NaClO_3$ Mg çözünme verimine

etkisi 125
Şekil 5.55. 1 M H_2SO_4+1 M $NaClO_3$ Ni çözünme verimine etkisi 126
Şekil 5.56. 1 M H_2SO_4+1 M $NaClO_3$ Fe çözünme verimine etkisi 127
Şekil 5.57. 1 M H_2SO_4+1 M $NaClO_3$ Mg çözünme verimine etkisi 128
Şekil 5.58. 0,5 M H_2SO_4+0,5 M $Fe_2(SO_4)_3$ Ni çözünme verine etkisi 129
Şekil 5.59. Sülfürik asit ortamında Sodyum florür derişiminin Ni çözünme verimine etkisi 131
Şekil 5.60. Sülfürik asit ortamında sodyum florür derişiminin Fe çözünme verimine etkisi 132
Şekil 5.61. Sülfürik asit ortamında sodyum florür derişiminin Mg çözünme verimine etkisi 134
Şekil 5.62. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit derişiminin Ni çözünme verimine etkisi 135
Şekil 5.63. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit derişiminin Fe çözünme verimine etkisi 136
Şekil 5.64. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit derişiminin Mg çözünme verimine etkisi 137
Şekil 5.65. Sodyum forür (NaF) etkisinde sülfürik asit ortamında sıcaklığın Ni çözünme verimine etkisi 139
Şekil 5.66. Sodyum forür (NaF) etkisinde sülfürik asit ortamında sıcaklığın Fe çözünme verimine etkisi 140
Şekil 5.67. Sodyum forür (NaF) etkisinde sülfürik asit ortamında sıcaklığın Mg çözünme verimine etkisi 141
Şekil 5.68. 1 M HCl +1 M $NaClO_3$ Ni çözünme verimine etkisi etkisi 143
Şekil 5.69. 1 M HCl +1 M $NaClO_3$ Fe çözünme verimine etkisi 144
Şekil 5.70. 1 M HCl +1 M $NaClO_3$ Mg çözünme verimine etkisi 145
Şekil 5.71. 1 M HCl +1 M NaCl Ni çözünme verimine etkisi 146
Şekil 5.72. 1 M HCl +1 M NaCl Fe çözünme verimine etkisi 147
Şekil 5.73. 1 M HCl +1 M NaCl Mg çözünme verimine etkisi. 148
Şekil 5.74. 600 °C'de kavurma + 0,5 H_2SO_4 Ni çözünme verimine etkisi 149
Şekil 5.75. 700 °C'de kavurma +0,5 H_2SO_4 Fe çözünme verimine etkisi 150
Şekil 5.76. 700 °C'de kavurma +0,5 H_2SO_4 Mg çözünme verimine etkisi 151

Şekil 5.77. Kavurma-amonyak-amonyum karbonatın Ni çözünme verimine etkisi 153
Şekil 5.78. Solvent ekstraksiyon sonucunda elde edilen denge pH-organiğe alınan Ni miktarı (%). 154
Şekil 6.1. Farklı sıcaklıklarda H_2SO_4 liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği. 156
Şekil 6.2. Farklı sıcaklıklarda H_2SO_4 liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen film difüzyon model grafiği 157
Şekil 6.3. Farklı sıcaklıklarda H_2SO_4 liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği. 157
Şekil 6.4. H_2SO_4 ortamında Ni liçi için çizilen Arrhenius grafiği. 159
Şekil 6.5. Farklı sıcaklıklarda H_2SO_4 liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği. 160
Şekil 6.6. Farklı sıcaklıklarda H_2SO_4 liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen film difüzyon model grafiği. 160
Şekil 6.7. Farklı sıcaklıklarda H_2SO_4 liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği. 161
Şekil 6.8. H_2SO_4 ortamında Fe liçi için çizilen Arrhenius grafiği. 162
Şekil 6.9. Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı olarak çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) oranları. 164
Şekil 6.10. Farklı asit derişimlerinde H_2SO_4 liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği. 165
Şekil 6.11. Sülfürik asit derişiminin etkisi: $ln\ [H_2SO_4]$- $ln\ k_{dif}$ ilişkisi 166
Şekil 6.12. Farklı asit derişimlerinde H_2SO_4 liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği. 167
Şekil 6.13. Sülfürik asit derişiminin etkisi: $ln\ [H_2SO_4]$- $ln\ k_s$ ilişkisi 168
Şekil 6.14. Farklı katı/sıvı oranlarında H_2SO_4 liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği 169
Şekil 6.15. Katı/sıvı oranının etkisi: ln [Katı/sıvı]- $ln\ k_{dif}$ ilişkisi. 170
Şekil 6.16. Farklı katı/sıvı oranlarında H_2SO_4 liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği. 170
Şekil 6.17. Katı/sıvı oranının etkisi: etkisi ln [Katı/sıvı]- $ln\ k_s$ ilişkisi. 171

Şekil 6.18. Deneysel X değerlerine karşı ampirik X değerlerinin ilişkisi. 173
Şekil 6.19. Deneysel X değerlerine karşı ampirik X değerlerinin ilişkisi. 174
Şekil 6.20. Farklı sıcaklıklarda HCl asit liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği. 175
Şekil 6.21. HCl asit ortamında Ni liçi için çizilen Arrhenius grafiği. 176
Şekil 6.22. Farklı sıcaklıklarda HCl asit liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği. 177
Şekil 6.23. HCl asit ortamında Fe liçi için çizilen Arrhenius grafiği. 177
Şekil 6.24. Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı olarak çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) oranları. 179
Şekil 6.25. Farklı asit derişimlerinde HCl liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği. 180
Şekil 6.26. Hidroklorik asit derişiminin etkisi: *ln* [HCl]- *ln* k_{dif} ilişkisi 181
Şekil 6.27. Farklı asit derişimlerinde HCl liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği. 182
Şekil 6.28. Hidrokolorik asit derişiminin etkisi: *ln* [HCl]- *ln* k_s ilişkisi. 183
Şekil 6.29. Deneysel X değerlerine karşı ampirik X değerlerinin ilişkisi. 185
Şekil 6.30. Deneysel X değerlerine karşı ampirik X değerlerinin ilişkisi 185
Şekil 6.31. Farklı sıcaklıklarda HNO_3 asit liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği. 186
Şekil 6.32. HNO_3 asit ortamında Ni liçi için çizilen Arrhenius grafiği. 187
Şekil 6.33. Farklı sıcaklıklarda HNO_3 asit liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği. 188
Şekil 6.34. HNO_3 asit ortamında Fe liçi için çizilen Arrhenius grafiği 189
Şekil 6.35. Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı olarak çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) oranları. 190
Şekil 6.36. Farklı asit derişimlerinde HNO_3 liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği. 192
Şekil 6.37. Nitrik asit derişiminin etkisi: *ln* $[HNO_3]$- *ln*k_{dif} ilişkisi 193
Şekil 6.38. Farklı asit derişimlerinde HNO_3 liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği. 194
Şekil 6.39. Nitrik asit derişiminin etkisi: *ln* [HNO_3]- *ln* k_s ilişkisi. 195

Şekil 6.40. Deneysel X değerlerine karşı ampirik X değerlerinin ilişkisi. 197
Şekil 6.41. Deneysel X değerlerine karşı ampirik X değerlerinin ilişkisi. 197
Şekil 6.42. Liç işlemi sonucunda asit tüketimi ve verim grafiği. 199
Şekil 7.1. Karaçam (ESKİŞEHİR) lateritik nikel cevheri için önerilen zenginleştirme akım şeması 206

1. GİRİŞ

Nikel yerkabuğundaki değerli metallerden biri olup, uzun zamandan beri endüstride kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik, kimya ve uzay sanayilerinin gelişmesinde büyük önem taşıyan madendir. Ergime sıcaklığının yüksek olması, korozyona karşı yüksek direnç göstermesi, indirgeme katalizörü olarak kullanılması ve kolay alaşım yapması gibi özelliklere sahip olduğundan endüstride büyük öneme sahiptir.

DPT 2001 raporlarına göre, üretilen nikelin yaklaşık % 69'u paslanmaz çelik sanayinde kullanılmaktadır. Nikelin bilinen kullanım alanları oldukça geniştir. Bunların bazılarını sıralayacak olursak; kimyasal sanayi, elektrik ve makine sanayi, motor üretimi, madeni para yapımında, uçakların gaz tribünlerinde ve jet motorlarında nikel alaşımları kullanılmaktadır. Metalik nikel madenleri stratejik bir öneme sahip olduğundan zırhlı araçlarda, top ve mermi yapımında da önemli ölçüde kullanım alanına sahiptir (DPT, 2001).

Doğada demirle birlikte olmak üzere sülfürler, arsenürler ve silikatlar (Lateritik kökenli) şeklinde bulunmaktadır. Nikelin doğada bulunuş şekli, yataklanma tipleri ve jeolojik şartları göz önünde bulundurulduğu zaman; Türkiye nikel bakımından çok elverişli bir alana sahiptir. Nikelin içerisinde bulunduğu ultramafik kayaçlar ve asit plütonik kayaçlar ülkemizde büyük bir alana yayılmıştır. Bu nedenle; bu tür oluşumların incelenmesi ve nikelin ekonomik olarak yataklandığı yerlerin tespit edilmesi büyük önem arz etmektedir (Aslaner, 1979).

Günümüzde, nikel, sülfürlü ve lateritik cevherlerden üretilmekte olup; Dünyanın en önemli nikel oluşumları, lateritik cevherler içerisinde yer almaktadır. Nikel kazanımı, pirometalürjik ve hidrometalürjik yöntemlerle kazanılabilmektedir. Pirometalürjik yöntemler arasında, ferronikel ergitme mat ergitme prosesleri yer alırken, hidrometalürjik yöntemler arasında, basınçlı asit liçi ve Caron prosesi yer almaktadır (Göveli, 2006).

Bu çalışmada, Karaçam (ESKİŞEHİR) yöresinde bulunan 3 farklı bölgeden alınan nikel içerikli lateritik cevherleri kullanılmıştır. Fiziksel ve fizikokimyasal yöntemlerin uygulanması ve bond iş endeksinin belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bunun yanı sıra, sülfürik asit (H_2SO_4), hidroklorik asit (HCl) ve nitrik

asit (HNO_3) ve amonyak (NH_3) ortamında farklı reaktifler kullanılarak Ni, Fe ve Mg çözündürülmesine olan etkisi ve solvent ekstraksiyon ile Ni kazanımı araştırılmıştır. Elde edilen veriler yardımıyla, çözünme mekanizmalarının ve herbir parametrenin incelenen koşullarda çözünme hızını nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Bütün bu çalışmalar sonucunda, Karaçam (ESKİŞEHİR) lateritik nikel cevherinin zenginleştirme yöntemleri ile değerlendirilmeye alınması ve ekonomik olarak bir veya birkaç prosesin ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Nikel Hakkında Genel Bilgiler

Nikel, 1751'de İsveç'te Cronstedt tarafından keşfedilmiş olup XIX. yy'dan itibaren birçok ülkede, bakır ve nikel alaşımından para yapımında kullanılagelmiştir. İlk metalürjik tesis, 1824 yılında Avusturya'da Gersdorff tarafından kurulmuştur. Endüstrinin gelişmesi ile nikelin diğer metaller arasında yer alması, 1865 yılında Yeni Kaledonya'daki nikel yataklarının işletilmesiyle başlamış ve demirden sonra en fazla kullanılan metal haline gelmiştir (Caneb, 1970).

Nikel, korozyona ve ısıya dayanıklı, yüksek ergime sıcaklığı gibi üstün niteliklere sahip olması nedeniyle endüstride geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bunun yanı sıra Nikel – Krom – Demir alaşımları paslanmaz çelik olarak geniş kullanım alanı bulmaktadır. Bu alanda kullanılmasının nedeni ise; nikelin sahip olduğu iyi mekanik ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra korozyona karşı gösterdiği yüksek dirençtir. Nikel yüksek sıcaklıklarda kırılgan hale gelmez. Soğukta ferromanyetik olan nikel 370 ^{o}C'de bu özelliğini kaybeder. Tel ve levha haline getirilebilir. Toz halindeki nikel önemli indirgeme katalizörüdür. Örneğin sıvı yağların katılaştırılmasında bu özelliğinden yararlanılır (DPT, 2001).

Yapılan araştırmalar sonucu ortalama % 1 ve daha fazla nikel içeren dünya nikel kaynaklarının 140 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu kaynakların yaklaşık 84 milyon tonu lateritik, 56 milyon tonu ise sülfit kökenlidir (USGS, 2006).

2.1.1. Nikel mineralleri

Önemli nikel mineralleri arasında nikelin (NiAs), kloantit ($NiAs_2$), pentlandit [(Fe,Ni)S], millerit (NiS), annabergit [$(Ni)_3(AsO_4)_2 8H_2O$] yer almaktadır. Başlıca nikel mineralleri ve bulunuş şekilleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir (Aslaner, 1979).

Çizelge 2.1. Başlıca nikel mineralleri ve bulunuş şekilleri (Aslaner, 1979).

Mineral	Bileşim	Bulunuş
Avaruit	Ni_2Fe/Ni_3Fe	Serpantinleşmiş kayaçlar içerisinde bulunmaktadırlar. Magnetit ve pentlanditin yerini alabilmektedir. Pentlanditin oksidasyonu veya olivin ve enstatitin (nikel içeren) alterasyonu sonucunda oluşmaktadır.
Pentlandit	[(Fe,Ni)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	$(NiFe)_3S_4$	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)	$(Fe,Ni,Co)S_2$	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, Hipatermal filonlar halinde Ag, Co ve Bi ile beraber bulunmaktadırlar
Annabergit	$Ni_3 (AsO_4)_2 8H_2O$	Kobalt ve nikel içeren birincil mineralerin oksidasyon yüzeyinde ikincil mineral olarak bulunurlar.
Garnierit	$(Ni, Mg)_3 Si_2O_5 (OH)_4$	Serpantin gurubu minerallerden olup; ultramafik kayaçlar içerisinde orta derecede serpantinleşmiş peridotitler üzerinde kalıntı olarak oluşmaktadırlar.
Gersdorfit	NiAsS	Nikel kobalt mineralleri, muhtelif sülfürler, karbonatlar ve kuvars ile birlikte hipotermal alanlarda bulunurlar.

2.1.2. Nikelin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Nikel, 4 peryot 8B grubunda yer alan gümüş renginde ve parlaklığı ile bilinen bir geçiş elementidir. Bilindiği gibi kobalt ve demir ile beraber bulunmaktadır. Atom numarası 28, bağıl atom kütlesi 58,69'dur.

Nikel, doğada demirle birlikte olmak üzere sülfürler, arsenürler ve silikatlar şeklinde bulunmaktadır. Nikel kayaçların türüne göre değişim göstermekte olup, mafik kayaçlarda 130 ppm, ultramafik kayaçlarda 2000 ppm, granitik kayaçlarda 5 ppm, kireçtaşlarında 20 ppm, kumtaşlarında 2 ppm ve şeylerde 75 ppm dağılım göstermektedir (Özcan, 2006).

Nikel elementine ait genel özellikler Çizelge 2.2'de gösterilmiştir (El-Dahshan, 1996; Özdemir, 2006).

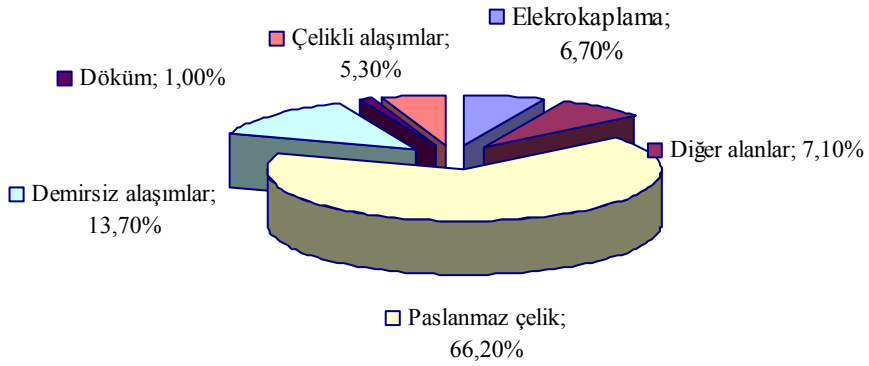
Çizelge 2.2. Nikel elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (El-Dahshan, 1996; Özdemir, 2006).

PARAMETRELER	ÖZELLİKLER
Sembol	Ni
Atom Numarası	28
Atom Ağırlığı	58,69
Atom Yarıçapı	$1,25 \times 10^{-10}$ m
Değerliği	2+
İzotopları:	Yarılanma süresi:
Ni^{56} Ni^{57} Ni^{59} Ni^{63} Ni^{65} Ni^{66}	6 gün 36 gün 10^5 gün 85 gün 2,6 saat 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

2.1.3. Nikelin kullanım alanları

Dünya'da üretilen nikelin yaklaşık % 67'si paslanmaz çelik sanayinde kullanılmaktadır. Nikel paslanmaz çeliğin içerisine ilave edildiği zaman, metalin korozyona karşı direncini oldukça artırmaktadır. Nikel metal ve alaşım olarak, kimyasal sanayinde, deniz suyu taşıma borularında, oldukça yüksek basınç altında olan motorlu taşıt aksamlarında ve para yapımında oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Nikel alaşımları, sıcaklığa ve yük altında kırılmaya karşı oldukça dayanıklıdır. Bu üstün özelliklerinden yaralanılarak, korozyon etkisi olan kimyasalların ve sıvı gazların taşınmasında ve depolanmasında kullanılmaktadır. Ayrıca, yüksek sıcaklıklara dirençli olmasından dolayı uçakların gaz türbinlerinde ve jet motorlarında nikelin alaşımları kullanılmaktadır Nikel stratejik bir öneme sahip olup, zırhlı araçlarda, top ve mermi yapımında da kullanılmaktadır. Tane boyutu toz ölçeğine getirilen nikel önemli indirgeme katalizörü olarak sıvı yağların ve sabunun katılaştırılmasında kullanılmaktadır (Göveli, 2006).

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 yataklarının oluşumu

Nikel mineralleri birçok jeolojik ortamda yatak ve kayaçların bileşimine girmektedir. Ancak, ekonomik nikel yatakları başlıca erken magmatik evre nikel sülfit cevherleşmeleri, hidrotermal nikel yatakları ve nikelli lateritler (kalıntı yatakları) olmak üzere üç şekilde bulunmaktadır.

2.1.4.1. Sülfürlü nikel yatakları

Sülfürlü nikel yatakları magmatik ortamda oluşan birincil nikel yataklarıdır (Reimann ve ark.,1999). Bu tip yataklanmalar, ultra bazik ve bazik magmatik kayaçların içinde yer almaktadır. Ultra bazik ve bazik magmalar demir ve tali olarak bakır, nikel platin grubu metaller bakımından zengindir. Magmanın soğuması sırasında bu metaller kükürtle birleşerek sülfit damlacıkları meydana getirirler. Magmanın içinde zenginleşen sülfit damlacıklar liküasyon (sıvı halde karışmazlık) süreçleri ile silikatlı kısımdan ayrılarak dibe çökerler. Böylece nikel, bakır ve platinoid metallerinin sülfit mineralleri ince seviyeler halinde yatak oluştururlar.

Gabrolarla ilişkili olan Ni-Sülfit yatakları yüksek Cu/Ni oranına sahiptirler. Bu tip Cu-Ni-Fe yataklarının oluşabilmesi için magmanın kükürtçe zengin olması ve soğuyan magmanın içinde oluşan sülfit damlacıklarının ani olarak çökelmesi gerekmektedir (Zedef, 2005). Bu yatakların oluşumu sırasında Ni daima bakır cevherinin üzerinde oluşmakta ve nadiren Co içermektedir (Gümüş, 1979).

Sülfürlü nikel cevherleri nikel içerikli pirotit (Fe_7S_8), petlandit ($(Ni,Fe)_9S_8$ 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 (Kalıntı) nikel yatakları

Lateritik yataklar yer kabuğunun üzerinde atmosfer veya hidrosferdeki olaylara yani dış kökenli olaylara bağlı olarak gelişen yataklardır. Fe, Ni, Co, Al, Mn

yatakları kalıntı olarak gelişirler. Ayrıca asbest, manyezit, kil tuğla, kiremit toprakları (terraroza) sepiyolit vb. yataklar kalıntı yatakları olarak gelişirler.

Bu tür yataklar içinde belirli bir cevher yığışımına sahip olmayan olağan kayaçların tamamen dış etkenlerle ayrışıp faydasız unsur gruplarının ortamdan uzaklaşarak faydalı mineral ve elementlerin toplanmasıyla oluşan yataklardır. Bu yatakların oluşumuna etken 3 faktör vardır. Bunlar:

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

Ferromağnezyen ve aliminosilikatlı kayaçlar ayrıştıklarında üst kısımlarında lateritik oluşumlar meydana getirirler. Ayrışan kayacın bileşimine göre ortaya çıkan lateritler:

a. Demirli lateritler

b. Alüminyumlu (Boksit) olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Alüminyumca fakir olan ultramafikler üzerinde gelişen lateritik oluşumlar hem demir yatağı özelliği gösterirler hem de nikel konsantrasyonları içerirler. Bol yağış alan bölgelerde ultramafiklerin fiziksel ve kimyasal ayrışması sonucu Mg, Si.. gibi elementler farklı yollar izleyerek ortamdan uzaklaşırken geride Fe, Ni, Co'ca zengin kısımlar kalır. Daha sonra demir hidroksit şeklinde çökelir. Ultramafikler üzerinde demirli oluşumlar başlar. Demirli lateritikler içerisine dağılarak büyük lateritik nikel yataklarını oluştururlar. Taşınan nikeller ise arit bölgelerde sedimenter nikel yataklarını oluştururlar. Ayrıca; bu gibi yataklarda %1-2 den %25-30'a kadar nikel zenginleşmesi olabilmektedir (Boyalı, 1984).

İklim ve oluşum yaşınına bağlı olarak 20 ile 150 m arasında lateritik nikel oluşumları gözlenmektedir. En önemli mineral oluşumları limonit (Fe,Ni)OOH ve garniyerit/saprolit ($(Ni,Mg)SiO_3.nH_2O$)'tir. Limonitli zonlar % 1-2 arasında nikel içerirken, saprolitli-garniyeritli zonlar % 1,5-3,5 arasında nikel içermektedirler (Zainol, 2005). Özetle, lateritik cevherleşmeler 4 ayrı zon içerirler.

1. Silisli zon: Limonit zonunun üstünü örten tepe noktalarında örtü tabakası olarak bulunurlar. Kalınlıkları 1-2 m veya 10-15 m'ye kadar çıkabilmektedir.

2. Limonitli, götitli, hematitli zon: Ayrışmış toprağımsı serpantinit zonunun üzerinde yer almaktadır. Çeşitli mağnezyum silikat bileşikleri içerirler. Demir, mağnezyum, nikel ve silika içerikleri orta düzeyde olduğu bilinmektedir. Kalınlıkları 1-2 m veya 50 m'ye kadar çıkabilmektedir.
3. Garniyerit zonu: Limonitli zonun altında yer alırlar. Mineralojik ve kimyasal içerikleri oldukça heterojen olarak dağılmıştır. Mağnezyum silikat ve nikel bakımından oldukça zengindir (Georgiou, 1995).

Nikel içerikli lateritik cevher yatağının ideal oluşumu ve derinliğe bağlı olarak, çeşitlilik göstermekte olan önemli element ve bileşik analizleri Şekil 2.2'de gösterilmiştir (Georgiou, 1995; Roorda ve ark., 1973).

2.1.4.3. Hidrotermal nikel yatakları

Bu tip yataklar, ultramafik kayaçları kesen genç plütonik ve volkanik kayaçlar içerisinde oluşmuş, genellikle damar tipi, rezervleri küçük tenörleri yüksek yataklardır. Genç mağmatik yataklarla ilişkili olan hidrotermal çözeltilerin veya kayaçların yakınında bulunan ısınmış yüzeysel kökenli suların çevresindeki ultramafik kayaçlardan çözdükleri nikeli kırık ve çatlaklar boyunca yeniden çökeltmeleri sonucu oluşmuş yataklardır (Gökçe, 1995).

Metamorfizma sahalarında oluşan bazı nikel cevherleşmelerinin, metamorfizma sırasında oluşan hidrotermal çözeltilerce yan kayaçlardan nikelin yıkanması ile zenginleştirilmesi şeklinde oluştukları belirtilmektedir (Jensen ve Bateman, 1981).



	Ortalama analiz değerleri (%)			
	Ni	Co	Fe	MgO
Silisli Kabuk	< 0,8	< 0,1	> 50	< 0,5
Nikel içerikli Limonit,hematit Götit zonu Silisli Kabuk	0,8-1,5	0,1-02	40-50	0,5-5
Geçiş Zonu	1,5-1,8	0,02-01	25-40	5-15
Saprolitli/ Garnieritli Zon Altere Peridotitler	1,8-3	0,02-0,1	10-25	15-35
Altere olmamış peridotitler	0,25	0,01-0,02	0,2-0,1	35-45

Şekil 2.2. Nikel içerikli lateritik yatağın ideal oluşumu (Georgiou, 1995; Roorda ve ark., 1973)

2.2. Dünya'da ve Türkiye'de Nikel Madenciliği

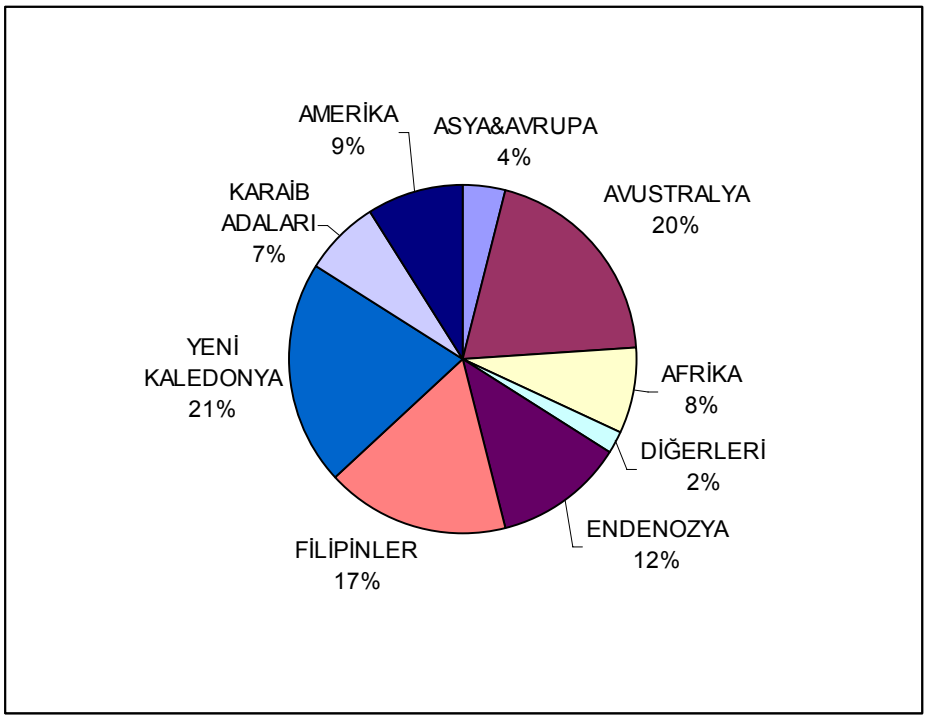
2.2.1. Dünya'da nikel yatakları ve rezervleri

%1 ve daha fazla nikel tenörüne sahip olan nikel yataklarının toplam rezervi yaklaşık olarak 140 milyon ton olarak bilinmektedir. Bu yatakların % 60'ını lateritik, % 40'ını ise sülfürlü yataklar oluşturmaktadır. Dünya nikel rezervinin toplamı (metal içeriği) 64 milyon ton, baz rezervleri toplamı 140 milyon tondur. Rusya, Avustralya, Kanada, Yeni kaledonya ve Endenozya Dünya nikel rezervinin % 70'ine sahiptirler. Nikel rezervine en çok sahip olan ülkelerin rezerv ve baz rezervleri Çizelge 2.3'de verilmiştir (USGS, 2007).

Çizelge 2.3. Bazı ülkelerin nikel rezerv ve baz rezervleri (USGS, 2007).

Ülke	Rezerv (ton)	Baz Rezerv (ton)
Avustralya	24.000.000	27.000.000
Botsvana	490.000	920.000
Brezilya	4.500.000	8.300.000
Kanada	4.900.000	15.000.000
Çin	1.100.000	7.600.000
Kolombiya	830.000	1.100.000
Küba	5.600.000	23.000.000
Dominik Cumhuriyeti	720.000	1.000.000
Yunanistan	490.000	900.000
Endenozya	3.200.000	13.000.000
Yeni Kaledonya	4.400.000	12.000.000
Filipinler	940.000	5.200.000
Rusya	6.600.000	9.200.000
Güney Afrika	3.700.000	12.000.000
Venezuella	560.000	630.000
Zimbabve	15.000	260.000
Diğer Ülkeler	2.100.000	5.900.000
Toplam	64.000.000	140.000.000

Dünyada rezerv bakımından birinci sırayı 27 milyon ton ile Avustralya alırken, lateritik tip yataklar bakımından ise, % 21 ile Yeni Kaledonya birinci sırada almaktadır. Lateritik cevher kaynaklarının % 70'i limonit içerirken % 30'u silikat içermektedir. Dünya lateritik nikel yataklarının dağılımı Şekil 2.3.'de gösterilmiştir (Dalvi ve ark., 2004).



Şekil 2.3. Lateritik nikel cevher kaynaklarının dünyadaki dağılımı (Dalvi ve ark., 2004).

2.2.2. Dünya'da nikel üretimi

Dünya nikel madeni üretimi Çizelge 2.4'de verilmiştir. Dünya nikel maden üretimi 2005 yılında 1.490.000 ton, 2006'da ise 1.550.000 ton olarak gerçekleşmiştir. Nikel madeni üretimi bakımından ilk beş sırayı, Rusya, Kanada, Avustralya, Endenozya ve Yeni Kaledonya almıştır (USGS, 2007).

Çizelge 2.4. Dünya nikel madeni üretimi (USGS, 2007).

Ülke	Maden Üretimi (ton)	
	2005	2006
Avustralya	189.000	191.000
Botsvana	28.000	28.000
Brezilya	52.000	74.200
Kanada	198.000	230.000
Çin	77.000	79.000
Kolombiya	89.000	90.000
Küba	72.000	73.800
Dominik Cumhuriyeti	46.000	46.000
Yunanistan	23.200	24.000
Endenozya	160.000	145.000
Yeni Kaledonya	112.000	112.000
Filipinler	26.600	42.000
Rusya	315.000	320.000
Güney Afrika	42.500	41.000
Venezuella	20.000	20.000
Zimbabve	9.500	9.000
Diğer Ülkeler	25.000	25.000
Toplam	1.490.000	1.550.000

Dünyada birincil nikel üretimi yıllara göre Çizelge 2.5'de verilmiştir (INSG, 2007). Dünyada birincil nikel üretimi 1997 yılında toplam, 1.017.600 ton iken, 2006 yılında ise 1.356.600 ton olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2.5. Dünya'da birincil nikel üretimi (INSG, 2007).

Birincil nikel üretimi *('000 ton)*	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Afrika	52,5	53,9	53,4	50,2	52,9	55,0	54,0	54,8	55,5	56,0
Amerika	257,5	264,1	238,5	253,0	274,1	290,5	281,4	313,1	309,9	324,5
Asya	178,3	175,1	187,7	221,8	213,5	220,3	238,9	249,5	271,1	303,5
Avrupa	411,3	424,5	419,2	403,1	445,5	433,7	451,4	468,5	485,3	503,1
Okyanusya	117,9	124,1	124,7	154,5	174,0	180,7	166,5	166,3	177,5	169,4
Toplam	1.017,6	1.041,7	1.023,5	1.082,5	1.160,0	1.180,2	1.192,2	1.252,1	1.299,3	1.356,6

Dünyada birincil nikel kullanımı yıllara göre Çizelge 2.6'da verilmiştir (INSG, 2007). Dünyada birincil nikel kullanımı 1997 yılında toplam, 1.016.400 ton iken, 2006 yılında ise 1.400.600 ton olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2.6. Dünya'da birincil nikel kullanımı (INSG, 2007).

Birincil nikel üretimi *('000 ton)*	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Afrika	31,0	31,2	33,2	32,2	31,2	35,9	45,5	45,5	32,0	42,0
Amerika	185,3	183,2	193,4	193,3	170,7	159,7	159,0	164,6	173,7	183,9
Asya	409,2	377,0	430,4	465,0	441,5	501,2	550,4	579,6	592,1	682,5
Avrupa	389,0	415,7	422,5	430,1	458,4	476,0	461,0	454,3	447,2	489,2
Okyanusya	1,9	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	2,7	2,0	2,8	2,9
Toplam	1.016,4	1.009,2	1.081,6	1.122,6	1.103,8	1.174,8	1.218,6	1.245,9	1.247,8	1.400,6

2.2.3. Türkiye'de nikel yatakları ve rezervleri

Ülkemizde hem lateritik hem de sülfit tipi nikel cevherleşmeleri bulunmaktadır. Türkiye'deki belli başlı lateritik nikel yatakları, Manisa-Turgutlu-Çaldağ, Manisa-Gördes, Uşak-Banaz, Eskişehir-Mihalıççık-Yunusemre ve sülfit yatakları ise, Bitlis-Pancarlı, Bursa-Orhaneli-Yapköydere, Sivas-Divriği-Gümüş olarak bilinmektedir (DPT, 2006).

Ayrıca, bu yatakların dışında Bolu-Mudurnu-Akçalan ve Hatay-Payas-Dörtyol nikel yatakları bulunmaktadır. Türkiye'deki nikel rezervleri Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Türkiye nikel rezervleri (DPT, 2006).

Yeri	Tipi	Tenör (%)	Görünür+Muhmemel Rezerv (ton)	Mümkün Rezerv (ton)	Toplam Rezerv (ton)
Manisa-Çaldağ	Lateritik	1,14	37.900.000	-	37.900.000
Manisa-Gördes	Lateritik	>1	68.500.000	-	68.500.000
Bursa-Yapköy	Sülfit	1-4	82.000	81.000	163.000
Bitlis-Pancarlı	Sülfit	1,41	-	15.500	15.500
Toplam			106.482.000	96.500	106.578.500

2.2.3.1. Manisa-Turgutlu-Çaldağ nikel yatağı

Çaldağ lateritik demir, nikel-kobalt yatağı Manisa İli, Turgutlu İlçesi'nin yaklaşık 25 km kuzeyinde bulunmaktadır. Ayşekızı Tepesi'nin güneyinde, lateritik demir, nikel-kobalt yatakları yaklaşık 2 km^2'lik bir alana sahiptirler. Bu bölgede bulunan kayaçlar Paleozoyik, Mesozoyik ve Tersiyer yaşlıdırlar (Oğuz, 1967).

Peridotitler ve taze serpantinitler, Turekian ve Wedepohl (1961)'e göre ortalama, % 0,2 Ni, % 0,015 Co; Vinogradov (1962)'ye göre % 0,2 Ni, % 0,02 Co içermektedirler.

Manisa Çaldağ yatağı, % 1,14 Ni ve % 0,05 Co içermekte olup yaklaşık 40 milyon ton rezerve sahiptir. Yatak yüzeye çok yakın ve açık ocak madenciliği ile kolaylıkla işletilebilinecek konumdadır. Üstüne üstlük sülfirik asit ile de liç edilebilecek özellikte ve ekonomik ömrü ise 16 yıl olarak öngörülmektedir (http://www.enickel.co.uk).

2.2.3.2. Manisa-Gördes nikel yatağı

Nikel yatakları, Manisa ili sınırları içerisinde, Akhisar ve Gördes ilçeleri arasında, Fundacık, Kalemoğlu ve Çiçekli köyleri kıyısında yer almaktadır. Analizler neticesinde yarmaların birçoğunun Ni tenörünün %1 'in altında olduğu, daha yüksek, örneğin % 1,23-% 2,80-% 2,99-% 10,24 vb gibi, tenörlerin silika şapkalarının altında ya da laterit oluşumunun daha derin kısımlarında olduğu belirtilmiştir. MTA tarafından yapılan, çalışmalar sonucunda 5,3 km² alan içerisinde %1 ve üzerinde Ni içeren 68,5 milyon tahmini rezerv olduğu saptanmıştır. Yüksek Ni içerikleri genel de limonitli zonda yer almakta ve ana nikelce zengin mineral olan garniyeritler de görülmektedir (http://www.metamaden.com).

2.2.3.3. Eskişehir-Mihalıççık-Yunusemre nikel yatağı

Nikel yatakları, Eskişehir sınırları içerisinde, Mihalıççık ve Sivrihisar-Yunusemre ilçeleri arasında, Dürmek, Karaçam, Dumluca köyleri araşında yer almaktadır. Silisli lateritik zonlar ve ayrılmış serpantinler izlenmektedir. Silisli kabuk, limonitli götitli zon, ayrışmış serpantin ve serpantinler sırasıyla yer almaktadır.

MTA tarafından yapılan çalışmalarda, Karaçam bölgesinde, Adatepe, Sarnıçtepe ve Karasivri de yapılan araştırmalar sonucunda % 1-4 Ni ve % 0,2-0,3 Co

değerlerine rastlanmıştır. Yaklaşık sahanın 50 km^2'lik alanının nikel ve kobalt açısından da oldukça ilginç olduğu belirtilmektedir (Boyalı, 1984).

2.2.3.4. Uşak-Banaz nikel yatağı

Nikel yatakları, Uşak ili sınırları içerisinde, Banaz ilçesi Murat Dağı yakınlarında yer almaktadır. MTA tarafından, Türkiye'nin ilk lateritik nikel potansiyeli bu bölgede keşfedilmiştir. META madencilik 2.480 hektarlık arama ruhsatına sahiptir (http://www.metamaden.com).

2.2.3.5. Bitlis-Pancarlı nikel yatağı

Bitlis masifinin, metamorfizması sonucunda Pancarlı Ni-Cu yatakları oluşmuştur (Çağatay, 1987).

Tatvan –Pancarlı ve Bitlis-Pancarlı (Kavakbaşı) olmak üzere iki farklı nikel oluşumu yer almaktadır. Sülfit türü olan bu yataklanmalar da, Tatvan-Pancarlı'da % 1,34 Cu, %2-3 Ni 15.500 ton mümkün rezerve sahiptir. Bitlis-Pancarlı'da % 1-4 Ni içermekte ve rezervininde, 120.000 ton olduğu tahmin edilmektedir.

2.2.3.6. Bursa-Orhaneli-Yapköydere nikel yatağı

Oluşumu hidrotermal olarak bilinen sülfit tipi yataklanmalardan birisidir. Ultrabazik, granadorit formasyonları nikelin ilişkili olduğu söylenilmektedir. % 1-4 nikel içermekte ve 99.200 ton görünür+muhtemel, 81.000 ton mümkün rezerv olduğu tahmin edilmektedir (MTA, 2000).

2.2.3.7. Hatay-Payas-Dörtyol nikel yatağı

% 25-35 yer yer % 55-63 Fe tenörüne sahip olan lateritik nikel yataklanması, % 0,004- 1,57 arasında değişen miktarlarda Ni değerine sahiptirler. Yatağın, 6,1 milyon ton görünür, 12 milyon ton mümkün rezervi tespit edilmiştir (http://atlas.cc.itu.edu.tr/~gultekin/Kalinti.htm).

2.2.4. Türkiye'de nikel üretimi

Ülkemizde ise % 1,14 Ni ve % 0,05 Co içeren Manisa-Çaldağ yatağının yaklaşık 40 milyon ton rezerve sahip olduğu bilinmektedir. Üretime 2007 yılında başlanacağı ve 2009 yılının sonlarında ise 50.000 ton nikel üretileceği bilinmektedir (http://www.enickel.co.uk/).

Ayrıca; Ülkemiz'de nikel madenciliği üzerinde çalışmalar hızla ilerlemekte, Gördes Nikel madeninde hali hazırda üretim devam etmektedir. Arama ve geliştirme çalışmalarını takiben Meta Madencilik 2005 yılının mayıs ayında ilk üretimine başlamış olup, ilk 4 aylık dönemde 50.000 ton nikel cevheri üretimi gerçekleştirilmiş ve bu cevher Yunanistan ve Makedonya ya ihraç edilmiştir. Bunun yanı sıra Meta madencilik Eskişehir ve Uşak'ta nikel, arama faaliyetlerine devam etmektedirler. Meta madencilik ve GMM Larco SA (Yunanistan) arasında yapılan anlaşma sonucunda, lateritik nikel cevheri üretimi için deneme ocağı açılmasına başlanmıştır. 1 Ağustos 2003'te başlayan ve 20 Ekim 2003'e kadar devam eden üretim çalışmaları sonucunda, yaklaşık 7.500 ton demirli nikel cevheri üretimi gerçekleştirmişlerdir. % 1,37 Ni ve % 0,08 Co içeren cevherin, yaklaşık 7.000 tonu elenerek İzmir limanından, Yunanistan'ın GMM Larco SA ve Makedonya'nın FENI ferronikel üretim fabrikalarına ihraç edilmiştir. Bu fabrikalarda doğrudan ferronikel üretiminde kullanılmıştır (http://www.metamaden.com).

2.3. Nikel Cevherini Zenginleştirme Yöntemleri

2.3.1. Fiziksel yöntemler

Metalce zengin konsantre kazanımı için, sülfürlü nikel cevherlerine manyetik ayırma uygulanabilmektedir. Örneğin; pirotinin ferromanyetik özelliğinden yararlanılarak petlandit ve kalkopiritten ayrılması mümkün olabilmektedir (Toguri, 1975).

Bunun yanı sıra lateritik cevherlerden nikel kazanımı için bazı çalışmalar yapılmış olup; Göktaş (2007), Manisa Çaldağ lateritik cevherlerinden nikel kazanımı için ön konsantre elde etmek için sallantılı masa, jig manyetik ayırma yöntemlerini

uygulamıştır. Russell elekle -1+0,5, -0,5+0,3, -0,3+0,1, -0,1+0,063,-0,063 mm fraksiyonlarına ayırarak sallantı masaya verilmiştir.

Manyetik zenginleştirmeye tabi tutulmak için -1+0,5, -0,5+0,3, -0,3 + 0,1 ve -0,1 mm fraksiyonlarına ayırmış ve +2 mm boyutundaki malzeme elde etmek amacıyla jig kullanmıştır.

Amil ve ark., (2006), Muğla civarından nikelce zengin cevherler üzerinde çalışmışlardır. Çalışmanın bir tanesinde, Knelson gravite ayırıcısı kullanmışlardır. Su basıncının etkisini inceleyerek Ni kazanım verimini belirlemişlerdir.

2.3.2. Fizikokimyasal yöntemler

Genellikle, % 0,3-0,5 Ni tenörlü sülfürlü nikel cevherlerinin değerlendirilebilmesi için ön zenginleştirmeye tabii tutularak, % 4-12 Ni tenörüne ulaştırılmaktadır. Pirotinli cevherler dışında flotasyonla zenginleştirme yapılmaktadır. Nikel cevheri içerisinde bulunan Cu, Co, Pt grubu metaller Au, Ag gibi elementler, yan ürün olarak elde edilmesi halinde cevherin ekonomik değerini arttırmak mümkün olabilmektedir.

Sirkeci ve ark., (2006), Sivas-Divriği demir tesisindeki yıllık 600.000 ton artığın içerisindeki Cu, Ni ve Co zenginleştirilmesine çalışmışlardır. Deneylerde, Denver flotasyon hücresi kullanarak, tane boyutunun, pH'ın, kolektör cinsinin ve miktarının etkisi üzerinde durmuşlardır. Canlandırıcı $CuSO_4$, bastırıcı Na_2SiO_3, köpürtücü olarak çam yağı kullanarak; % 25 katı/sıvı oranında 1500 dev/dk hızında flotasyon deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarda, potasyum amil ksantat (KAX) ve AERO 347 kollektörleri kullanılmıştır.

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

Hana Mining Company, Ohio, lateritik nikel cevherleri üzerinde, % 50 katı-sıvı oranında, sodyum silikat, yağ asidi, sodyum hidroksit, kullanılarak flotasyon çalışmaları yapmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, nikel minerallerinin pH 7'in altında battığı ve pH 8 civarında ise flotasyon işleminin gerçekleştiği ileri sürülmüştür (http://patents1.ic.gc.ca).

2.3.3. Kimyasal yöntemler

Ferronikel ergitme, mat ergitme, basınçlı asit liçi ve Caron prosesi (Kavurma -amonyak liçi), lateritik nikel cevherleri için kullanılan önemli 4 ticari yöntemler arasında yer almaktadır (Zainol, 2005).

Nikel kazanımı, pirometalürjik ve hidrometalürjik olmak üzere 2 yöntem ile gerçekleştirilmektedir. Pirometalürjik yöntemler arasında, ferronikel ergitme mat ergitme prosesleri yer alırken, hidrometalürjik yöntemler arasında, basınçlı asit liçi ve Caron prosesi yer almaktadır.

Ferronikel ve mat ergitme prosesleri, magnezyum ve silikatça zengin cevherlerden (garnierit-saprolit) nikel kazanmak için kullanılmaktadır. Geçiş zonlarındaki, magnezyum, silikat ve demir oksit içeren cevherler için ise Caron Prosesi uygulanmaktadır. Limonit içerikli demir oksitler için ise yüksek sıcaklık ve basınç altında asit liçi yöntemi uygulanmaktadır (Zainol, 2005).

Genellikle, lateritik (kalıntı) cevherler için proses seçimi cevherin mineralojisine bağlı olup, demir, silikat ve magnezyum birincil gang elementleri olarak ifade edilmektedir (Taylor, 1997).

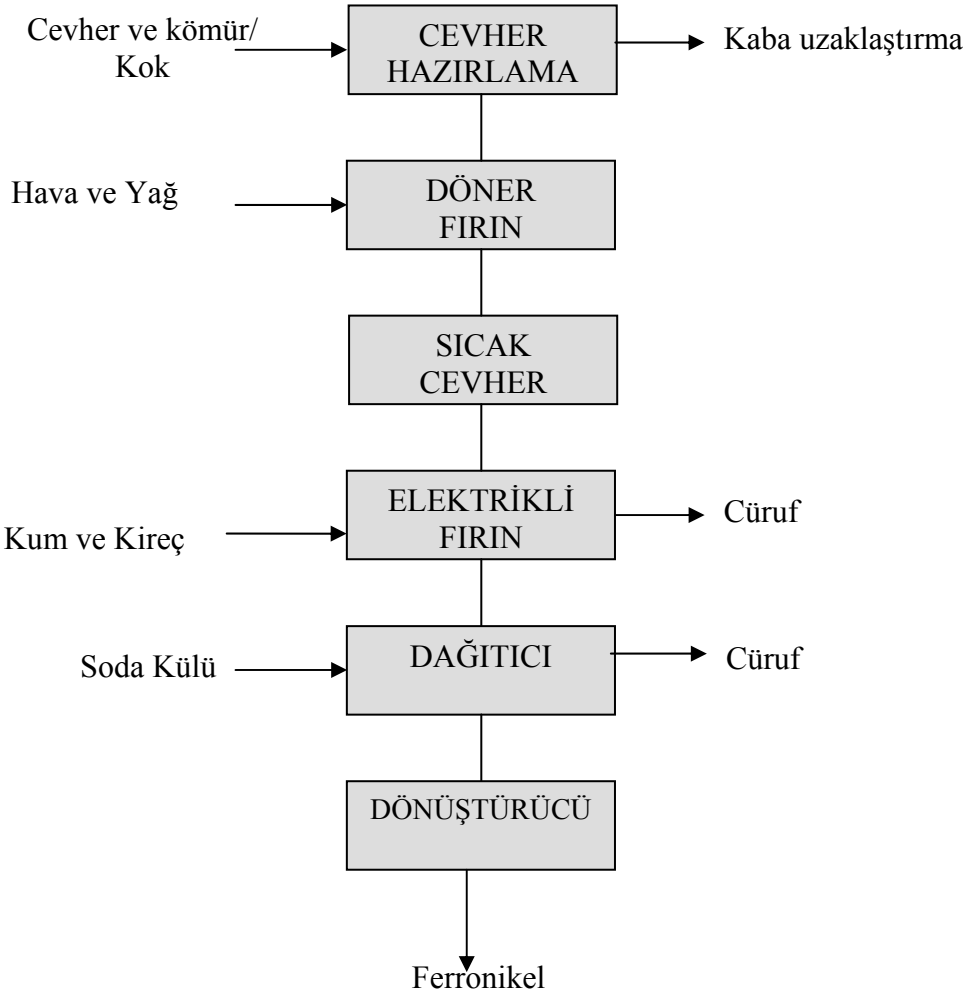
2.3.3.1. Ferronikel ergitme

Yüksek MgO (%15-28) ve düşük Fe (% 13-20 içeren saprolitik cevherler için tercih edilen bir yöntemdir. İstisna olarak, Yunanistan'ın Largo tesislerinde düşük tenörlü limonit içeren cevherlerde ise; (% 3 MgO, % 38 Fe) ferronikel ergitme yöntemi uygulanmaktadır (Taylor, 1997; Zainol, 2005).

Lateritik cevherlere uygulanan pirometalürjik bir proses, kurutma, indirgeme ve ergitme aşamalarından oluşmaktadır (Lanagan, 2002). Ferronikel ergitme prosesi için tipik bir akım şeması Şekil 2.4'de gösterilmiştir (Monhemius, 1987; Reid, 1996; Taylor, 1997; Zainol, 2005).

Cevher, kok veya kömür ile homojen bir şekilde karıştırılıp kurutulur. Sıcaklığı 900-1000°C olan bir döner fırın içerisinde kavrulur. İndirgenmiş % 60-70 demir ve nikelin tamamı, 1150 °C civarında ergitilir. İndirgenmeyen Fe, Mg ve Si bir kısımda toplanır. Saflaştırma işlemi için, sülfürün, karbonun, silikanın ve fosfatın taşınması gereklidir. Sülfür, soda külü ve kireç yada kalsiyum karbit eklenerek

taşınabilmektedir. Cüruf olarak ise, Na-S yada Ca-S oluşmaktadır. Daha sonra, ergitilmiş ve sülfürden uzaklaştırılmış ferronikel saflaştırılır. Silika, krom ve fosfor dönüştürücü kısımdan cüruf olarak ayrılırken; karbon, karbon monoksit olarak açığa çıkmaktadır. Sonuçta, bütün evreler tamamlandığında ferronikel alaşımı oluşmaktadır (Zainol, 2005).

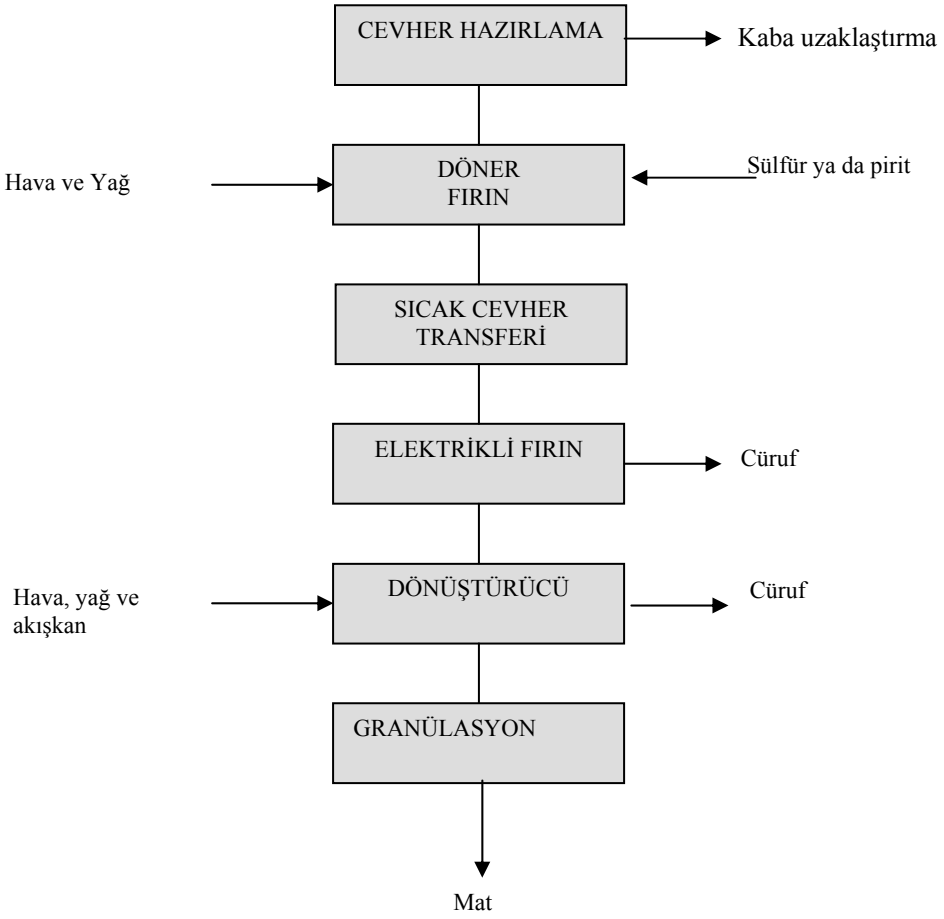


Şekil 2.4. Ferronikel ergitme için örnek akım şeması (Monhemius, 1987; Reid, 1996; Taylor, 1997; Zainol, 2005).

2.3.3.2. Mat ergitme

Genellikle yüksek tenörlü magnezyumca zengin saprolit cevherlerine uygulanmaktadır. Fırındaki indirgenen cevhere kükürt eklenmesi dışında bu proses ferronikel ergitmesi için kullanılan yönteme benzerdir. Kükürt ya element formda ya da nikel ve demir sülfitler oluşturan, metalle reaksiyon yapan pirit formunda

eklenmektedir. Elektrik fırınında oluşan ergitme, nikel ve demirli bir sülfit matına çevirmekte, magnezyum ve silikat oksitleri içeren bir cüruf oluşturmaktadır. % 30-35 Ni, % 50-60 Fe ve % 9-12 S içeren ham mat, üflenen hava ile demir oksit formunda bir cüruf ve % 77-78 Ni, % 0,5-0,6 Fe, % 21-22 S sonuç ürününe dönüşür (Monhemius, 1987; Zainol, 2005). Mat ergitme yöntemi için basitleştirilmiş bir akım şeması Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Basitleştirilmiş mat ergitme akım şeması (Monhemius, 1987;Zainol, 2005).

2.3.3.3. İndirgeme-Kavurma, Amonyak Liçi:Caron Prosesi

Lateritik oksit cevherleri, nikel ve kobaltın önemli birincil kaynaklarından birisidir (Han ve Meng, 1993; Moskalyk ve Alfantazi, 2002). Caron prosesi lateritik tip cevherlerden nikel ve kobalt ekstraksiyonu için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Caron, 1950).

Bu proses, 1920'li yıllarda keşfedilmesine rağmen 1944 yılına kadar ticari olarak kullanılmamıştır (Reid, 1996, Lanagan, 2002). Caron prosesi, yüksek demir içeren limonitik cevherler ya da limonit ve saprolit karışımı cevherler için

uygulanabilmektedir (Monhemius, 1987; Reid, 1996; Dalvi ve ark., 2004; Zainol, 2005; Göveli, 2006).

Kurutma ve öğütme, indirgeme-kavurma, amonyak liçi ve metal kazanımı aşamalarını kapsamaktadır (Monhemius, 1987 Reid, 1996, Zainol, 2005).

İlk olarak, cevherin su içeriğinin % 30-50'den % 2-3'e düşürülmesi için direkt olarak döner fırında kurutma işlemine tabi tutulur. Bu işlemin ardından, cevher değirmende yaklaşık 74 μm oluncaya kadar öğütülür. Öğütülen cevher sonra, kavurma işlemine tabii tutularak 850°C bir indirgeyici gaz veya fuel-oil ile indirgenir.

Kavurma reaksiyonu Monhemius (1987) tarafından

$$NiO+ 2Fe_2O_3+3H_2 \rightarrow FeNi+Fe_3O_4+3H_2O \qquad [2.1]$$

olarak tanımlanmıştır.

Kavrulmuş cevher, 150-200 °C'de soğuma işlemine tabii tutulur. Amonyum karbonat veya amonyak içerisinde liç işlemi gerçekleştirilir. Amonyak ile nikel ve kobalt, kompleks bir bileşik oluştururken, Fe çözelti içerisinde kararlı kalmaktadır. Fe oksitlendiği zaman ise hidroksit olarak çökelmektedir.

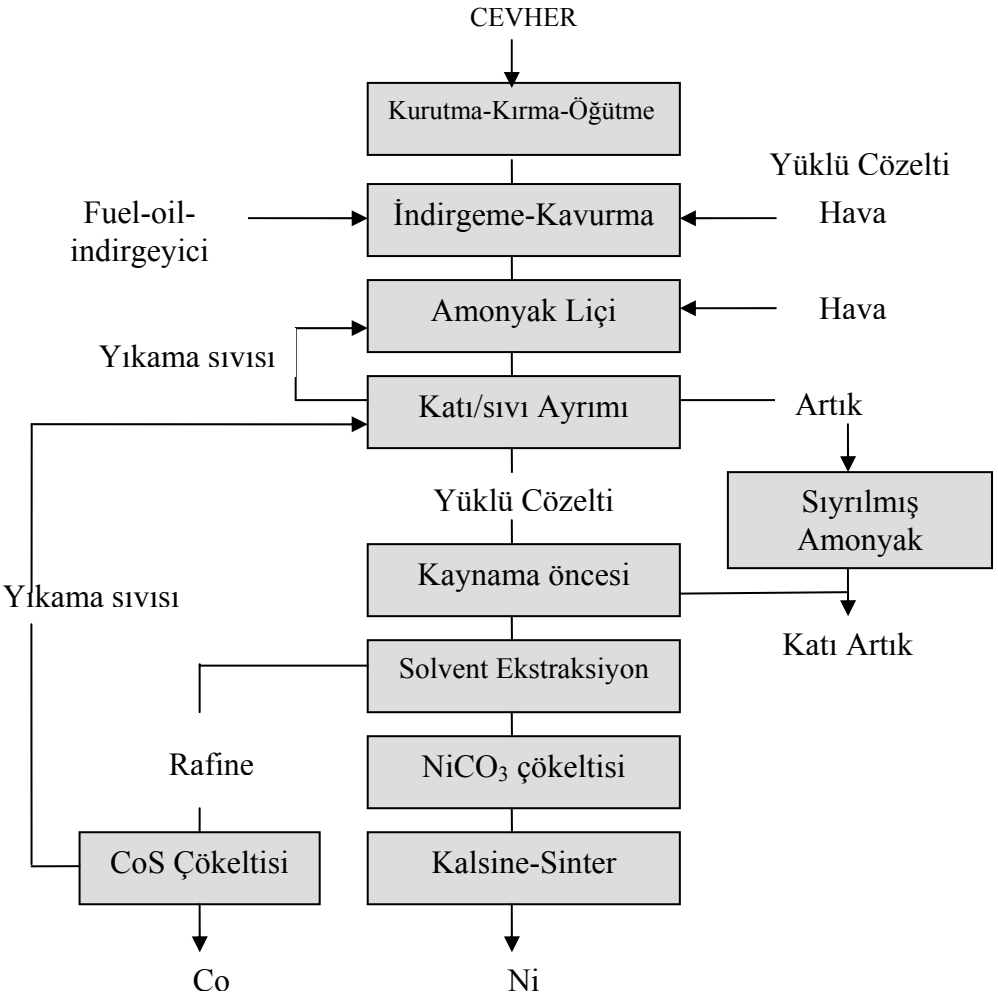
Jansen (1997), amonyak liçinin içerdiği reaksiyonları ise;

$$Ni+1/2O_2+H_2O+4NH_3+ (NH_4)_2CO_3 \rightarrow Ni(NH_3)_6\ CO_3 \qquad [2.2]$$

$$Fe+3/4O_2+3/2H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 \qquad [2.3]$$

olarak tanımlanmıştır.

Yüklü liç çözeltisi bir seri yıkama basamaklarından geçtikten sonra boş katılardan ayrılır. Nikel buhar yoluyla temel nikel karbonat olarak kazanılırken sülfit çökelmesiyle kobalt kazanılmaktadır (Monhemius, 1987). Caron prosesi için geliştirilmiş akım şeması Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Caron Prosesi akım şeması (Monhemius, 1987).

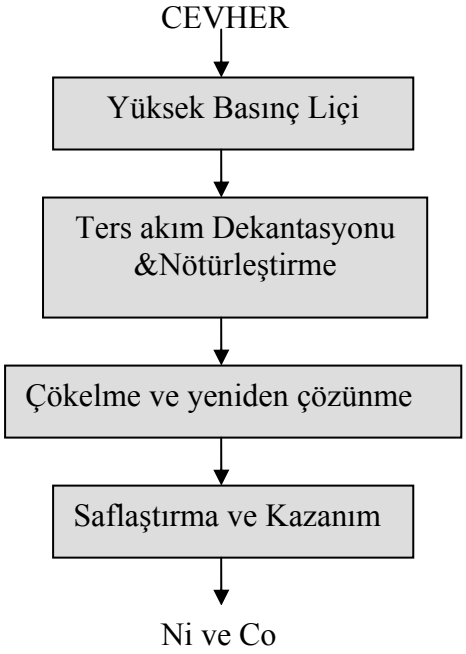
2.3.3.4. Basınçlı asit liçi

Direkt sülfürik asit liçi, limonit içerikli laterit cevherlerden kobalt ve nikeli kazanmak için uygulanan yöntemlerden birisidir. Yüksek demir ve düşük magnezyum içerikli limonitik cevher içerisinde alüminyum, krom ve silikatlar bulunabilmektedir (Chalkey ve Toirac, 1997).

Bu cevherler genellikle % 1,1-1,4 Ni, % 0,1-0,2 Co içermekte ise 250-280 °C sıcaklıkları arasında direkt sülfürik asit liçi uygulamak mümkün olabilmektedir (Rubisov ve Papangelakis, 2000).

Bütün modern işletmelerde, basınçlı asit liçi uygulamalarında hem punçka tankı hem de titanyumlu otoklavlar kullanılmaktadır. Liç sıcaklıkları 245-275 °C arasında değişmektedir. Katı sıvı ayrımı ters akım dekantasyonu (CCD) ile

gerçekleştirilmektedir. Nikel ve kobalttan çeşitli safsızlıkları ayırmak için çok çeşitli yöntemler vardır. Genellikle, bu işlem için Solvent ekstraksiyon (SX) kullanılmaktadır. Proses sonunda Ni ve Co kazanımı sağlanmaktadır. Yüksek basınçlı asit liçi için genel akım şeması Şekil 2.7. 'de verilmiştir (Dalvi ve ark., 2004).



Şekil 2.7. Yüksek basınçlı asit liçi için genel akım şeması (Dalvi ve ark., 2004).

Nikel çözünmesi için uygulanan H_2SO_4 liçi esnasında, eşitlik 2.4 ve 2.5'te görüldüğü gibi götit hematite dönüşmektedir (Krause ve ark., 1998; Rubisov ve Papangelakis, 2000).

$$2FeOOH+3H_2SO_4 \rightarrow 2Fe^{+3}+3SO_4^{-2}+4H_2O \quad [2.4]$$

$$2Fe^{+3}+3H_2O \rightarrow Fe_2O_{3(k)}+6H^+ \quad [2.5]$$

Krause ve ark., (1998)'e göre reaksiyon sonucunda nikel veya diğer metal oksitlerin ise eşitlik 2.6'daki gibi olduğunu savunmaktadır.

$$MeO+2H_2SO_4 \rightarrow Me^{+2}+2HSO_4^-+H_2O \quad [2.6]$$

Moa Bay'daki nikel cevherlerinin sülfürik asit ortamında basınçlı asit liçi sonucunda nikel ve kobaltın eldesi için oluşan reaksiyonların eşitlik 2.7 ve 2.8'deki gibi olduğu belirtmektektedir (Göveli, 2006)

$$NiO+H_2SO_4 \rightarrow NiSO_4+H_2O \quad [2.7]$$

$$CoO+H_2SO_4 \rightarrow CoSO_4+H_2O \quad [2.8]$$

Gibson ve Rice (1997), farklı tipteki nikel içerikli lateritlere HCl asit liçi uygulayarak yeni bir proses geliştirmiştirler. Hidrojen basıncı altında indirgeme ve elektrokazanıma uygun olacak bir tenör değerine, mağnezyum ve-veya demirden 1-5 g/l derişimindeki liç çözeltiden nikelin konsantre edilmesi ve ayrılması bir anahtar basamaktır. Bu solvent ekstraksiyon yoluyla Cyanex 301-302 ve versatik 10 asitlerini kullanarak en iyi ekstraksiyonn karakteristiğini elde etmişlerdir. Cyanex 301 nikel için en büyük seçimliliği gösterdiğini ileri sürmüşlerdir. Fakat yüksek asit konsantrasyonları hariç nikeli sıyırmanın zor olduğunu belirtmişlerdir. Cyanex 302 uygun görülmüş fakat magnezyumun yardımcı ekstraksiyonunda değerlendirilmesini ileri sürmüşlerdir.

Georgiou ve Papangelakis (1998), çalışmalarında, INCO madencilik tarafından sağlanan lateritik Endenozya limonitleri kullanmışlardır. Tedarik edilen limonitik lateritikler için basınçlı sülfürik asit liçi uygulanmıştır. Deneyler için asit enjeksiyonlu ve numune geri kazanımlı 2 litrelik "Titanyum otoklavı" kullanmışlardır. Liç sırasında, katı hallerinin değerlendirilmesi ve liç kimyası incelenmiştir. Gözenekli katılar için birkaç kinetik model test edilmiştir. Deneyler sonucunda buldukları sonuçlar aşağıdaki gibi değerlendirilmiştir.

Götit parçaları, birbirleri ile sıkıca bağlantılı ve oldukça yüksek gözenekli agregalardır. Götitler liç esnasında sürekli çözünmektedir. Götit gözenekleri arasında ve çözelti içinde ferik katyonlarının çökelmesi ile hematite dönüşmektedir. Hematit parçacıkları oldukça hızlı şekillenmektedir. Liç sırasında hematit parçacıklarının

büyümüştür. Fakat gözle gözlenmesi mümkün olmamıştır. Parçacıkların boyutu 0,1 ile 0,3 μm arasında değişmektedir.

Nikelin temel olarak götit içerisinde olduğu bulunmuştur. Liç esnasında götit çözünerek Nikelin sıvı faz içerisinde kalmasını sağlar. Manganezli parçacıklar ve magnezyum silikatlı yapılar içerisinde hemen hemen nikel bulunmuştur. Nikel 250-270 ^{o}C arasındaki yüksek sıcaklıklarda çözündüğü gözlenmiştir.

Manganez fazında kobaltın olduğu bulunmuş olup kobalt % 90'lara varan çözünmeye ulaşmış ve sıcaklığın 230-270 ^{o}C arasında hiçbir etkisi olmamıştır. Kromit ve götit kafeslerinin içinde temel olarak alüminyum gözlenmiştir. Alüminyum oksit yada gibsit formunda oluşmuşlardır. Alüminyum, liç esnasında yeniden çökerek alünite adını almaktadır.

Whittington ve ark. (2003), Batı Avustralya'nın kurak bölgelerinde (Bulong, Cawse ve Murrin Murrin) Bulunan lateritik cevherler üzerinde çalışmışlardır. Bu bölgede halen nikel ve kobaltın kazanılması için Yüksek Basınçlı Asit Liçi uygulanmakta olup genelde bu bölgedeki lateritik cevherler, tropikal lateritler (Götit) ve killerce (Nontronit'ce) zengindirler. Bu araştırmacılar Yaptıkları çalışmada aşırı tuzlu su, deniz suyu, musluk suyu ve yeraltı içme suyu kullanarak, lateritik cevherler üzerinde basınçlı asit liçi ile oluşabilecek liç sırasındaki reaksiyonlar üzerindeki suyun tuzluluk etkisini ölçmüşlerdir.

Whittington ve ark. (2003), Aşırı tuzlu su kullanarak, saprolit, limonit ve nontronit cevherlerine basınçlı asit liçi uygulamışlar ve artık mineralojisi ile liç kimyasını kıyaslamışlardır.

Whittington ve Johnson (2005), Batı Avustralya'daki Cawse ve Murrin Murrin tesilerinde Yüksek basıçlı asit liçinin uygulandığını ve lateritik cevherlerden bu yolla nikel ve kobaltın kazanıldığını belirtmektedirler. Bu prosesde Cevher 250 ^{o}C'da otoklav içinde H_2SO_4 ile bulamaç haline getirilmektedir.

Whittington ve ark. (2003), Lateritik nikel cevherlerinin Basınçlı Asit Liçi kimyasını ve özellikle suyun kalitesi, asit şarjı ve cevherlerin mineralojisi ile meydana gelen değişiklikleri rapor etmişlerdir.

Johnson ve Whittington (2004), Murrin Murrin cevherlerinin Basınçlı Asit Liçi sırasında proses suyuna amonyum sülfat yada potasyum ve sodyum ilavesi ile nikelin extraksiyonunun arttığını ifade etmişlerdir.

Johnson ve ark., (2005), Proses suyuna hem az miktarda sodyum ilave ederek hem de asit yüklemesini arttırarak nontronitce zengin lateritik cevherlerden nikel kazanımını gerçekleştirmişlerdir. 5 g/l sodyum iyonu içeren proses suyu ile yapılan deneylerle temiz proses suyu ile yapılan deneyleri daha sonra kıyaslamışlardır.

Byerley ve ark., (1979); Miller ve Wan (1983); Abbruzzese, (1990); Grimanelis ve ark., (1992); Kumar ve ark. (1983); Das ve ark., (1997); Senanayake ve Das (2004), sülfür dioksitin, manganez, nikel, kobalt ve demir oksitleri içeren minerallerin liçinde etkili olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Sülfür dioksit, atmosferik koşullarda nikel içerikli limonitin metal oksitlerinin asidik liçinde tercih edilmektedir. Batı Avustralya'da ve Küba'da asidik basınç liçi ticari olarak uygulanmaktadır (Chou ve ark. 1997; Kyle, 1996).

Senanayake ve Das (2004), içerisinde hematit, manyetit ve götit buluna 90-125 μm boyutundaki limonitik lateritik cevherleri 90 ^{o}C'da atmosferik basınç altında sülfür dioksit varlığında ve yokluğunda 6 saat liç ederek nikel ve kobalt kazanmaya çalışmışlardır.

Georgiou (1995), limonitik lateritler ile ilgili master tezi yapmıştır. Bu tezde Lateritik cevherlerden nikel ve kobaltın kazanımı için, H_2SO_4 ile basınç liçi uygulamıştır. Bu çalışmada ayrıca, sıcaklığın (230-270 ^{o}C), asit konsantrasyonunun (0.,1-0,4 M), pülp yoğunluğunun (% 10-30) ve hızın (400-600 dev/dk) nikel extraksiyonu üzerindeki etkisini araştırmıştır.

Son zamanlarda, Avustralya'nın güneyindeki lateritik cevherlerden nikel ve kobaltın kazanıldığı 3 adet yeni tesiste basınçlı asit liçi uygulandığı bilinmektedir. Bu proses ilk olarak Küba'daki Moa Bay tesislerinde uygulanmış ve geliştirilmiştir. Avustralya'da ve daha birçok ülkede bu yöntemin uygulama alanı mevcuttur (Kuck, 2001; Nicol ve Zainol, 2003).

2.3.3.5. Yığın liçi

Saprolitik cevherler veya limonitik ile saprolitik cevherin karışımları için yapılan bir yötemdir (Dalvi ve ark., 2004). Metalik cevherler için uygulanan mükemmel bir prosesdir. Özellikle, yıllardan beri elektrokazanım ve solvent

ekstraksiyon ile katot bakır eldesi için kullanılmaktadır. Bu proses son zamanlarda özellikle nikel ve çinko için kullanım alanı bulmuştur (Göveli, 2006).

Ülkemiz'de, Bosphorus Nickel 2004 yılında, yığın asit liçi projesi ile başlayıp, 2005'de fizibilite çalışmalarını tamamlamayı hedeflemistir. Çaldağ'da pilot tesisisinde, yığın liçi yötemi ile nikel-oksit cevheri üretimini düşünmektedirler.

Sülfürik asit kullanarak, kırılmış cevherden bölgede cevher yığınları oluşturulup bu yığın içinden asit geçirilmektedir (Şekil 2.8). Tesiste kullanılacak olan seyreltik sülfirik asit Ni ve Fe'in ayrıştırılmasını sağlamaktadır (Göktaş, 2007).



Şekil 2.8. Manisa Çaldağ yığın liçi uygulaması.

Bourget ve ark., (1987), lateritik cevherler üzerinde yığın liçi uygulayarak elde ettikleri asidik liç çözeltisinden nikel ve kobaltın ayrılması ve kazanılması konusunda çalışmışlardır. Bir hidrooksim, organik fosforik asitleri ve organik fosforik asitlerin karışımı kullanarak oluşturdukları akım şemaları üzerinde

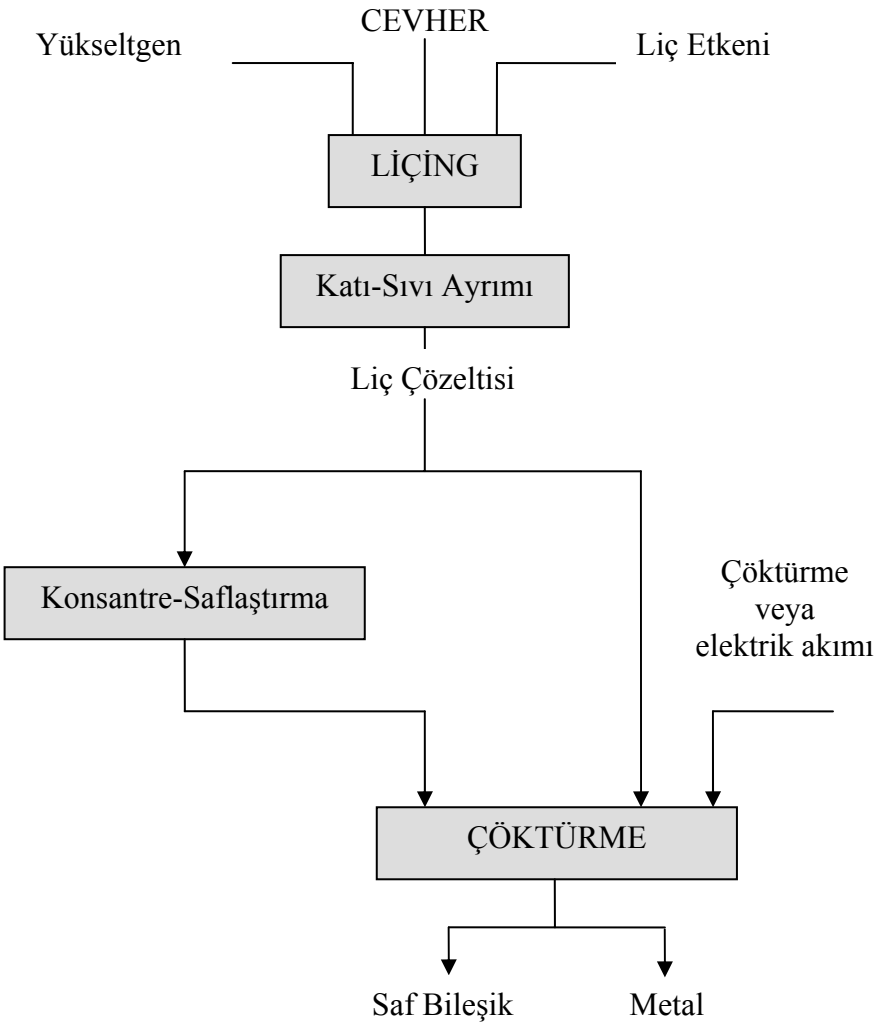
tartışmışlar ve değerlendirmişlerdir. Ayrıntılı çalışma için sonuç olarak seçilen akım şeması, pH kontrolünü bir aralıkta tutmak için, versatik asidin mağnezyum tuzlarını kullanarak pH 7-8'de nikel ve kobaltın toplu ekstraksiyonunu içermektedir. Nikel ve kobaltın en iyi kazanımı iki aşamalı ters-akım ekstraksiyonu, manganezin bazı yardımcı ekstraksiyonu ile başarılmıştır. Az miktarda sıyrılmış çözelti ile kontak halinde bulunan organik faz içindeki kalsiyum ve magnezyum artıklarının sıyrılabildiğini ortaya koymuşlardır. 1 g/l nikel 0,8 g/l kobalt içeren yüklü organik fazdan 52 g/l nikel 4,2 g/l kobalt konsantrasyonundaki sıyrılmış çözelti elde etmenin 1 M sülfürik asit ile mümkün olduğunu önermişlerdir.

Agatzini-Leonardou ve ark., (2004), Yunanistan'ın kuzeyindeki nikel içerikli serpantinit cevherlerinden, mümkün olduğu kadar kalsit içeriğini azaltmaya çalışmışlar. Numuneler Kostaria bölgesinden alınmıştır. Beslenen tane boyutuna bağlı olarak kalsitin kısmen ayrılması için manyetik alan şiddeti kullanılmıştır. Manyetik olmayan ürün içerisinde yaklaşık % 5 nikel kaybı olmuştur. Yaklaşık olarak da % 37 CaO uzaklaştırılmıştır.

Agatzini-Leonardou ve Zafiratos (2004), yapmış oldukları bir çalışmada ise hem yığın liçi hem de atmosferik karıştırma liçi uygulamışlar. Yığın liçi ile serpantinitli lateritikleri liç etmişlerdir. Yaklaşık 10 günde % 45 Co ve % 60 Ni kazanımı 2 ve 3 N'lik H_2SO_4 kullanılarak sağlanmıştır. Öte yandan atmosferik basınç altında karıştırma liçi uygulayarak 2 saat liç süresi içinde % 51 Co ve % 74 nikel kazanımı sağlanmıştır.

2.4. Liçing

Cevher bileşiminde bulunan değerli metal veya metallerin uygun bir çözelti içerisinde seçimli olarak çözündürülmesi işlemine liç adı verilmektedir. Liç işlemi, 4 ana işlem altında gerçekleşmektedir. Bunlar, cevher hazırlama, liç, çözeltinin temizlenmesi, çöktürme ve çözeltiden kazanma işlemleridir. Şekil 2.9'da bir liç işleminin akım şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Genel liç akım şeması (Habashi, 1982).

Liç işleminde seçimlilik, hızlı ve etkin bir çözünme önemli şartlar arasında yer almaktadır. Liç işleminin seçimli olması, cevher bünyesindeki bulunan değerli minerallerin, gang minerallerine oranla seçimli olarak liç işleminine tabi tutulmasıdır. Liç işlminin hızlı olması, tesis hacminin seçiminde önemli bir unsurdur. Çözünmenin etkin olması ise, yüksek verimlerle metalin çözeltiye alınmasını sağlamaktır (Canbazoğlu, 2001).

Metallere, oksit ve hidroksitlere, genellikle çeşitli metal ve bileşiklere yaygın olarak, liç işlemleri uygulanabilmektedir (Habashi, 1982). Çizelge 2.8.'de liç işleminin çeşitli hammaddeler için uygulama alanları verilmiştir.

Çizelge 2.8.Liç uygulama alanları (Canbazoğlu, 2001).

Liç Uygulanan Hammaddeler	Örnekler	Liç Etkenleri		Uygulama Alanları
Metaller	Nabit altın, gümüş, bakır ve platin grubu metaller; oksitlerin indirgenmesi ile üretilmiş bakır, nikel ve kobalt	Asitler	Seyreltik sülfürik	Bakır oksit yatakları, çinko oksit
Oksitler ve Hidroksitler	Boksit, lateritler, bakır oksit yatakları, uranyum, çinko yatakları ve kalsinleri, magnezyum yatakları ve kalsinleri.		Seyreltik sülfürik+ yükseltgen, derişik sülfürik asit	Uranyum yatakları, sülfür konsantreleri, lateritler
Kompleks Oksitler	Kromit, niyobit, tantanit, piroklorür, ilmenit, volframit, şelit		Hidroklorik, nitrik, hidroflorik	İlmenit, uranyum konsantreleri
Sülfürler	Bakır, nikel, kurşun, gibi primer metallerin sülfürleri		Kral suyu	Külçe altın ve platin metalleri
Sellenit ve Tellüritler	Bakırelektrolizinde anot çamurunda	Bazlar	Sodyum hidroksit, amonyum hidroksit+hava	Boksit nikel sülfür konsantreleri
Arsenitler	Arsenikli nikel kobalt yatakları, arsenikli hammaddeler			
Fosfatlar	Fosfat kayarlı, monazit, kumlar	Tuz Çözeltisi	Ferik klorür	Bakır sülfür konsantreleri
Silikatlar	Killer, nephelin-siyenit, berilyum yatakları, serpantin		Sodyum karbonat, sodyum karbonat +yükseltgen	Tungsten, uranyum yatakları
Klorür ve Sülfatlar	Sülfatlayıcı ve klorlayıcı kavurma uygulanan pirit külleri	Su		Altın gümüş yatakları ve klorürler

2.4.1. Liçing yöntemleri

Hidrometalürjik proseler ile cevher bileşiminde bulunan değerli metal veya metalleri kazanmak için uygulanan liç prosesleri, liç işleminin uygulanış biçimine ve uygulama esnasında gelişen reaksiyonlara göre sınıflandırılabilir. Liç işlemlerinin uygulanış biçimine göre sınıflandırılması yani hidrometalürjik üretim yöntemleri Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.9. 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 2.9'dan görüldüğü gibi, seçilen liç yöntemine göre işlem süresi değişmekte ve maliyet bakımından farklılıklar göstermektedir. Değişik şartlarda tatbik edilen çeşitli liç yöntemleri vardır. Bunlar yerinde liç, yığın liçi, karıştırma liçi, perkolasyon veya tank liçi ve bakteri liçidir.

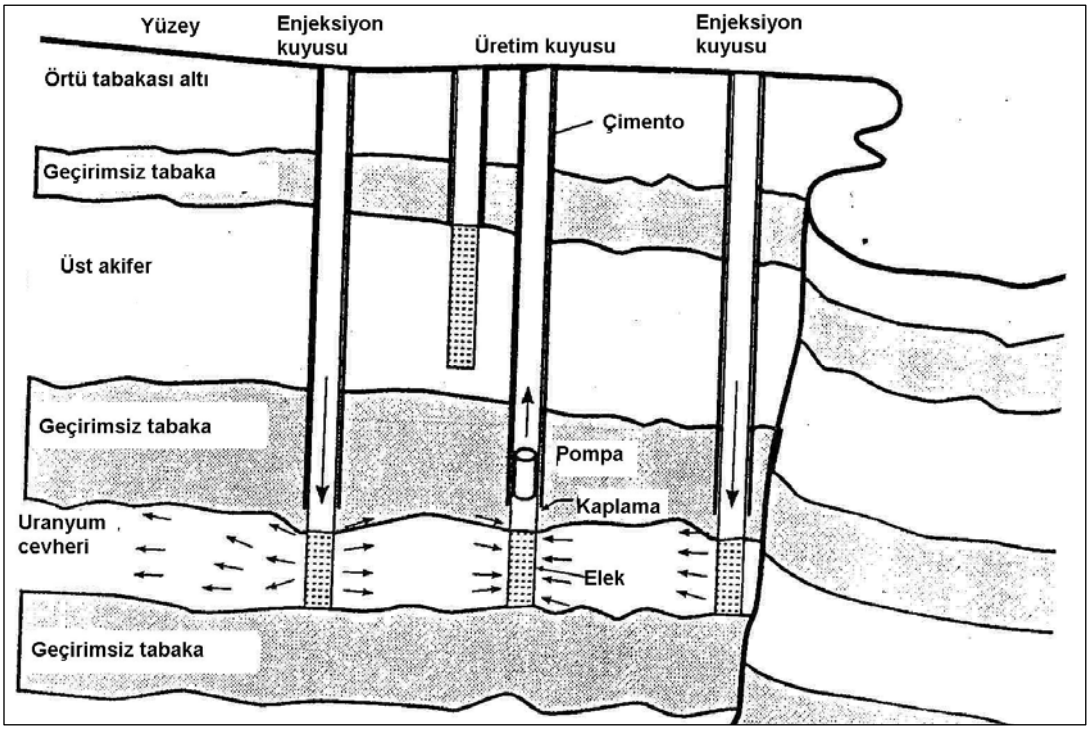
2.4.1.1. Yerinde liç

Yerinde liç yöntemi ile direkt cevher ile çözücü reaktifin yerinde temas ettirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu liç türü, eski maden ocaklarında uygun kimyasal reaktifler ile cevherin temas ettirilmesi ve çözeltiye geçen metallerin kazanılması şeklinde de uygulanmaktadır (Önal, 1985).

Ayrıca, cevher tabasının kil gibi geçirimsiz bir tabaka tarafından çevrelenmiş olması ve mineral taneciklerinin çözücü ile iyi bir şekilde ıslanabilir özellikte olması gerekmektedir. Bazen ön hazırlık işlemi olarak patlayıcılar kullanılarak yatakta bir patlatma işlemi gerçekleştirilerek tane boyutunun küçültülmesi ve kütlenin gevşetilmesi söz konusu olmaktadır (Canbazoğlu ve Girgin, 2001).

Cevher yatağına enjeksiyon kuyularından çözelti basılır ve drenaj yolu ile çözeltiye geçen metal ve metaller kazanılır. Bu tür liç işleminde çözünme uzun sürede gerçekleşmektedir. Bu nedenle; bazı bakteriler kullanılarak liç süresini kısaltma yoluna gidilmektedir (Önal, 1985)

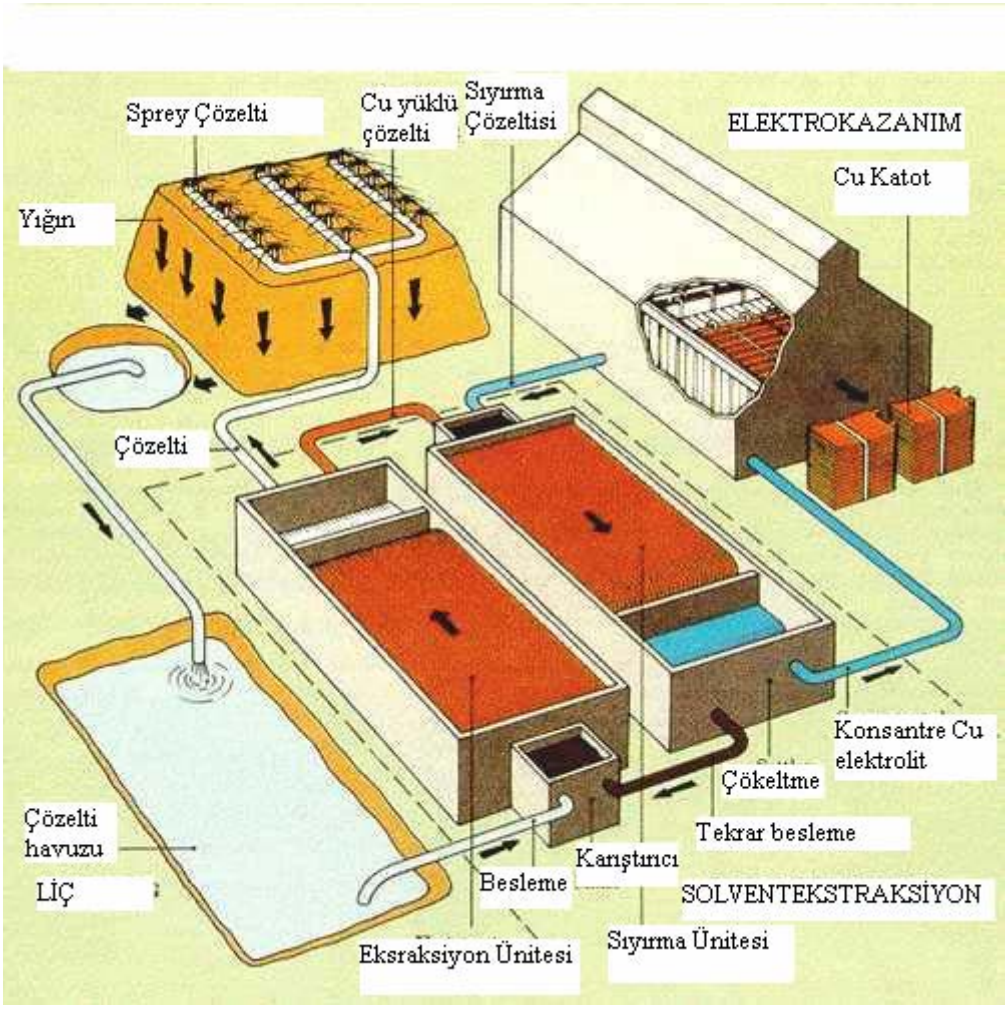
Yerinde liç yöntemi uygulanan uranyum cevheri için kuyudan kuyuya üretim yöntemi Şekil 2.10'da gösterilmiştir (Habashi, 1982).



Şekil 2.10. Uranyum cevheri için yerinde liç (Habashi, 1982).

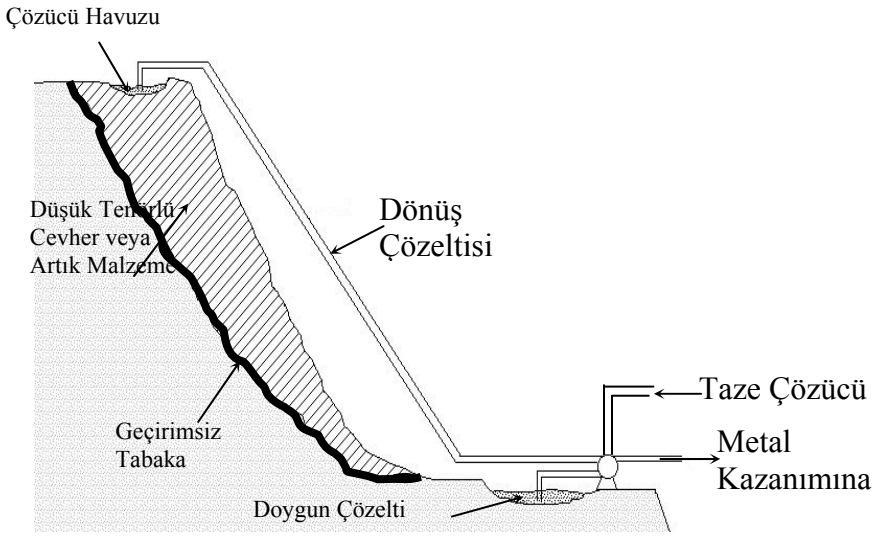
2.4.1.2. Yığın liçi

Maden ocaklarında veya ocakların yakınında bulunan geçirimsiz bir zemine hazırlanmış yığın üzerine boru ağı, çözelti havuzu, fıskiye vb. sistemlerle çözücü gönderilerek değerli bileşenin arazide kazanılmasıdır. Cevher parçaları geçirimsiz zemin üzerine yığılır ve çözelti drenaj yoluyla biriktirilerek diğer işlemler için hazır hale getirilir. Kompleks oksitli cevherlerin ve sülfürlü bakır cevherlerinin yığın liçi ile kazanılması ve diğer metal kazanma evreleri Şekil 2.11.'de gösterilmiştir.

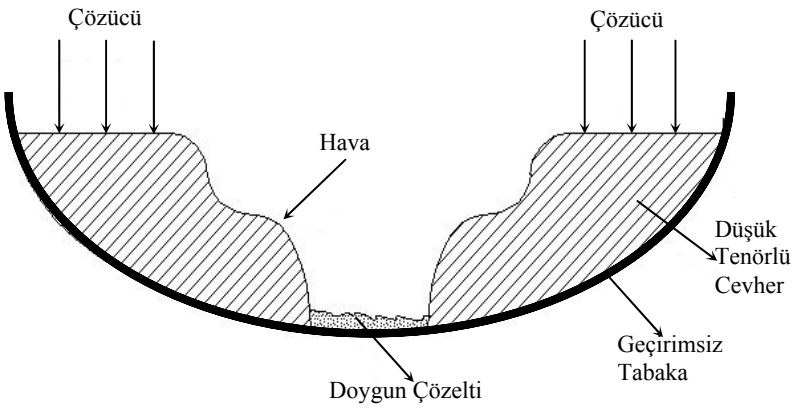


Şekil 2.11. Bakır cevheri için örnek bir yığın liçi uygulaması (Woods, 2004).

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 2.12'de gösterilmiştir.



(a)

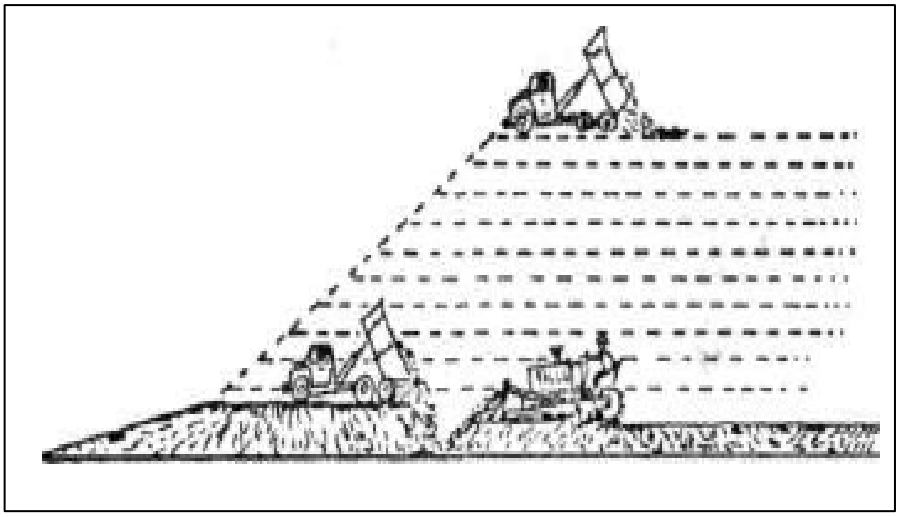


(b)

Şekil 2.12. (a) Bir tepe yamacındaki hazırlıksız yığın liçi, (b) Çukur bir alandaki hazırlıksız yığın liçi (Canbazoğlu ve Girgin, 2001).

Hazırlıklı yığın liçi uygulamaları 5.000-40.000 ton arasında cevher içeren yığınlar üzerinde yapılabilmekte ve doygun liç çözeltisini kazanma aylarca sürmektedir.

Şekil 2.13'de görüldüğü gibi yığının tabakalar halinde hazırlanmalıdır. İnce taneli malzeme yığma mümkün olduğunca düzenli olarak dağıtılmalıdır (Girgin, 1989)



Şekil 2.13. Yığının tabakalar halinde hazırlanması (Girgin, 1989)

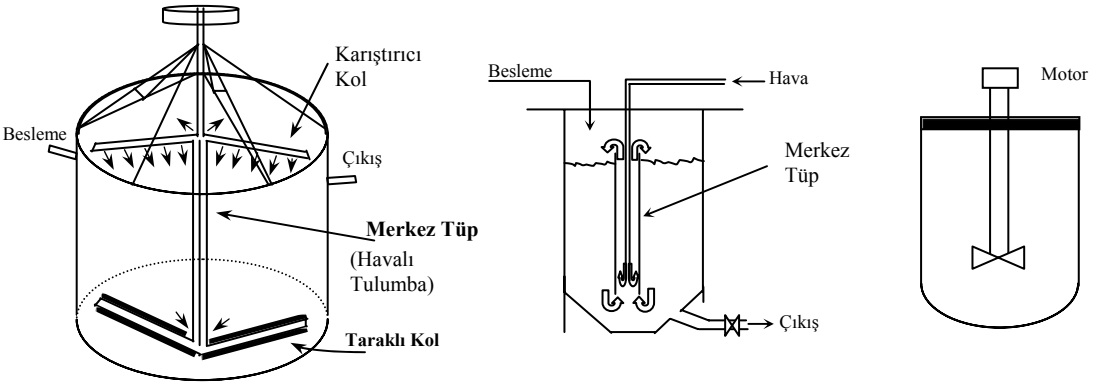
2.4.1.3. Perkolasyon veya tank liçi

Düşük tenörlü, iri ve mümkün olduğunca homojen tane boyutunda gözenekli ve geçirgen malzemeler, alt kısmında delikli tabla bulunan bir tanka doldurulmakta ve sonra da üstten veya alttan çözücü beslemesi yapılmaktadır. Ortalama 5 cm civarındaki cevherlerle çalışılmaktadır. Süzme liçinden önce cevherin kırılması ve küçük boyutlu kısmından uzaklaştırılması gereklidir. Ayrıca liç süresini kısaltmak için cevhere önceden ısıl işlem uygulanabilinmektedir (Önal 1985; Canbazoğlu ve Girgin, 2001).

2.4.1.4. Karıştırma liçi

Cevherin -0,5 mm tane boyutuna yaş öğütme ile indirilmesi ve kimyasal bir çözücü ile uygun bir tank içerisinde, atmosfer basıncında veya farklı basıçlarda

karıştırılması işlemine karıştırma liçi denilmektedir (Önal, 1985). Karıştırma işlemleri, mekanik, pnömatik ve mekanik-pnömatik olmak üzere başlıca üç şekilde gerçekleştirilir (Canbazoğlu ve Girgin, 2001). Şekil 2.14'de görüldüğü gibi, karıştırma liçinde kullanılan önemli ekipmanlar, Denver ajitatörü, Pachuca tankı ve Dorr ajitatörü olarak bilinmektedir.



a) b) c)

Şekil 2.14. (a) Dorr ajitatörü, (b) Pachuca tankı, (c) Denver ajitatörü

2.4.1.5. Bakteri liçi

Bakteri liçi, normal basınç altında ve 5 ile 90 ^{o}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; Akçil ve Çiftçi, 2003a; Çiftçi ve Akçil, 2003; Ehrlich, 2004; Akçil ve Çiftçi, 2006).

Thiobacillus thioxidans, thiobacillus concretivorus, thiobacillus ferroxidans ve ferrobacillus ferroxidans gibi bazı bakterilerin sülfürlü metal minerallerini yükseltgediği bilinmektedir (Çilingir, 1990).

2.5. Çözünme Kinetik Modelleri

Liç işlemi heterojen bir proses olup heterojen faz, sıvı bir liç reaktifi veya reaktif karışımından ve bir katıdan meydana gelir. Liç olayı sırasında katı madde bünyesinde bulunan reaktanlar çözünerek sıvı faza taşınmaktadır. Kinetik açıdan değerlendirilirken, liç işleminde kullanılan katının özelliklerine ve liç şartlarına da bağlı olarak genellikle heterojen faz reaksiyonların değerlendirilmesinde kinetik modellerden yararlanılmaktadır.

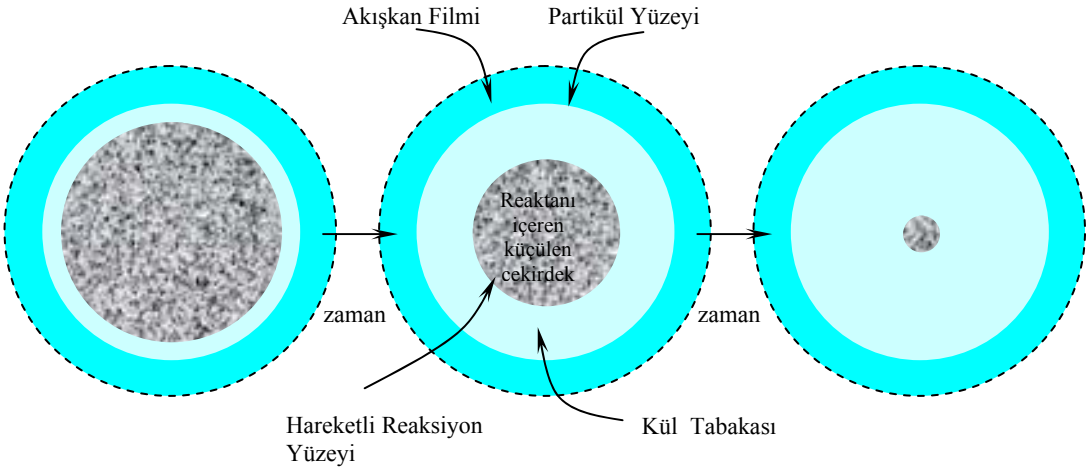
Katı-sıvı arasında gerçekleşen olaylar, reaksiyon kinetiği ve çeşitli parametreler arasındaki ilişkilere dayanarak, hem nicel hem de fiziksel gözlemler ile belirlenebilmektedir (Wen, 1968).

Heterojen faz reaksiyonların açıklanması için en yaygın olarak kullanılan iki temel model olup, özellikle liç proseslerinin değerlendirilmesinde bu modellerin kullanımı klasik bir işlem halini almıştır. Söz konusu bu modeller Küçülen Çekirdek Modeli ve Küçülen Partikül Modelleridir (Levenspiel, 1974). Katı-sıvı arasındaki heterojen faz reaksiyonu,

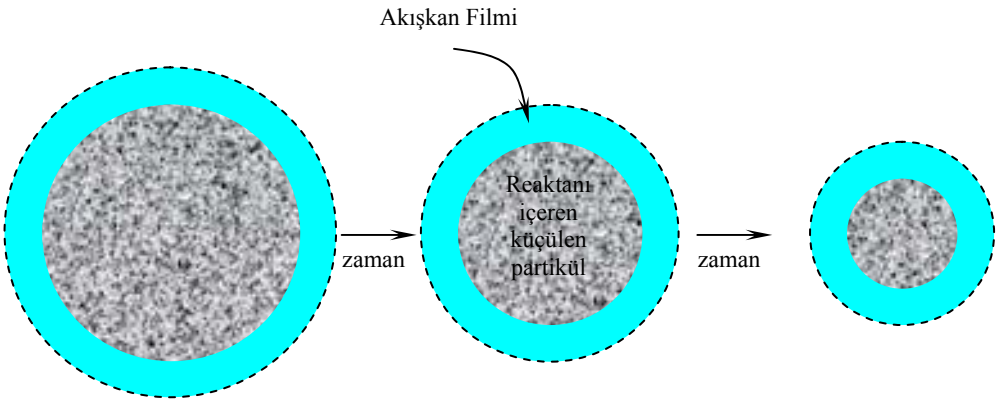
$$A(\text{Akışkan}) + bB(\text{Katı}) \rightarrow \text{Ürünler} \qquad [2.9]$$

[2.9]'da gösterildiği gibidir.

Bu reaksiyon oluşumu süresince her iki model için zamana bağlı olarak reaksiyonun ilerleme derecesi ve katı partikülün boyutunda değişmeler meydana gelmektedir (Şekil 2.15).



Küçülen Çekirdek



Küçülen Partikül

Şekil 2.15. Küçülen çekirdek ve küçülen partikül modelleri (Levenspiel, 1974).

Şekil 2.15'de görüldüğü gibi, küçülen çekirdek modelinde zamanın ilerlemesiyle çekirdeğin reaktanla etkileşimi sonucunda, çekirdek küçülmekte iken, katı bünyesinde yer alan reaksiyona girmemiş veya reaksiyon ürünlerinin de yer aldığı bir poroz tabakanın büyümesi söz konusudur. Bu Küçülen Çekirdek Modelinde reaksiyonun kimyasal olarak kontrol edilmesi durumunda kullanılan eşitlik,

$$\frac{t}{\tau} = 1 - (1 - X)^{1/3} \qquad [2.10]$$

şeklinde gösterilmiştir. Bu eşitlikte, t, liç süresi, X ise dönüşüm kesrini ($0 \leq X \leq 1$) veya reaksiyonun ilerleme derecesini gösterir. τ ise dönüşümün tamamlanması için gerekli zamanı temsil etmekte olup eşitlik [2.11]'deki gibi tarif edilmektedir:

$$\tau = \frac{\rho_B R_o}{b k_s C_{Ag}} \qquad [2.11]$$

Eşitlik [2.11]'de, ρ_B katı reaktanın molar yoğunluğunu, R_o partikülün başlangıçtaki çapını, b liç reaksiyonu gereği stokiometrik katsayıyı (Eşitlik 2.9), k_s reaksiyon hız sabitini ve C_{Ag}, akışkan reaktanın ara yüzey konsantrasyonunu göstermektedir.

Küçülen çekirdek modelindeki difüzyon kontrollü durum için kullanılan eşitlik ise

$$\frac{t}{\tau} = 1 - 3(1-X)^{2/3} + 2(1-X) \qquad [2.12]$$

şekilindedir. Bu durumda τ'nun değeri,

$$\tau = \frac{\rho_B R_o^{\ 2}}{6 b D_e C_{Ag}} \qquad [2.13]$$

[2.13]'deki eştlikte olduğu gibi hesaplanmaktadır. Burada D_e, etkin difüzyon katsayısını ifade etmektedir.

Şekil 2.15'den görüldüğü gibi küçülen partikül modelinde ise, ilerleyen reaksiyon zamanına bağlı olarak dönüşen reaktan kesrindeki bir artışın yanında, partikülün boyutunda sürekli olarak bir azalmanın meydana gelmesi söz konusudur. Buradaki kütle transferi için direnç teşkil edecek iki husus, katı partikülün dış yüzeyinde oluşan akışkan filmi boyunca meydana gelecek difüzyon ve yüzey reaksiyonudur. Liç kinetiğini belirleyen, bu iki kademeden hangisinin daha yavaş olarak ilerlediüidir. Bu modelde de reaksiyon kontrollü durum için aynı eşitlik geçerli olup, film difüzyonu için geçerli olan eşitlik ise:

$$\frac{t}{\tau} = 1 - (1-X)^{2/3} \qquad [2.14]$$

[2.14]'deki gibi yazılabilmektedir. Burada da τ'nun değeri,

$$\tau = \frac{\rho_B R_o^{\ 2}}{2 b D C_{Ag}} \qquad [2.15]$$

şekilinde ifade edilmektedir. Diğer parametrelerden farklı olarak burada D film difüzyon katsayısını ifade etmektedir. Bu eşitlikleri daha basit hale getirmek için, eşitliklerde yer alan 1/τ ifadeleri yerine, k ile temsil edilen görünür hız sabitleri kullanılmaktadır.

Sıcaklık ile görünür hız sabiti değerleri arasındaki ilişkiyi üstel olarak ifade etmek mümkündür. Reaksiyon hızı ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi en iyi şekilde tarif eden eşitlik [2.16]'da verilen Arrhenius eşitliğidir.

$$k = Ae^{\frac{-E_a}{RT}} \qquad [2.16]$$

Bu eşitlikte; *k*, görünür hız sabitini (dk^{-1}), A, frekans sabiti olarak da bilinen Arrhenius sabitini, *Ea*, aktivasyon enerjisini (kJ/mol), R ideal gaz sabitini (8,314 J/mol K) ve *T* de sıcaklığı (K) göstermektedir. Herhangi bir modele ait görünür hız sabiti değerlerinin doğal logaritması alınarak *1/T*'ye karşı çizilmesinden elde edilen doğrunun eğimi *-Ea/R*'ye eşit olacağından, buradan liç prosesinin aktivasyon enerjisi hesaplanabilmektedir.

3. KARAÇAM (ESKİŞEHİR) BÖLGESİNİN JEOLOJİSİ VE COĞRAFİ DURUMU

3.1. Bölgenin Jeolojisi

Karaçam (Eskişehir) bölgesinin, Fe-Ni-Co mineralleri içeren ultramafik kayaçlar ile örtülmüş olması önemli bir yer arz etmektedir. Ulltramafik kayaçların yanı sıra; Yunusemre, Dumluca, Karaçam, Dümrek köyleri arasında çeşitli tür ve yaşlarda kayaçlar da bulunmaktadır. En eski kayaç türü, mermer içerikli kloritik-kuvarsitik şistlerdir. Şistler üzerindeki kalkerli tabakalar yer almaktadır. Bölgede, Porsuk Çayı boyunca KB-GD yönünde mafik-ultramafik kayaçların uzandığı görülmektedir (Boyalı, 1984)

Karaçam, Dümrek ve Dumluca köyleri civarında silisli lateritik zonlar, ayrışmış serpantinitler ve bu zonlar üzerini kaplamış toprak örtüsü göze çarpmaktadır.

Yataklanma içerisindeki ultramafik kayaçlar çeşitli etkenler ile ayrışması sonucunda, Mg, Si gibi elementlerin farklı yerlere taşınmakta ve Fe-Ni-Co'ca zengin kısımlar kalmaktadır. Bu esnada, demir hidroksit şeklinde çökelmekte iken, nikelin bir kısmı demirli lateritlerin taban kısmında kalmaktadır. Diğer taşınan nikeller arit bölgelerde sedimanter nikel yataklarını oluşturmaktadırlar.

Bu bölgedeki lateritik kuşaklar; silisli kabuk, Limonitli, götitili, hematitli vs. Zon, ayrımış serpantinler ve serpantinlerden oluşarak yataklanmaktadırlar. Silisli zonlar, limonit zonunun üzerini örtmekte ve demirli oluşumların üzerinde yer almaktadırlar. 1-2 m kalınlıktan 10-15 m kalımlıklarına veya daha fazla kalınlıklara ulaşabilmektedirler.

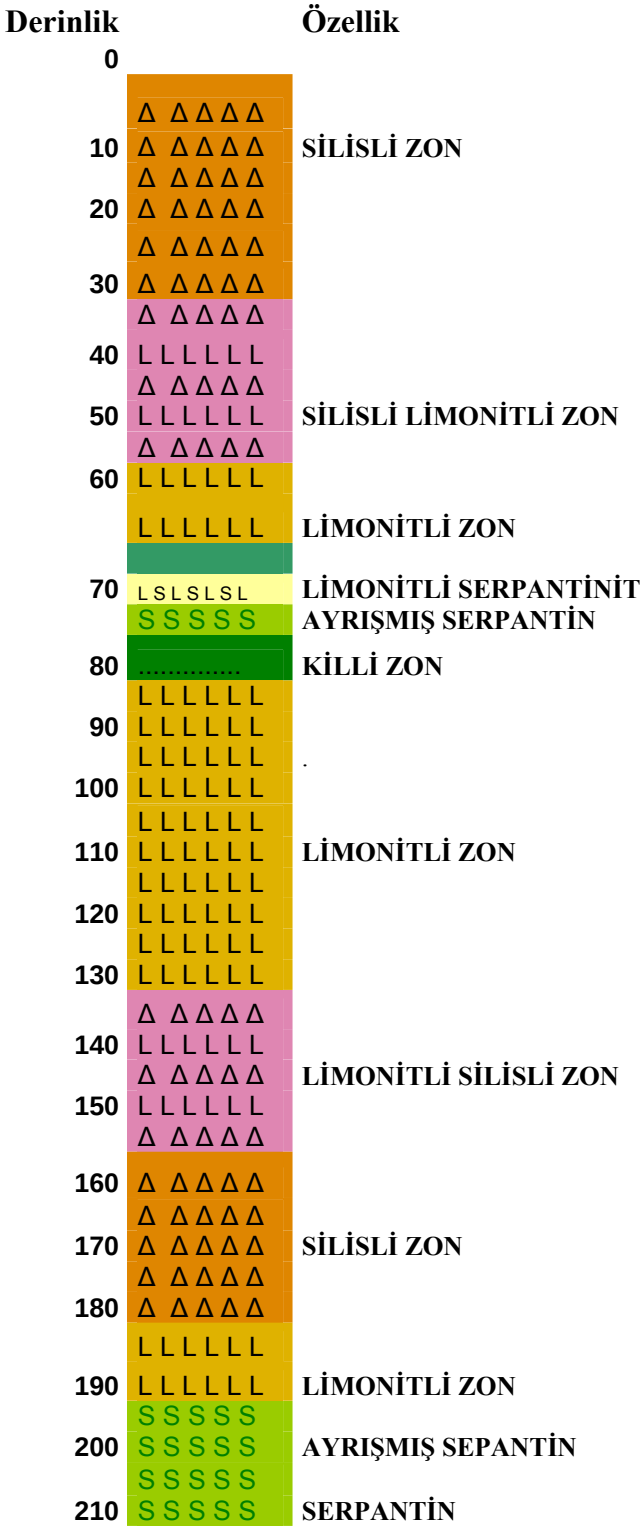
Limonitler ayrışmış serpantiniler üzerinde yer almaktadır. Zengin demir içeriklerine sahip olan bu zon kırmızımsı, sarımsı veya mavi renklerde olabilmektedirler. % 1-2 civarında nikel, % 0,24 ve daha fazla kobalt içeriklerine sahiptirler. 1-2 m kalınlıktan 50 m kalınlığa ulaşabilmektedirler.

Ayrışmış serpantinitler, sarımsı, yeşilimsi, kahverengimsi bir renk almakta ve taban kısımlarda taze peridotitlerle geçiş sağlamaktadırlar. Bu zonun oldukça önemli bir yeri olup; nikel bakımından büyük önem arz etmektedir. % 1-4 nikel içerdiği

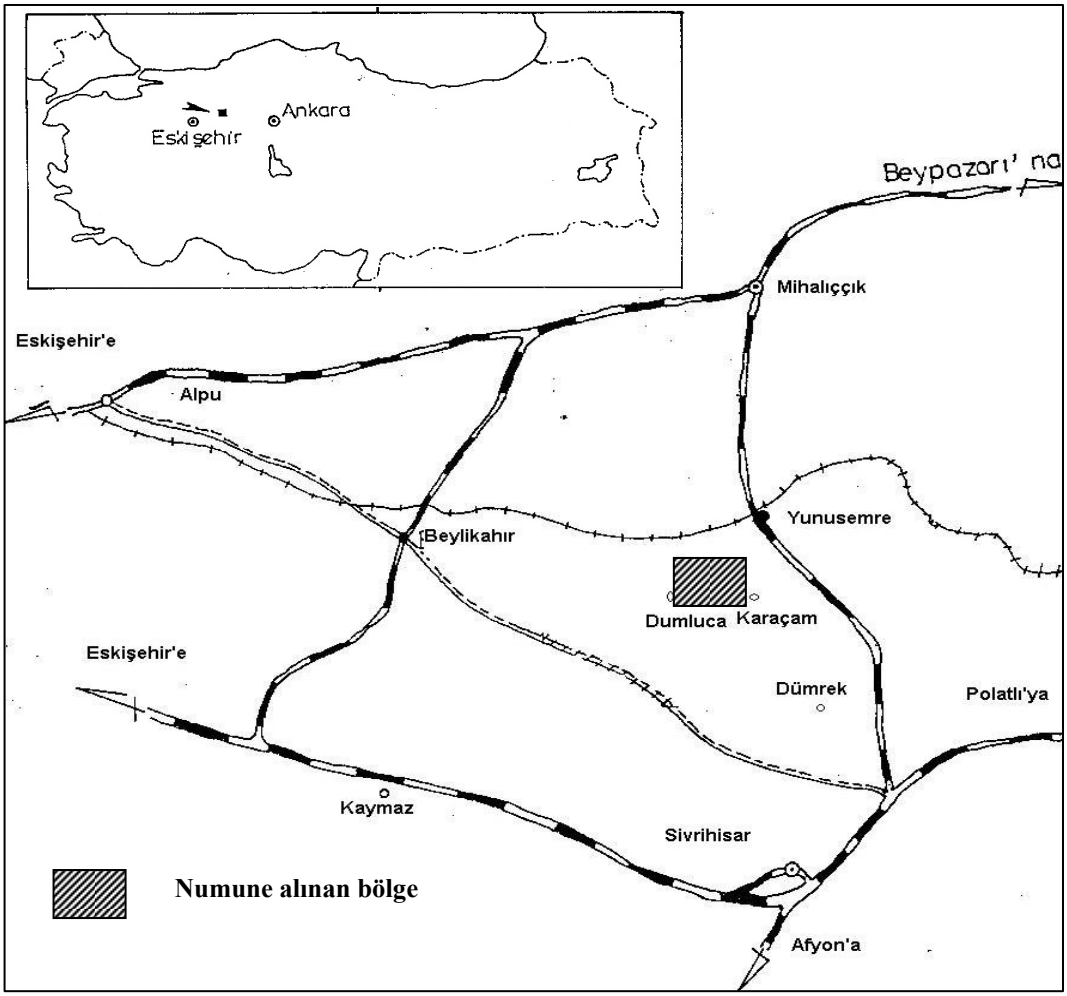
bilinmektedir (Boyalı, 1984). Bölgedeki lateritik yatakların oluşumu Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Karaçam köyünde (Adatepe, Sarnıç Tepe, Belek mevkisi) bulunan Fe-Ni-Co cevherleşmesi Eskişehir iline bağlı Mihalıççık ilçesinin Yunusemre köyünün güneybatısında yer almaktadır (Şekil 3.2.)

İmikler, Süleymaniye, Dumluca ve Karaçam arasında kalan bu bölgede ayrışmış serpantinitler içerisinde oluşmuş, kalınlığı 1-50 m olan lateritik cevherleşmeler 50 km^2'lik alana yayılmıştır. Karaçam mevkii adatepe dolaylarında, % 30-50 demir tenörlü 1.630.000 ton, % 50-60 tenörlü 520.000 ton rezerve sahip olduğu ve Ni-Co açısındanda sahanın önemi belirtilmiştir (Karaaslan, 1978)



Şekil 3.1. Bölgedeki lateritik cevherlerin zonlanma biçimi (Boyalı, 1984).



Şekil 3.2. Lateritik nikel yatğının yerini gösterir harita.

Bu tez çalışmasında, Mihalıççık-Sivrihisar bölgesi Karaçam mevkisinde bulunan ŞENKA MADENCİLİK AŞ'ye ait olan demir işletmesi civarındaki, Adatepe, Sarnıçtepe ve Belek (Şekil 3.3, 3.4, 3.5) yataklarının nikel içerikleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 3.3. Adatepe Fe-Ni-Co yatağından genel bir görünüm.



Şekil 3.4. Sarnıçtepe Fe-Ni-Co yatağından genel bir görünüm.



Şekil 3.5.Belek Fe-Ni-Co yatağından genel bir görünüm.

3.2. Bölgenin Coğrafi Durumu

Bölge az engebeli ve yüksek tepelerle kaplı olmayan bir görünüme sahiptir. En büyük yükselti olarak Sarnıç Tepesi 1513 m'dir. Sarnıç Tepesi Yunusemre köyünün 6,5 km kadar güneyinde yer almaktadır.

Bölgede tipik karasal iklim hüküm sürmektedir. Yaklaşık 8 ay arazi çalışmalarını sürdürmek mümkün olabilmektedir. Madencilik açısından elverişli bir alana sahip olan bölgede bazı önlemler alınması ile 12 ay çalışma yapılabilmesi mümkündür.

Bitki örtüsü bakımından çok fakir bir bölgedir. Meşe, çam ve ardıç ağaçları yoğunluktadır (Şekil 3.6). Porsuk çayı kenarlarında ise meyva ve kavak ağaçları yetiştirilmektedir. Bölgede Mihalıççık-Sivrihisar-Polatlı karayolundan gidilebildiği gibi aynı zamanda Ankara-Eskişehir demir yolu ile de ulaşım sağlanmaktadır.



Şekil 3.6. Bölgeden genel bir görünüm.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

Çalışmalarda, Karaçam (ESKİŞEHİR) lateritik nikel cevheri kullanılmıştır. Numune alma kurallarına uygun olarak 3 farklı bölgeden yaklaşık 50'şer kg lateritik nikel cevheri alınarak Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği laboratuarına getirilmiştir. Adatepe, Sarnıçtepe ve Belek yöresine ait numunelerin element analizleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Adatepe, Sarnıçtepe ve Belek yöresi numunelerinin elemet analizi.

Numune Adı	Element (%)		
	Ni	Fe	Co
Adatepe	1,12	24,14	0,024
Belek	1,80	23,90	0,034
Sarnıçtepe	1,30	13,31	0,035

50 kg'lık cevher numunesinden numune alma kurallarına göre azaltılan örneğin, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünde yapılan XRD analiz sonuçları Şekil 4.1'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, demir minerali olarak, götit (FeO(OH)), hematit (Fe_2O_3) ve vustit (FeO), nikel minerali olarak, redgersit ($NiSO_4.6H_2O$) ve gaspeit ($NiCO_3$) ayrıca kil mineralleri olarak saponit ($Ca_{0,5}(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4(H_2O)$) ve montmorillonit ($Ca_{0,2}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4(H_2O)$), silikat olarak ise kuvars (SiO_2) belirlenmiştir.

Cevher numunesinin miktarı azaltılarak yaklaşık 5 kg numune deneylerde kullanılmak üzere ayrılmıştır. Azaltılmış numuneler -106 µm açıklığındaki elekten elenerek deneyler için hazır hale getirilmiştir. Ayrıca; farklı deneylerde kullanılmak üzere azaltılmış numuneler 106, 75, 45, 38 µm'lik eleklerden yaş olarak elenerek fraksiyonlara ayrılmıştır. Her bir fraksiyondan bir miktar numune alınarak Teflon beherlerde kral suyu ile (3 hacim HCl + 1 hacim HNO_3) çözündürülerek SensAA marka AAS analiz cihazında analiz edilmiştir. Her bir fraksiyona ait Ni, Fe, Mg ve Co değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

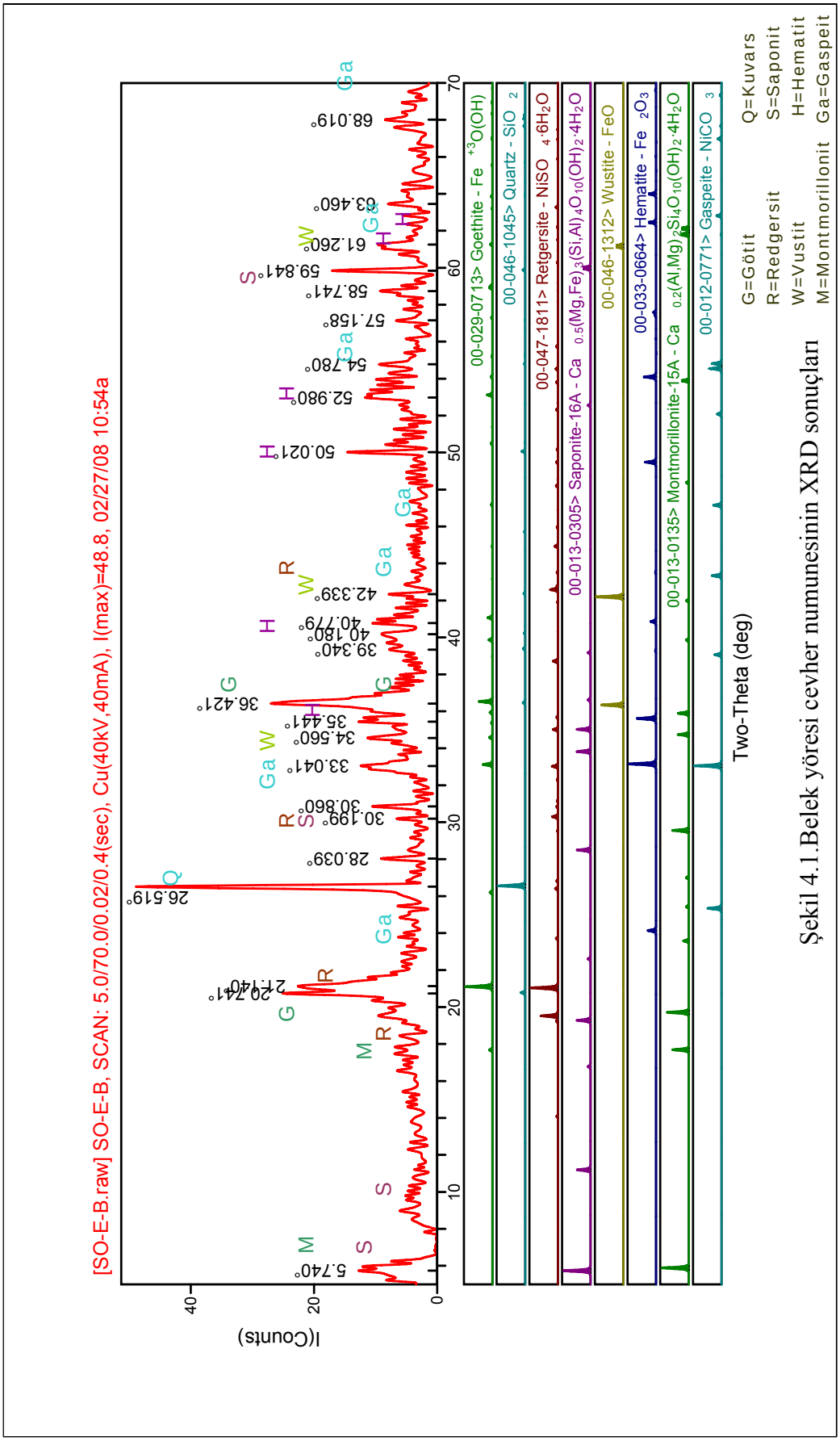
Çizelge 4.2. Belek yöresi lateritik nikel cevherin her bir fraksiyonu için Ni, Fe, Mg, Co değerleri.

Tane Boyutu (μm)	Element (%)			
	Ni	Fe	Mg	Co
-106	1,84	23,14	1,58	0,030
-106 +75	1,88	17,80	1,22	0,048
-75 +45	1,22	13,24	0,74	0,041
-45 +38	1,24	11,00	0,58	0,038
-38	1,90	23,60	0,90	0,040

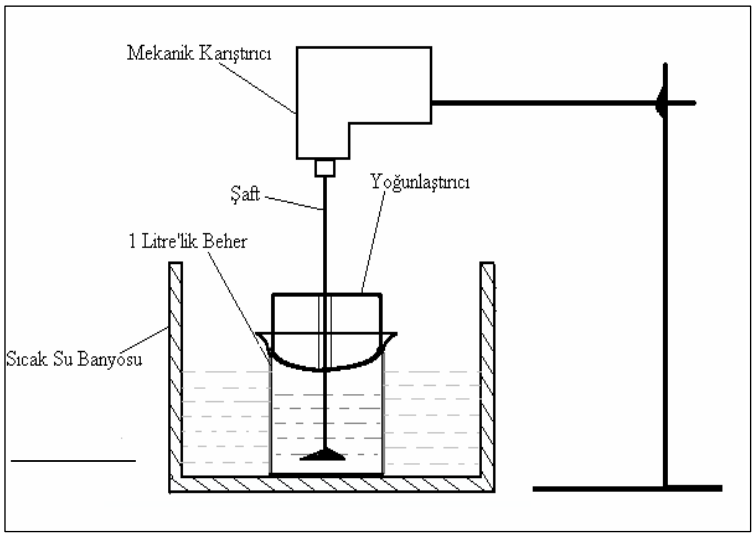
Ayrıca, solvent ekstraksiyon deneyleri için, 80°C'de, 2M H_2SO_4 derişiminde yapılan liç deneylerinden elde edilen sülfatlı çözeltiler kullanılmıştır.

4.2. Metot

Çalışmalarda, sülfürik asit (H_2SO_4), hidroklorik asit (HCl) ve nitrik asit (HNO_3) ve amonyak (NH_3) ortamında farklı reaktifler kullanılarak Ni, Fe ve Mg çözündürülmesine olan etkisi araştırılmıştır. Deneylerde, asidik ortam için saflığı % 98,08 H_2SO_4 (Merck), % 37 HCl (Merck) ve % 65 HNO_3 kullanılmıştır. Deneyler, 1 lt'lik beherde 500 ml çözelti kullanılarak hassasiyeti ±0,2 °C olan sıcak su banyosunda yapılmıştır. Karıştırma için Heidolph RZR 2021 marka karıştırma hızı ayarlanabilir bir mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Çözelti içerisindeki eşitli iyonlarından etkilenmesini ve ortam şartlarını değiştirmesini engellemek amacıyla teflon bir şaft kullanılmıştır. Hacim azalmasını engellemek içinde içerisi soğuk su dolu iç bükey bir yoğunlaştırıcı düzenek kullanılmıştır. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1.Belek yöresi cevher numunesinin XRD sonuçları



Şekil 4.2. 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, katı/sıvı oranının, sıcaklığın, tane boyutunun ve yükseltgen olarak kullanılan reaktiflerin, Ni, Fe ve Mg çözünmesine etkisi ve solvent ekstraksiyon ile Ni kazanımı araştırılmıştır. Ayrıca fiziksel ve fizikokimyasal yöntemlerin uygulanması ve solvent ekstraksiyon üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Fiziksel yöntemler ile zenginleştirme, multi gravite seperatör ve yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı kullanılmıştır. Multi gravite seperatör ile zenginleştirme deneyleri için, "C 900" tipi Mozley firmasının ürettiği Multi gravite seperatör kullanılmıştır. Multi gravite seperatör deneyleri, -106 μm tane boyutunda, 2 kg'lık kullanılarak yapılmıştır. Manyetik ayırma deneyleri için ise, "Boxmag Rapid LHWL" tipi yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı kullanılmıştır. Manyetik ayırma deneyleri, -106 μm tane boyutunda, % 10 katı/sıvı oranında, 100 gramlık numuneler kullanarak gerçekleştirilmiştir.

Fizikokimyasal zenginleştirme yöntemi için , "Denver" tipi flotasyon hücresi kullanılmıştır. Flotasyon deneyleri, -106 μm boyutunda, % 20 katı oranında, 200 gramlık temsili numuneler kullanılarak yapılmıştır. Solvent ekstraksiyon deneyleri için, ekstraktant olarak, gaz yağı içerisinde seyreltilmiş 0,15 M Cyanex 272 (C16H34PO2H)-(bis(2,4,4-trimetilpenti) fosfonik asit kullanılmıştır. Deneyler, 250 ml'lik ayırma hunisi, 100 ml'lik beher, pH metre ve manyetik karıştırıcı kullanarak gerçekleştirilmiştir.

5. BULGULAR

5.1. Öğütebilirlik Çalışmaları

5.1.1. Bond iş endeksinin belirlenmesi

Bond iş indeksini saptamak için, 30,5 x 30,5 boyutlarında, standart Bond değirmeni kullanılmıştır. Yapılan deneyler için kullanılan öğütücü ortam ağırlığı 20,61 kg olup; bilye çapları ve sayısı Çizelge 5.1'de verilmiştir.

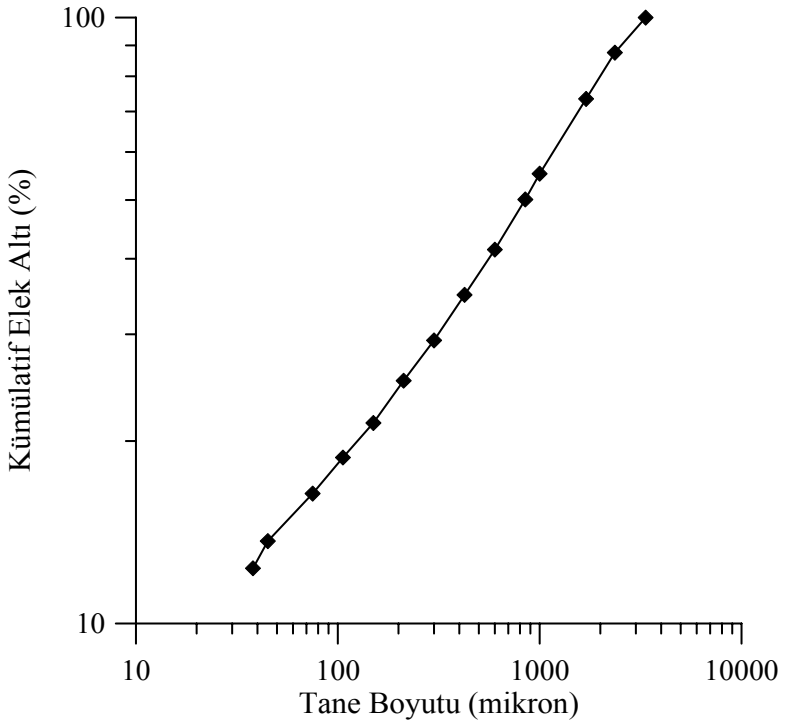
Çizelge 5.1. Bond değirmeni testinde kullanılan bilyaların çapları ve sayıları.

Bilya çapı (mm)	Bilya sayısı (adet)
44,5	26
29,7	67
25,4	10
19	71
15,5	94

Yaklaşık 10 kg numunenin % 100'ü 3,35 mm altından geçecek şekilde kırılarak elenmiştir. Elenen malzemeden, 1000 cm^3'lük mezurun içine 700 cm^3'ünü dolduracak kadar malzeme konulmuştur. Malzemenin ağırlığı tartılarak her deney için kullanılacak miktar belirlenmiştir. Bond iş endeksi deneylerinde, 954,45 gr numune kullanılmış olup elek analizi sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir. Öğütülmüş numunenin ise, elek analizi Çizelge 5.3'de gösterilmiştir. 3,35 mm altına kırılmış numunenin elek analizi sonucu elde edilen kümülatif elek altı eğrisi Şekil 5.1'de, öğütülmüş ve – 0,3 mm altına elenmiş malzemenin kümülatif elek altı eğrisi ise şekil 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. 3,35 mm altına kırılmış malzemenin elek analizi.

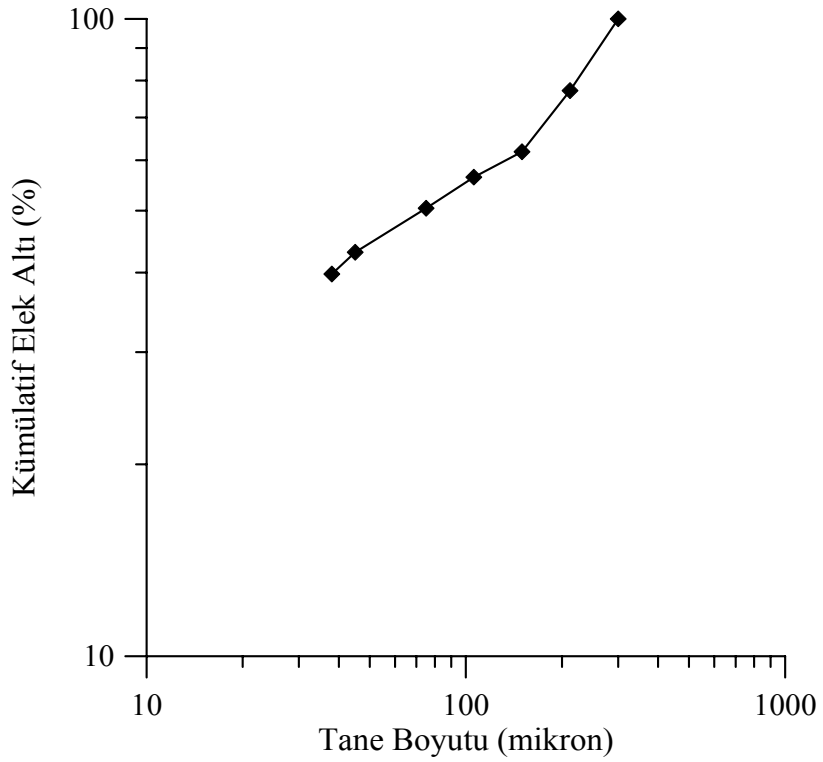
Tane Boyutu (mm)	% Miktar	Kümülatif Elek Altı
-3,35+2,36	12,46	100
-2,36+1,7	14,10	87,54
-1,7+1	18,19	73,43
-1+0,850	5,15	55,24
-0,850+0,600	8,70	50,09
-0,600+0,425	6,53	41,39
-0,425+0,300	5,55	34,86
-0,300+0,212	4,16	29,31
-0,212+0,150	3,73	25,15
-0,150+0,106	2,64	21,42
-0,106+0,075	2,40	18,78
-0,075+0,045	2,71	16,38
-0,045+0,038	1,34	13,67
-0,038	12,33	12,33
TOPLAM	100	
Beslemenin % 80'inin geçtiği elek açıklığı	1960 (µm)	



Şekil 5.1. 3,35 mm altına kırılmış malzemenin kümülatif elek altı eğrisi.

Çizelge 5.3. Son üç öğütme evresinde elde edilen elek altı malzemesinin elek analizi.

Tane Boyutu (mm)	% Miktar	Kümülatif Elek Altı
-0,300+0,212	22,81	100
-0,212+0,150	15,31	77,19
-0,150+0,106	5,42	61,88
-0,106+0,075	6,02	56,46
-0,075+0,045	7,42	50,44
-0,045+0,038	3,25	43,02
-0,038	39,77	39,77
TOPLAM	100,00	77,19
Son üç öğütme evresinde elde edilen elek altı ürünün % 80'inin geçtiği elek açıklığı	222 (μm)	



Şekil 5.2. Son üç öğütme evresinde elde edilen elek altı malzemesinin kümülatif elek altı eğrisi

Standart Bond Değirmeninde yapılan deneylere göre; aşağıdaki 5.1 eşitliği kullanılarak cevhere ait olan iş indeksi değeri belirlenmiştir. Yapılan deney sonuçlarından elde edilen veriler ise Çizelge 5.4'de verilmiştir.

$$Wi = 44.5 / Pi^{0,23}.G^{0,82}.(10/\sqrt{P} - 10/\sqrt{F}) \quad [5.1]$$

Wi : Bond iş indeksi (kWh/st)

Pi : Test eleği elek açıklığı (μm)

G : Bond öğütülebilirlik katsayısı

F : Beslemenin % 80'inin geçtiği elek açıklığı (μm)

P : Son üç öğütme evresinde elde edilen elek altı ürünün % 80'inin geçtiği elek açıklığı

Lateritik Ni-Fe-Co cevherine ait hesaplanan Bond iş indeksi değeri hesaplanarak aşağıda verilmiştir. İlgili cevherin öğütülebilirliğinin belirlenmesi işlemin ekonomikliliği etkileyeceğinden hesaplanma ihtiyacı duyulmuştur.

G=3,59 gr/devir

P_i=300 μm

P =222 μm

F= 1960 μm

$W_i = 44.5 / 300^{0,23}.3,59^{0,82}.(10/\sqrt{222} - 10/\sqrt{1960})$

W_i = 9.44 kWh/st

W_i = 9.44x1.1=10,384 kWh/t

Çizelge 5.4. Bond İş indeksi deney sonuçları.

Periyot Sayısı	Devir Sayısı (D)	-300 μm miktarı (g) ($-P_1$)	Besleme Miktarı (g) (F_B)	Öğütülebilirlik ($-P_1-F_B/D$) gr/devir
1. periyot	100	559,66	279,75	2,8
2. periyot	39	341,64	164,04	4,55
3. periyot	38	257,43	100,05	4,14
4. periyot	48	262,69	75,45	3,90
5. periyot	51	262,75	76,99	3,64
6. periyot	54	270,76	77,01	3,59
7. periyot	54	271,11	79,36	3,55

5.2. Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri

5.2.1. Multi Gravite Seperatör ile zenginleştirme deneyleri

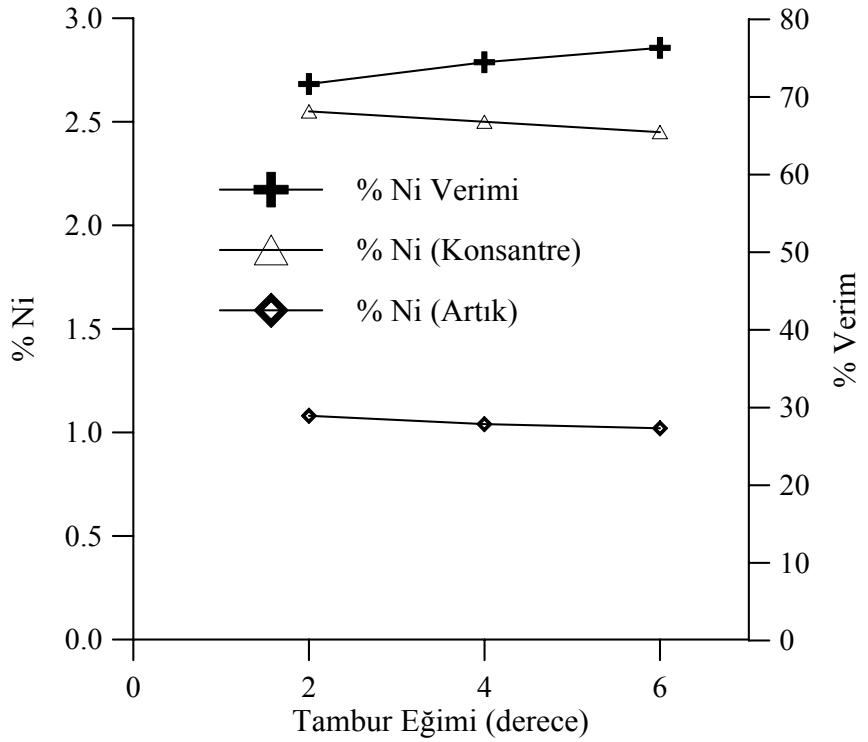
Multi gravite seperatör ile zenginleştirme deneyleri için, "C 900" tipi Mozley firmasının ürettiği Multi gravite seperatör kullanılmıştır. Multi gravite seperatör deneyleri için, -106 μm tane boyutunda, 2 kg'lık numuneler kullanılmıştır. Deney şartları aşağıdaki gibi olup;

Tambur eğimi : 2°, 4°, 6°
Titreşim frekansı : 5,7 dev/sn
Katı oranı : % 20
Tambur salınım genliği : 10 mm
Tambur dönüş hızı : 150 dev/dk.
Yıkama suyu : 2 l/dk

Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.5 ve Şekil 5.3'de, Fe için Çizelge 5.6 ve Şekil 5.4'de, Mg için Çizelge 5.7 ve Şekil 5.5'de ve Co için ise, Çizelge 5.8 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.5. Multi gravite seperatör deneyi sonucunda elde edilen Ni değerleri.

Tambur Eğimi (°)	Ürünler	% Miktar	% Ni	% Verim
2°	Konsantre	51,74	2,55	71,67
	Artık	48,26	1,08	28,33
	Besleme Malı	100,00	1,84	100,00
4°	Konsantre	54,84	2,50	74,47
	Artık	45,16	1,04	25,53
	Besleme Malı	100,00	1,84	100,00
6°	Konsantre	57,30	2,45	76,33
	Artık	42,70	1,02	23,67
	Besleme Malı	100,00	1,84	100,00



Şekil 5.3. Multi gravite seperatör ile zenginleştirme deneyi Ni tenör ve verim grafiği

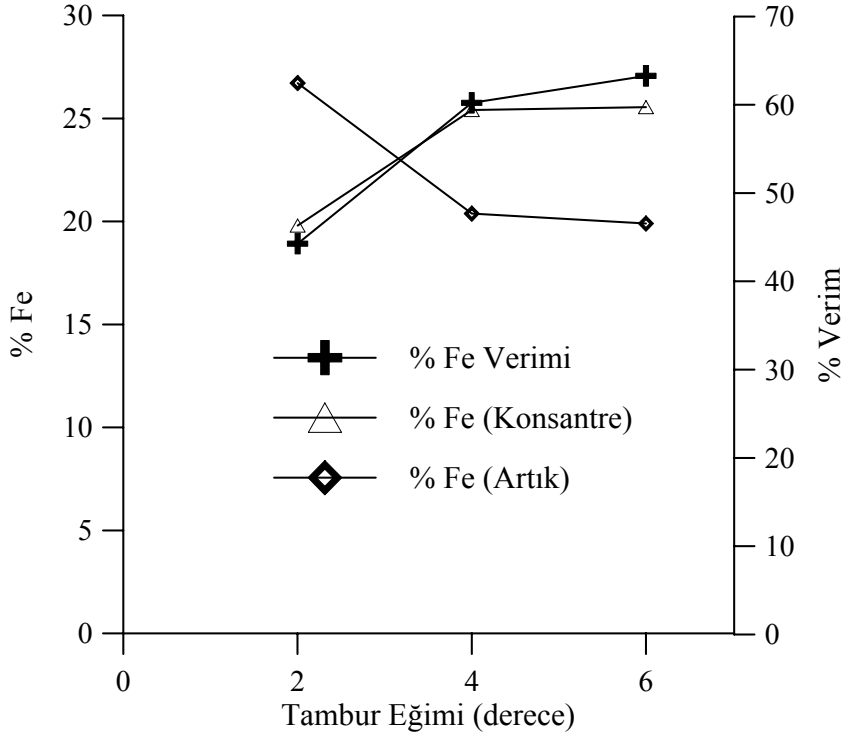
Çizelge 5.5 ve Şekil 5.3 incelendiğinde, örneğin, 2° tambur eğiminde konsantredeki Ni içeriği % 2,55 ve artıkdaki Ni içeriği % 1,08 iken, 6° tambur eğiminde konsantredeki Ni içeriği % 2,45 ve artıkdaki Ni içeriği % 1,02 olarak belirlenmiştir.

i) Multi gravite seperatör deney sonuçlarına göre, tambur eğimi artıkça nikel kazanım verimi artmaktadır.

ii) 2° tambur eğiminde, % 2,55 nikel, % 71,67 verim ile elde edilmiştir.

Çizelge 5.6. Multi gravite seperatör deneyi sonucunda elde edilen Fe değerleri.

Tambur Eğimi (°)	Ürünler	% Miktar	% Fe	% Verim
2°	Konsantre	51,74	19,80	44,27
	Artık	48,26	26,72	55,73
	Besleme Malı	100,00	23,14	100,00
4°	Konsantre	54,84	25,41	60,23
	Artık	45,16	20,38	39,77
	Besleme Malı	100,00	23,14	100,00
6°	Konsantre	57,30	25,55	63,28
	Artık	42,70	19,90	36,72
	Besleme Malı	100,00	23,14	100,00



Şekil 5.3. Multi gravite seperatör ile zenginleştirme deneyi Fe tenör ve verim grafiği

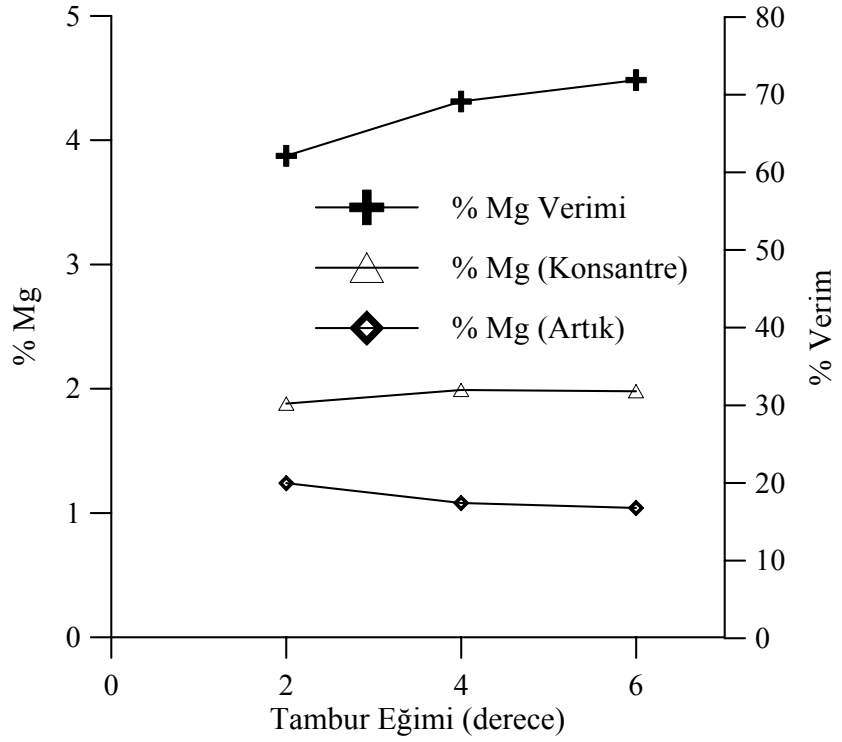
Çizelge 5.6 ve Şekil 5.4 incelendiğinde, örneğin, 2° tambur eğiminde konsantredeki Fe içeriği % 19,80 iken, 6° tambur eğiminde konsantredeki Fe içeriği % 25,55 olarak belirlenmiştir.

i) Multi gravite seperatör deney sonuçlarına göre, tambur eğimi arttıkça demir kazanım verimi artmaktadır.

ii) 2° tambur eğiminde, % 25,55 demir konsantresi, % 63,23 verim ile elde edilmiştir.

Çizelge 5.7. Multi gravite seperatör deneyi sonucunda elde edilen Mg değerleri.

Tambur Eğimi (°)	Ürünler	% Miktar	% Mg	% Verim
2°	Konsantre	51,74	1,88	62,13
	Artık	48,26	1,24	37,87
	Besleme Malı	100,00	1,58	100,00
4°	Konsantre	54,84	1,99	69,13
	Artık	45,16	1,08	30,87
	Besleme Malı	100,00	1,58	100,00
6°	Konsantre	57,30	1,98	71,89
	Artık	42,70	1,04	28,11
	Besleme Malı	100,00	1,58	100,00



Şekil 5.5.Multi gravite seperatör ile zenginleştirme deneyi Mg tenör ve verim grafiği

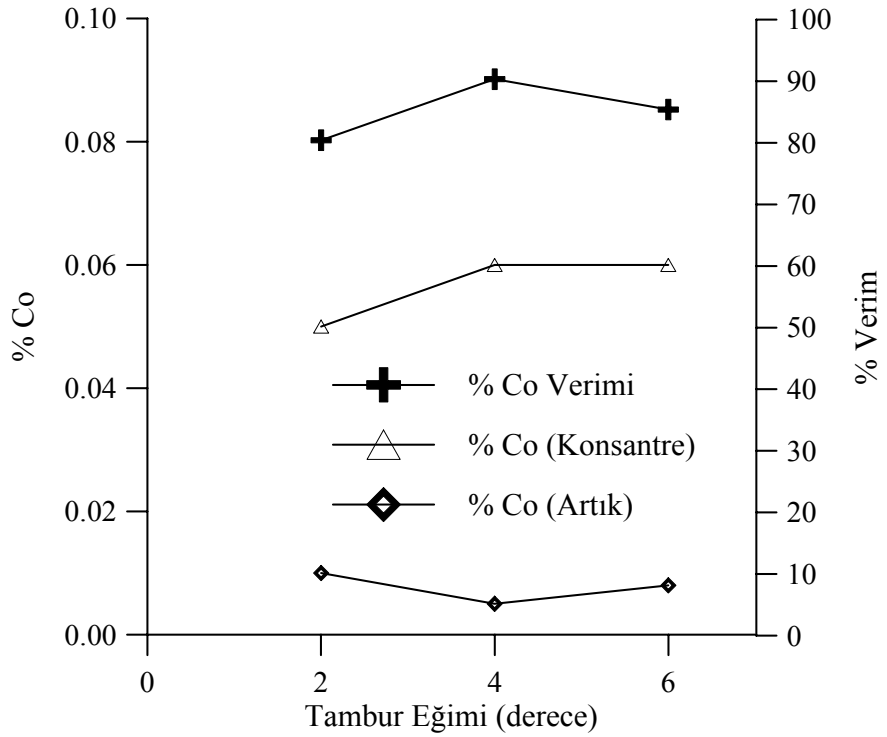
Çizelge 5.7 ve Şekil 5.5 incelendiğinde, örneğin, 2° tambur eğiminde konsantredeki Mg içeriği % 1,88 iken, 6° tambur eğiminde konsantredeki Mg içeriği % 1,98 olarak belirlenmiştir.

i) Multi gravite seperatör deney sonuçlarına göre, tambur eğimi arttıkça mağnezyum kazanım verimi artmaktadır.

ii) 6° tambur eğiminde, % 1.98 Mg konsantresi, % 71,89 verim ile elde edilmiştir.

Çizelge 5.8. Multi gravite seperatör deneyi sonucunda elde edilen Co değerleri.

Tambur Eğimi (°)	Ürünler	% Miktar	% Co	% Verim
2°	Konsantre	48,26	0,05	80,43
	Artık	51,74	0,01	19,57
	Besleme Malı	100,00	0,03	100,00
4°	Konsantre	45,16	0,06	90,32
	Artık	54,84	0,005	9,68
	Besleme Malı	100,00	0,03	100,00
6°	Konsantre	42,70	0,06	85,40
	Artık	57,30	0,008	14,60
	Besleme Malı	100,00	0,03	100,00



Şekil 5.6. Multi gravite seperatör ile zenginleştirme deneyi Co tenör ve verim grafiği

Çizelge 5.8 ve Şekil 5.6 incelendiğinde, örneğin, 2° tambur eğiminde konsantredeki Co içeriği % 0,05 iken, 6° tambur eğiminde konsantredeki Co içeriği % 0,06 olarak belirlenmiştir.

i) Multi gravite seperatör deney sonuçlarına göre, tambur eğimi 4°'de kobalt kazanım veriminin en yüksek olduğu görülmektedir.

ii) 4° tambur eğiminde, % 0,06 Co konsantresi, % 90,32 verim ile elde edilmiştir.

5.2.2. Manyetik ayırma ile zenginleştirme deneyleri

Manyetik ayırma ile zenginleştirme deneyleri için, "Boxmag Rapid LHWL" tipi yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı kullanılmıştır. Manyetik ayırıcı DC-amper ve DC-volt göstergeli olup, 0-24 amper ve 0-200 volt arasında ölçüm yapmaktadır. Manyetik ayırma deneyleri, -106 μm tane boyutunda, % 10 katı/sıvı oranında, 100 gramlık numuneler ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.9 ve Şekil 5.7'de, Fe için Çizelge 5.10 ve Şekil 5.8'de, Mg için Çizelge 5.11 ve Şekil 5.9'da ve Co için ise, Çizelge 5.12 ve Şekil 5.10'da verilmiştir.

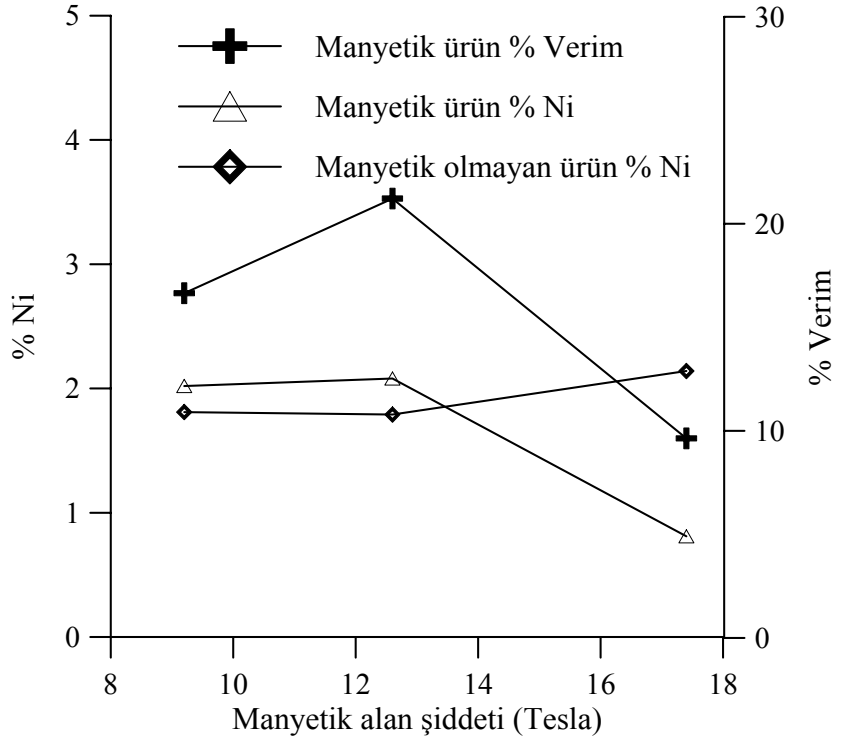
Çizelge 5.9 ve Şekil 5.7 incelendiğinde, örneğin, 9,2 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki Ni içeriği % 2,02, 12,6 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki Ni içeriği % 2,08 iken, 17,4 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki Ni içeriği % 0,81 olarak belirlenmiştir.

i) Manyetik ayırma deneylerinin sonucuna göre; 12,6 tesla manyetik alan şiddetinde nikel kazanım veriminin en yüksek olduğu görülmektedir.

ii) 12,6 tesla manyetik alan şiddetinde, % 2,02 Ni tenörlü konsantre, % 21,22 verim ile elde edilmiştir.

Çizelge 5.9. Ni için yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deney sonuçları

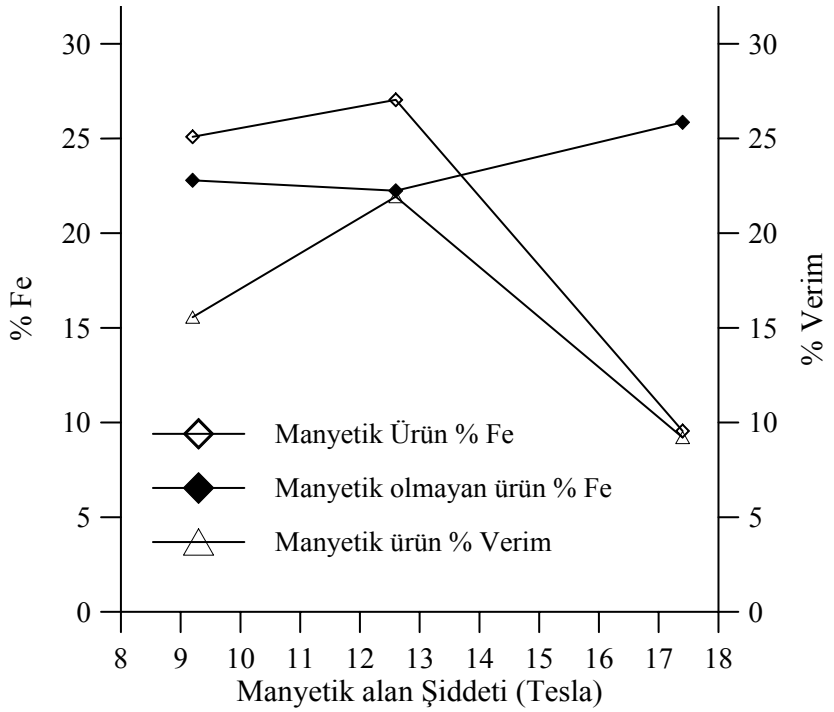
Voltaj (V)	Akım Şiddeti (I_A)	Manyetik Alan Şiddeti (Tesla)	Ürünler	% Miktar	% Ni	% Verim
40	5	9,2	Manyetik	15,27	2,02	16,65
			Manyetik Olmayan	84,73	1,81	83,35
			Besleme Malı	100	1,84	100
90	10	12,6	Manyetik	18,77	2,08	21,22
			Manyetik Olmayan	81,23	1,79	78,78
			Besleme Malı	100	1,84	100
185	20	17,4	Manyetik	22,31	0,81	9,64
			Manyetik Olmayan	77,69	2,14	90,36
			Besleme Malı	100	1,84	100



Şekil 5.7. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma Ni tenör ve verim grafiği.

Çizelge 5.10. Fe için yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deney sonuçları

Voltaj (V)	Akım Şiddeti (I_A)	Manyetik Alan Şiddeti (Tesla)	Ürünler	% Miktar	% Fe	% Verim
40	5	9,2	Manyetik	15,27	25,09	15,56
			Manyetik Olmayan	84,73	22,79	83,44
			Besleme Malı	100	23,14	100
90	10	12,6	Manyetik	18,77	27,04	21,93
			Manyetik Olmayan	81,23	22,24	78,07
			Besleme Malı	100	23,14	100
185	20	17,4	Manyetik	22,31	9,55	9,21
			Manyetik Olmayan	77,69	25,86	90,79
			Besleme Malı	100	23,14	100



Şekil 5.8. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma Fe tenör ve verim grafiği.

Çizelge 5.10 ve Şekil 5.8 incelendiğinde, örneğin, 9,2 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki Fe içeriği %25,09, 12,6 tesla manyetik alan şiddetinde,

konsantredeki Fe içeriği %27,04 iken, 17,4 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki Fe içeriği % 9,55 olarak belirlenmiştir.

i) Manyetik ayırma deneylerinin sonucuna göre; 12,6 tesla manyetik alan şiddetinde demir kazanım veriminin en yüksek olduğu görülmektedir.

ii) 12,6 tesla manyetik alan şiddetinde, % 27,04 Fe tenörlü konsantre, % 21,93 verim ile elde edilmiştir.

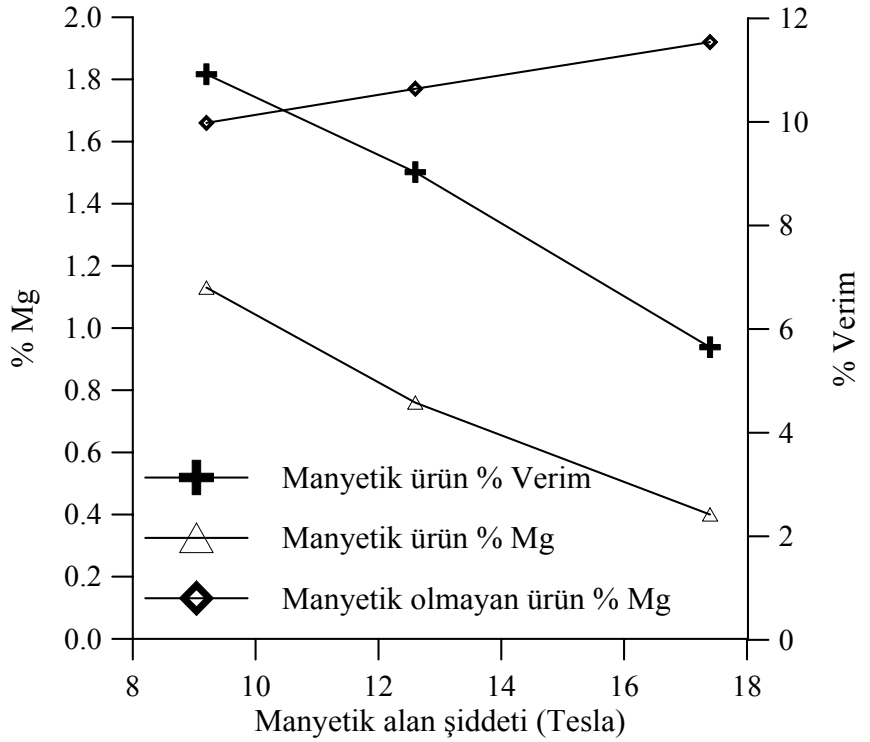
Çizelge 5.11. Mg için yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deney sonuçları.

Voltaj (V)	Akım Şiddeti (I_A)	Manyetik Alan Şiddeti (Tesla)	Ürünler	% Miktar	% Mg	% Verim
40	5	9,2	Manyetik	15,27	1,13	10,92
			Manyetik Olmayan	84,73	1,66	89,08
			Besleme Malı	100	1,58	100
90	10	12,6	Manyetik	18,77	0,76	9,03
			Manyetik Olmayan	81,23	1,77	90,97
			Besleme Malı	100	1,58	100
185	20	17,4	Manyetik	22,31	0,40	5,65
			Manyetik Olmayan	77,69	1,92	94,35
			Besleme Malı	100	1,58	100

Çizelge 5.11 ve Şekil 5.9 incelendiğinde, örneğin, 9,2 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki Mg içeriği % 1,13, 12,6 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki Mg içeriği % 0,76 iken, 17,4 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki Mg içeriği % 0,40 olarak belirlenmiştir.

i) Manyetik ayırma deneylerinin sonucuna göre; 9,2 tesla manyetik alan şiddetinde Mg kazanım veriminin en yüksek olduğu görülmektedir.

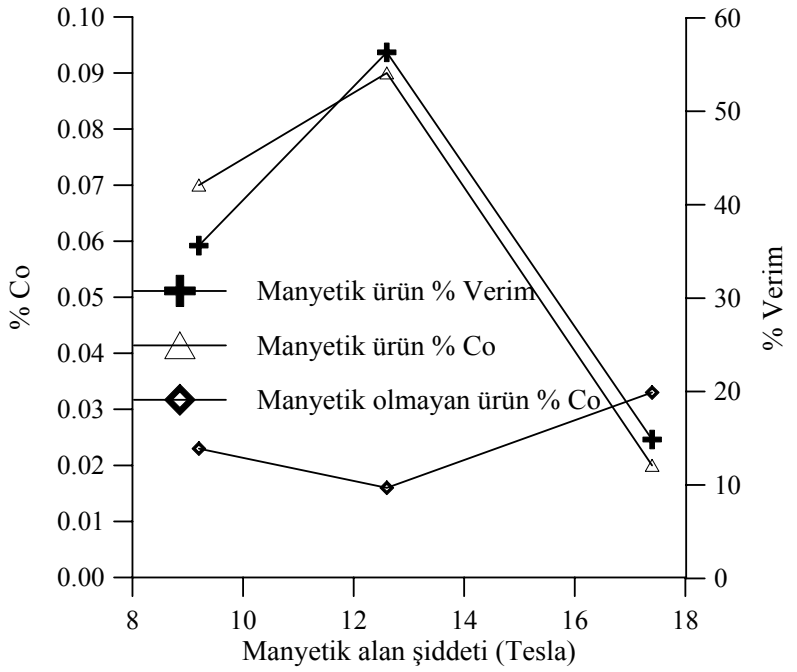
ii) 9,2 tesla manyetik alan şiddetinde, % 1,13 Mg tenörlü konsantre, % 10,92 verim ile elde edilmiştir.



Şekil 5.9. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma Mg tenör ve verim grafiği.

Çizelge 5.12. Co için yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deney sonuçları.

Voltaj (V)	Akım Şiddeti (I_A)	Manyetik Alan Şiddeti (Tesla)	Ürünler	% Miktar	% Co	% Verim
40	5	9,2	Manyetik	15,27	0,07	35,63
			Manyetik Olmayan	84,73	0,023	64,37
			Besleme Malı	100	0,03	100
90	10	12,6	Manyetik	18,77	0,09	56,31
			Manyetik Olmayan	81,23	0,016	43,69
			Besleme Malı	100	0,03	100
185	20	17,4	Manyetik	22,31	0,02	14,87
			Manyetik Olmayan	77,69	0,033	85,13
			Besleme Malı	100	0,03	100



Şekil 5.10 Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma Co tenör ve verim grafiği

Çizelge 5.12 ve Şekil 5.10 incelendiğinde, örneğin, 9,2 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki Co içeriği % 0,07, 12,6 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki Co içeriği % 0,09 iken, 17,4 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki Co içeriği % 0,02 olarak belirlenmiştir.

i) Manyetik ayırma deneylerinin sonucuna göre; 12,6 tesla manyetik alan şiddetinde Co kazanım veriminin en yüksek olduğu görülmektedir.

ii) 12,6 tesla manyetik alan şiddetinde, % 0,09 Co tenörlü konsantre, % 56,31 verim ile elde edilmiştir.

5.3. Fizikokimyasal Zenginleştirme Yöntemleri

5.3.1. Flotasyon ile zenginleştirme deneyleri

Flotasyon ile zenginleştirme deneyleri için, “Denver” tipi flotasyon hücresi kullanılmıştır. Flotasyon makinesinin, pervane dönüş hızı ayarlanabilir olup, hava emişli özelliğine sahiptir.

Flotasyon deneyleri, -106 µm boyutunda, % 20 katı oranında, 200 gramlık temsili numuneler kullanılarak yapılmıştır. Yapılan deneylerde pH değerinin, toplayıcı cinsinin ve canlandırıcı miktarının flotasyona etkisi araştırılmıştır.

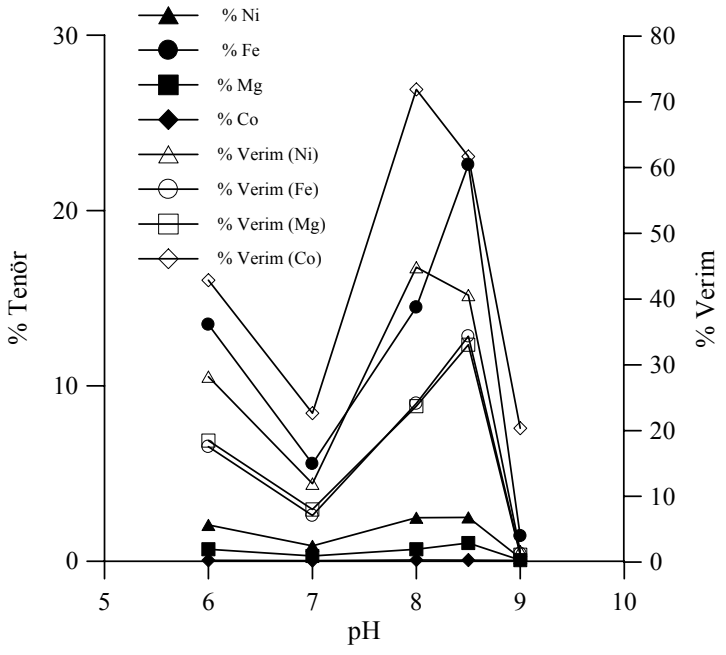
5.3.1.1. pH'ın etkisi

En iyi pH değerini saptamak için yapılan çalışmalarda, pH düzenleyici olarak % 10'luk NaOH ve % 10'luk H_2SO_4 çözeltisi kullanılmıştır ve optimum pH değerinin tespitine çalışılmıştır. Bu amaçla 6, 7, 8, 8,5 ve 9 pH değerlerinde aynı şartlarda flotasyon deneyleri tekrarlanmıştır.

Flotasyon sırasındaki deney şartları aşağıdaki şekildeki gibi uygulanmıştır.

Pülpteki katı oranı : % 20
Karıştırma hızı : 900 dev/dk
Köpürtücü (Çam yağı) :30 g/t
Bastırıcı (Na_2SiO_3) :100 g/t
Toplayıcı (Na-Oleat) :100 g/t
Köpük alma süresi :5 dk

Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.13'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre pH'ın Ni, Co, Mg, Fe tenörüne ve verime etkisi Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. pH'ın Ni, Fe, Mg ve Co tenörüne ve verimine etkisi.

Çizelge 5.13. pH'ın Ni, Fe, Mg ve Co tenörüne ve verimine etkisi.

pH	Ürünler	Miktar (g)	% Miktar	% Ni	% Ni verim	% Fe	% Fe Verim	% Mg	% Mg verim	%Co	% Co verim
6	Yüzen	49,47	24,25	2,069	28,19	13,5	17,54	0,68	18,48	0,052	42,87
	Batan	150,53	75,75	1,685	71,81	20,86	82,46	0,96	81,52	0,023	57,13
	Besleme	200,00	100,00	1,78	100,00	19,04	100	0,91	100	0,03	100
7	Yüzen	48,49	24,23	0,875	11,91	5,56	7,08	0,3	7,99	0,028	22,63
	Batan	151,51	75,77	2,069	88,09	23,35	92,92	1,11	92,01	0,031	77,37
	Besleme	200,00	100,00	1,78	100,00	19,04	100	0,91	100	0,03	100
8	Yüzen	63,44	32,22	2,478	44,85	14,48	24,12	0,68	23,70	0,068	71,90
	Batan	136,56	67,78	1,456	55,15	21,16	75,88	1,02	76,30	0,012	28,10
	Besleme	200,00	100,00	1,78	100,00	19,04	100	0,91	100	0,03	100
8,5	Yüzen	57,83	28,915	2,499	40,61	22,62	34,35	1,04	33,05	0,064	61,69
	Batan	142,17	71,085	1,487	59,39	17,58	65,65	0,86	66,95	0,016	38,31
	Besleme	200,00	100,00	1,78	100,00	19,04	100,00	0,91	100,00	0,030	100,00
9	Yüzen	33,94	16,97	0,174	1,66	1,44	1,28	0,06	1,12	0,036	20,36
	Batan	166,06	83,03	2,108	98,34	23,07	98,72	1,08	98,88	0,029	79,64
	Besleme	200,00	100,00	1,78	100	19,04	100	0,91	100	0,03	100

Çizelge 5.13 ve Şekil 5.11 incelendiğinde,Örneğin, pH 8'de konsantredeki % Ni içeriği 2,48, % Fe içeriği 14,48, % Mg içeriği 0,68 ve % Co içeriği 0,068 olarak belirlenmiştir.

i) pH'ın flotasyona etkisini belirlemek için yapılan deney sonuçlarına göre, pH 8 Ni kazanımı için en uygun değer olarak seçilmiştir.

ii) pH 8'de % 2,48 Ni konsantresi, % 44,85 verim ile elde edilmiştir.

5.3.1.2. Toplayıcı cinsinin etkisi

En uygun toplayıcı cinsini saptamak için yapılan çalışmalarda, pH 8'de 100g/t Na-Oleat, 100 g/t oleik asit ve 80 g/ton KAX (Potasyum amil ksantat) kullanılarak aynı şartlarda flotasyon deneyleri tekrarlanmıştır.

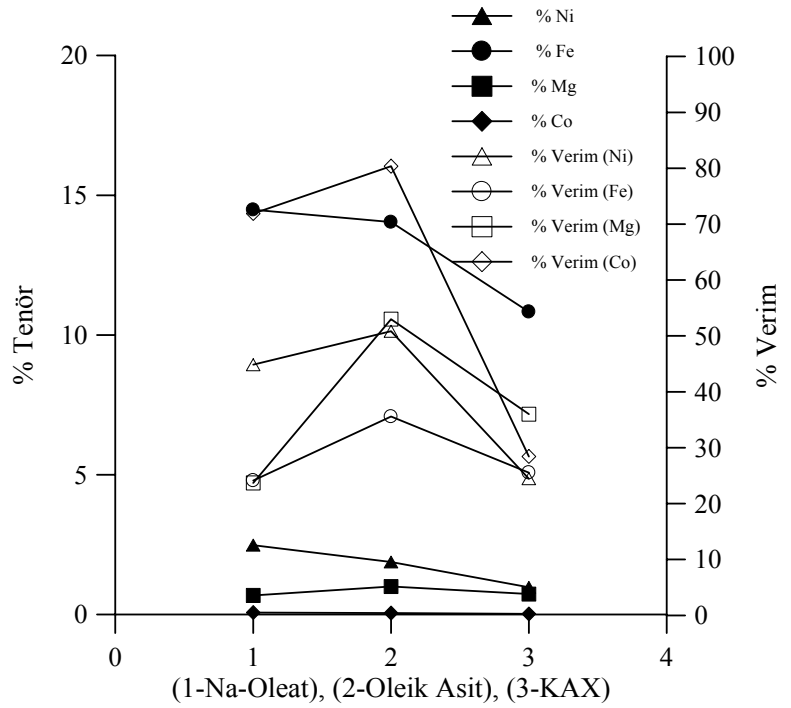
Flotasyon sırasındaki deney şartları aşağıdaki şekildeki gibi uygulanmıştır.

Pülpteki katı oranı : % 20
Karıştırma hızı : 900 dev/dk
Köpürtücü (Çam yağı) :30 g/t
Bastırıcı (Na_2SiO_3) :100 g/t
pH : 8
Köpük alma süresi :5 dk

Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.14.'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre pH'ın Ni, Co, Mg, Fe tenörüne ve verime etkisi Şekil 5.12.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.14. Toplayıcı cinsinin, Ni, Fe, Mg ve Co tenörüne ve verimine etkisi.

Deney Şartları	Ürünler	Miktar (g)	Miktar (%)	% Ni	% Ni verim	% Fe	% Fe Verim	% Mg	% Mg verim	% Co	% Co verim
Katı oranı: % 20 **Bastırıcı:** Na_2SiO_3, 100 g/ton **Toplayıcı:** Na-Oleat, 100 g/ton **Köpürtücü:** Çamyağı, 30 g/ton **pH:** 8 **Köpük alma süresi :** 5 dak.	Yüzen	63,44	32,22	2,478	44,85	14,48	24,12	0,68	23,70	0,068	71,90
	Batan	136,56	67,78	1,456	55,15	21,16	75,88	1,02	76,30	0,012	28,10
	Besleme	200,00	100,00	1,78	100,00	19,04	100	0,91	100	0,03	100
Katı oranı: % 20 **Bastırıcı:** Na_2SiO_3, 100 g/ton **Toplayıcı:** Oleik asit, 100 g/ton **Köpürtücü:** Çamyağı, 30 g/ton **pH:** 8 **Köpük alma süresi :** 5 dak.	Yüzen	96,46	48,23	1,876	50,83	14,04	35,56	1	53	0,050	80,38
	Batan	103,54	51,77	1,691	49,17	23,70	64,44	0,83	47	0,011	19,62
	Besleme	200,00	100,00	1,78	100,00	19,04	100	0,91	100	0,030	100
Katı oranı: % 20 **Bastırıcı:** Na_2SiO_3, 100 g/ton **Canlandırıcı**: Na_2S, 20g/ton **Toplayıcı:** KAX, 80 g/ton **Köpürtücü:** Çamyağı, 30 g/ton **pH:** 8 **Köpük alma süresi :** 5 dak.	Yüzen	89,73	44,86	0,97	24,45	10,83	25,52	0,73	35,99	0,019	28,42
	Batan	110,27	55,14	2,44	75,55	25,72	74,48	1,06	64,01	0,070	71,58
	Besleme	200,00	100,00	1,78	100,00	19,04	100	0,91	100	0,03	100



Şekil 5.12. Toplayıcı cinsinin, Ni, Fe, Mg ve Co tenörüne ve verimine etkisi.

Çizelge 5.14 ve Şekil 5.12 incelendiğinde, örneğin, Na-oleat kullanılması ile yüzen konsantredeki % Ni içeriği 2,48, Oleik asit'de 1,88 ve KAX'da 0,97 olarak belirlenmiştir.

i) Toplayıcı cinsinin flotasyona etkisini belirlemek için yapılan deney sonuçlarına göre, Na-oleat Ni kazanımı için en uygun değer olarak seçilmiştir.

ii) Na-oleat kullanılması ile % 2,48 Ni konsantresi, % 44,85 verim ile elde edilmiştir.

5.3.1.3. Canlandırıcı (Na_2S) miktarının etkisi

En uygun canlandırıcı miktarının belirlenmesi için yapılan çalışmalarda, pH 8'de 5, 10, 20, 30 g/t Na_2S kullanılarak aynı şartlarda flotasyon deneyleri tekrarlanmıştır.

Flotasyon sırasındaki deney şartları aşağıdaki şekildeki gibi uygulanmıştır.

Pülpteki katı oranı : % 20

Karıştırma hızı : 900 dev/dk

Köpürtücü (Çam yağı) :30 g/t

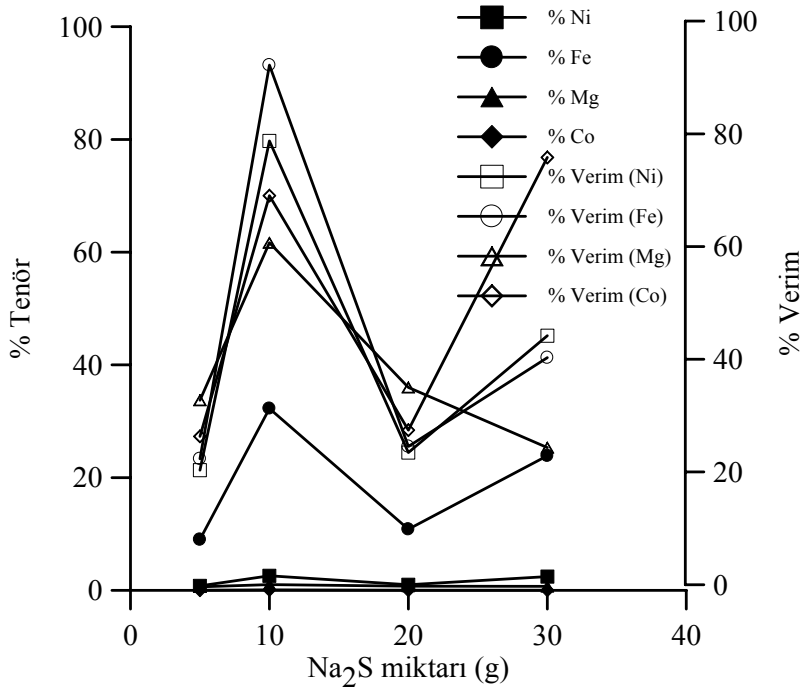
Bastırıcı (Na_2SiO_3) :100 g/t

pH : 8

Toplayıcı (KAX) : 80 g/t

Köpük alma süresi :5 dk

Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.15.'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre pH'ın Ni, Co, Mg, Fe tenörüne ve verime etkisi Şekil 5.13.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.13.Canlandırıcı miktarının, Ni, Fe, Mg ve Co tenörüne ve verimine etkisi.

Çizelge 5.15 ve Şekil 5.13 incelendiğinde, örneğin, 5 g/t Na_2S kullanılması ile yüzen konsantredeki Ni içeriği % 0,77, 10 g/t'da % 2,58, 20 g/t'da % 0,97 ve 30 g/t'da % 2,44 olarak belirlenmiştir.

i) Canlandırıcı miktarının flotasyona etkisini belirlemek için yapılan deney sonuçlarına göre, 10 g/t Na_2S kullanılması Ni kazanımı için en uygun değer olarak seçilmiştir.

ii) 10 g/t canlandırıcı kullanılması ile % 2,58 Ni tenörlü konsantre, % 79,74 verim ile elde edilmiştir.

Çizelge 5.15. Na_2S miktarının, Ni, Fe, Mg ve Co tenörüne ve verimine etkisi.

Deney Şartları	Ürünler	Miktar (g)	Miktar (%)	% Ni	% Ni verim	% Fe	% Fe Verim	% Mg	% Mg verim	% Co	% Co verim
Katı oranı: % 20 Bastırıcı: Na_2SiO_3, 100 g/ton Canlandırıcı: Na_2S, 5g/ton Toplayıcı: KAX, 80 g/ton Köpürtücü: Çamyağı, 30 g/ton pH: 8 Köpük alma süresi : 5 dak	Yüzen	98,58	49,29	0,77	21,32	9,01	23,32	0,62	33,72	0,017	27,31
	Batan	101,43	50,71	2,76	78,68	28,79	76,68	1,19	66,28	0,043	72,69
	Besleme	200,00	100,00	1,78	100,00	19,04	100	0,91	100	0,03	100
Katı oranı: % 20 Bastırıcı: Na_2SiO_3, 100 g/ton Canlandırıcı: Na_2S, 10g/ton Toplayıcı: KAX, 80 g/ton Köpürtücü: Çamyağı, 30 g/ton pH: 8 Köpük alma süresi : 5 dak	Yüzen	110,03	55,02	2,58	79,74	32,26	93,21	1,02	61,67	0,071	70,01
	Batan	89,97	44,98	0,80	20,26	2,87	6,79	0,76	38,33	0,020	29,99
	Besleme	200,00	100,00	1,78	100,00	19,04	100	0,91	100	0,03	100
Katı oranı: % 20 Bastırıcı: Na_2SiO_3, 100 g/ton Canlandırıcı: Na_2S, 20g/ton Toplayıcı: KAX, 80 g/ton Köpürtücü: Çamyağı, 30 g/ton pH: 8 Köpük alma süresi : 5 dak.	Yüzen	89,73	44,86	0,97	24,45	10,83	25,52	0,73	35,99	0,019	28,42
	Batan	110,27	55,14	2,44	75,55	25,72	74,48	1,06	64,01	0,070	71,58
	Besleme	200,00	100,00	1,78	100,00	19,04	100	0,91	100	0,030	100
Katı oranı: % 20 Bastırıcı: Na_2SiO_3, 100 g/ton Canlandırıcı: Na_2S, 30g/ton Toplayıcı: KAX, 80 g/ton Köpürtücü: Çamyağı, 30 g/ton pH: 8 Köpük alma süresi : 5 dak	Yüzen	65,83	32,92	2,442	45,17	23,88	41,28	0,70	25,32	0,007	76,80
	Batan	134,17	67,08	1,455	54,83	16,67	58,82	1,01	74,68	0,010	23,20
	Besleme	200,00	100,00	1,78	100,00	19,04	100	0,91	100	0,03	100

5.4. Kimyasal Yöntemler

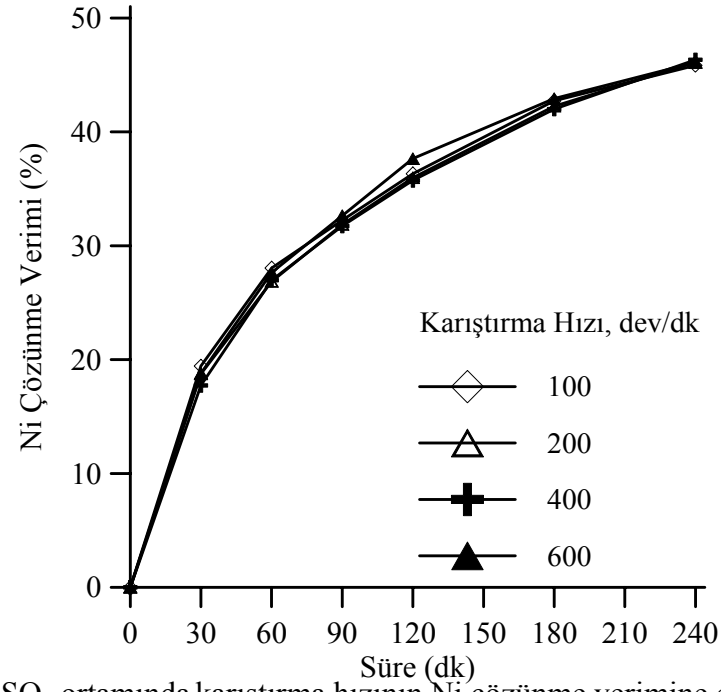
5.4.1. H_2SO_4 ile liçing çalışmaları

5.4.1.1. H_2SO_4 ortamında karıştırma hızının çözünmeye etkisi

Karıştırma hızının etkisini araştırmak için, 60 ^oC sıcaklığında, 0,5 M H_2SO_4 derişiminde, -106 μm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 100, 200, 400 ve 600 dev/dk karıştırma hızlarında ve 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ni için Çizelge 5.16 ve Şekil 5.14'de Fe için Çizelge 5.17 ve Şekil 5.15'de verilmiştir.

Çizelge 5.16. H_2SO_4 ortamında karıştırma hızının Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	100 (dev/dk)	200 (dev/dk)	400 (dev/dk)	600 (dev/dk)
30	19,43	18,74	17,73	18,79
60	28,04	26,86	26,97	27,64
90	32,24	31,86	31,73	32,64
120	36,32	35,96	35,73	37,64
180	42,73	42,26	42,00	42,92
240	45,84	46,10	46,33	46,10



Şekil 5.14. H_2SO_4 ortamında karıştırma hızının Ni çözünme verimine etkisi.

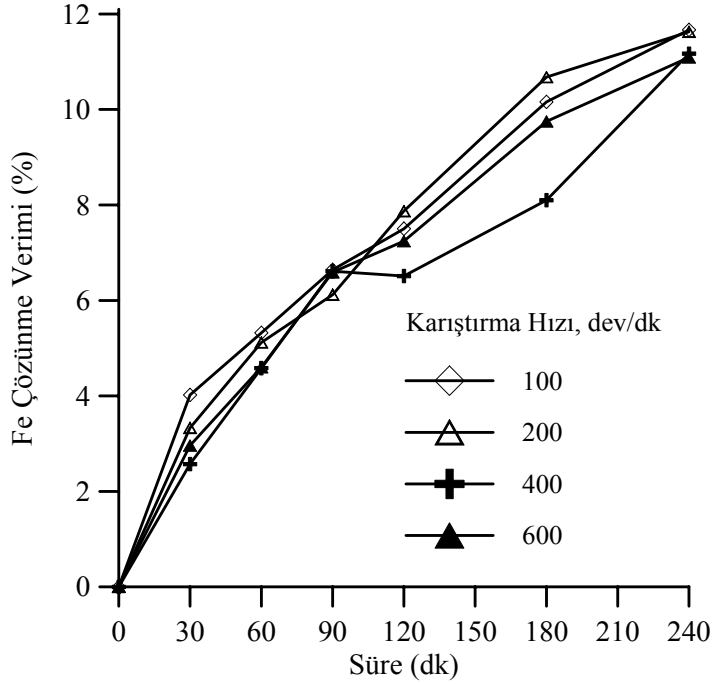
Çizelge 5.16 ve Şekil 5.14 incelendiğinde; örneğin; 100 dev/dk karıştırma hızında 240 dk sonunda Ni çözünme verimi % 45,84 iken 600 dev/dk karıştırma hızında 240 dk sonunda Ni çözünme verimi % 46,10 değerine ulaşmaktadır.

i) Karıştırma hızının Ni çözünme hızına etkisi olmadığı görülmektedir.

ii) Bu nedenle, diğer parametrelerin araştırılmasında karıştırma hızı 200 dev/dk olarak karar verilmiştir.

Çizelge 5.17. H_2SO_4 ortamında karıştırma hızının Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	100 (dev/dk)	200 (dev/dk)	400 (dev/dk)	600 (dev/dk)
30	4,02	3,33	2,57	2,96
60	5,32	5,12	4,58	4,6
90	6,64	6,12	6,61	6,59
120	7,50	7,87	6,51	7,24
180	10,16	10,68	8,10	9,75
240	11,67	11,63	11,17	11,09



Şekil 5.15. H_2SO_4 ortamında karıştırma hızının Fe çözünmesine etkisi.

Çizelge 5.17 ve Şekil 5.15 incelendiğinde; örneğin; 100 dev/dk karıştırma hızında 240 dk sonunda Fe çözünme verimi % 11,67 iken; 600 dev/dk karıştırma hızında 240 dk sonunda Fe çözünme verimi % 11,09 değerine ulaşmaktadır.

i) Karıştırma hızının, Fe çözünme hızına etkisi olmadığı görülmektedir.

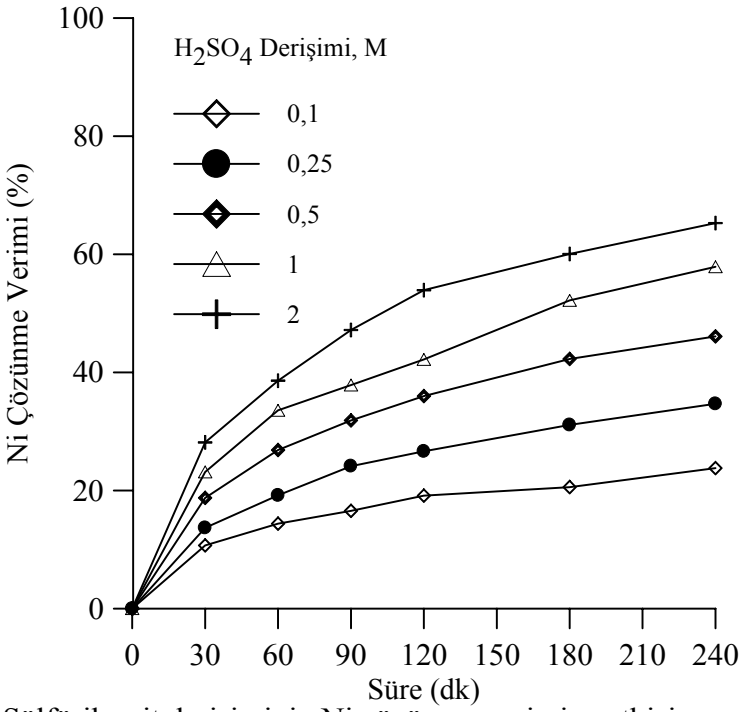
ii) Bu nedenle, diğer parametrelerin araştırılmasında karıştırma hızı 200 dev/dk olarak karar verilmiştir.

5.4.1.2. Sülfürik asit derişiminin çözünmeye etkisi

H_2SO_4 derişimi etkisini araştırmak için, 60 ^oC sıcaklığında, 200 dev/dk. karıştırma hızında, -106 μm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 0,1, 0,25, 0,5, 1 ve 2 M derişimlerinde ve 30, 60, 90, 120,180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ni için Çizelge 5.18 ve Şekil 5.16'da, Fe için Çizelge 5.19 ve Şekil 5.17'de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Sülfirik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)				
	0,1 M	0,25 M	0,5 M	1 M	2 M
30	10,69	13,68	18,74	23,14	28,15
60	14,38	19,17	26,86	33,56	38,60
90	16,54	24,13	31,86	37,84	47,17
120	19,13	26,64	35,97	42,20	53,91
180	20,57	31,10	42,26	52,19	60,05
240	23,80	34,67	46,10	57,88	65,27



Şekil 5.16. Sülfürik asit derişiminin Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.18 ve Şekil 5.16 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,1 M H_2SO_4 derişiminde % 23,80 nikel çözünürken, 2 M H_2SO_4 derişiminde ise % 65,27 değerine ulaşmaktadır.

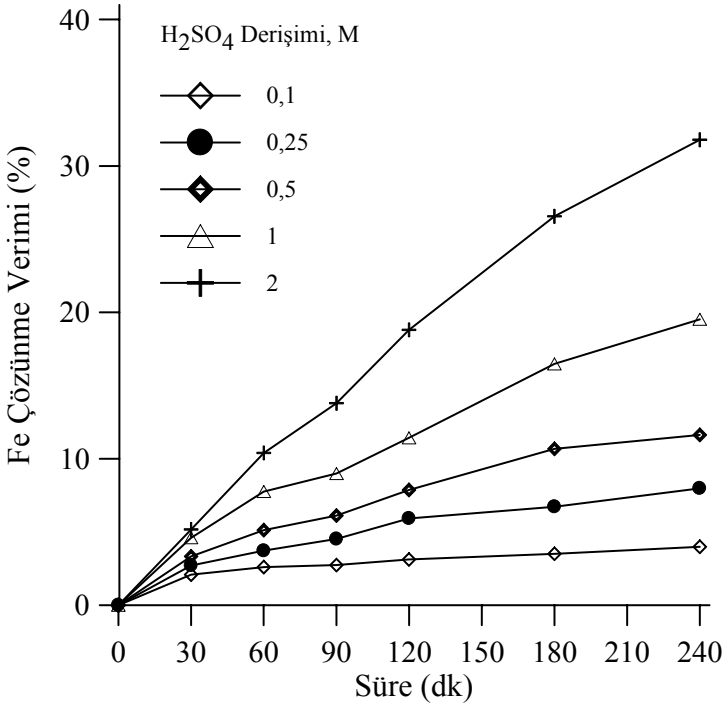
i) Asit derişimi arttıkça, nikel çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Asit derişimi, arttıkça nikel çözünme hızı da azalan bir hızda artış göstermektedir.

iii) Bu nedenle; diğer parametrelerin araştırılmasında sülfirik asit derişimi 2 M olarak karar verilmiştir.

Çizelge 5.19. Sülfirik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)				
	0,1 M	0,25 M	0,5 M	1 M	2 M
30	2,08	2,71	3,33	4,60	5,17
60	2,60	3,72	5,12	7,76	10,40
90	2,74	4,52	6,12	8,99	13,79
120	3,12	5,92	7,87	11,43	18,80
180	3,51	6,72	10,68	16,48	26,56
240	3,99	7,98	11,63	19,52	31,79



Şekil 5.17. Sülfürik asit derişiminin Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.19 ve Şekil 5.17 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,1 M H_2SO_4 derişiminde % 3,99 demir çözünürken, 2 M H_2SO_4 derişiminde ise % 31,79 değerine ulaşmaktadır.

i) Asit derişimi arttıkça demir çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Asit derişimi, arttıkça demir çözünme hızı da azalan bir hızda artış göstermektedir

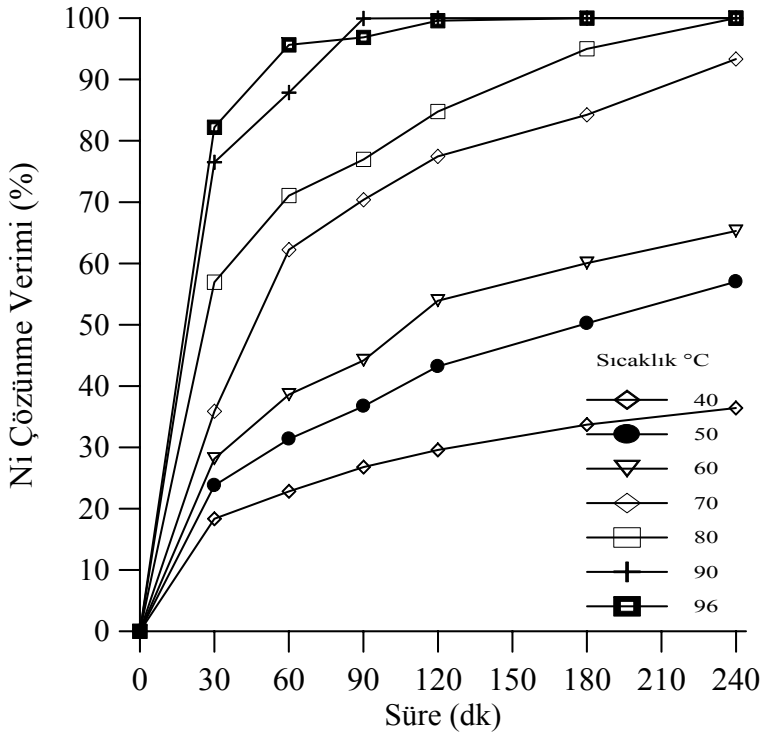
iii) Bu nedenle; diğer parametrelerin araştırılmasında sülfirik asit derişimi 2 M olarak karar verilmiştir.

5.4.1.3. H_2SO_4 ortamında sıcaklığın çözünmeye etkisi

Sıcaklığın etkisini araştırmak için, 2 M H_2SO_4 derişiminde, 200 dev/dk. karıştırma hızında, -106 μm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni için Çizelge 5.20 Şekil 5.18'de, Fe için Çizelge 5.21 ve Şekil 5.19'da verilmiştir.

Çizelge 5.20. H_2SO_4 ortamında sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)						
	40 ºC	50 ºC	60 ºC	70 ºC	80 ºC	90 ºC	96 ºC
30	18,34	23,80	28,15	35,87	56,93	76,51	82,2
60	22,83	31,36	38,6	62,23	71,06	87,88	95,65
90	26,77	36,71	44,17	70,38	76,98	99,96	96,88
120	29,58	43,19	53,91	77,45	84,78	100	99,59
180	33,71	50,23	60,05	84,24	95,00	100	100
240	36,41	57,01	65,27	93,34	100	100	100



Şekil 5.18. H_2SO_4 ortamında sıcaklığın Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.20 ve Şekil 5.18 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 40 °C'de % 36,41 nikel çözünürken, 80 °C'de ise % 100 değerine ulaşmaktadır.

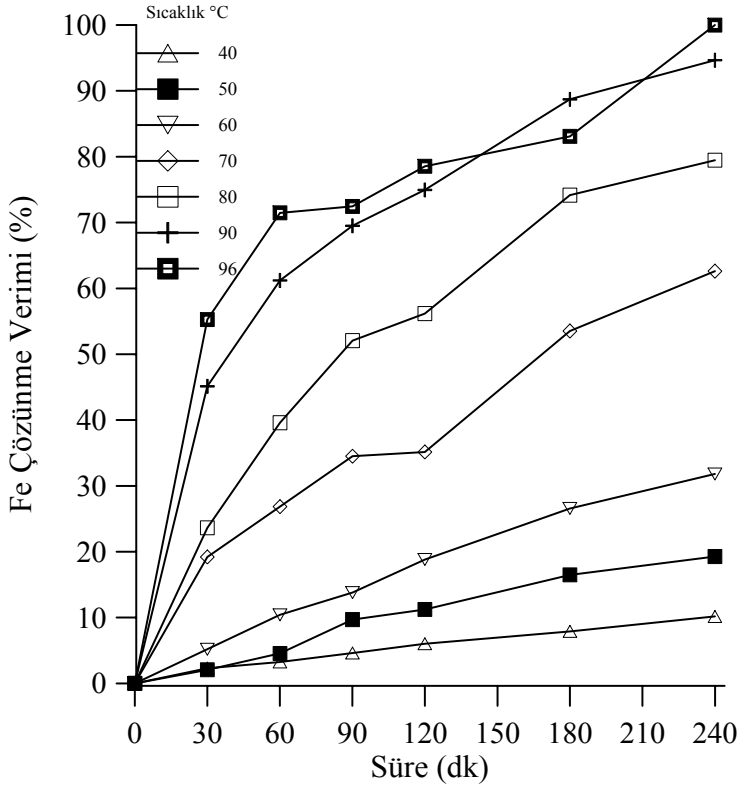
i) Sıcaklık arttıkça nikel çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Sıcaklık, arttıkça nikel çözünme hızı da azalan bir hızda artış göstermektedir.

iii) Yüksek sıcaklıklarda, sistemin kontrolü zorlaştığı için, diğer parametrelerin araştırılmasında sıcaklık 80 °C olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.21. H_2SO_4 ortamında sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)						
	40 ºC	50 ºC	60 ºC	70 ºC	80 ºC	90 ºC	96 ºC
30	2,29	2,05	5,17	19,19	23,62	45,12	55,26
60	3,24	4,54	10,4	26,84	39,59	61,2	71,47
90	4,6	9,68	13,79	34,49	52,06	69,52	72,46
120	6,01	11,22	18,8	35,15	56,17	74,97	78,56
180	7,89	16,47	26,56	53,51	74,18	88,73	83,1
240	10,17	19,26	31,79	62,61	79,48	94,67	100



Şekil 5.19. H_2SO_4 ortamında sıcaklığın Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.21 ve Şekil 5.19 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 40 °C'de % 10,17 demir çözünürken, kaynama sıcaklığında (96 °C) ise % 100 değerine ulaşmaktadır.

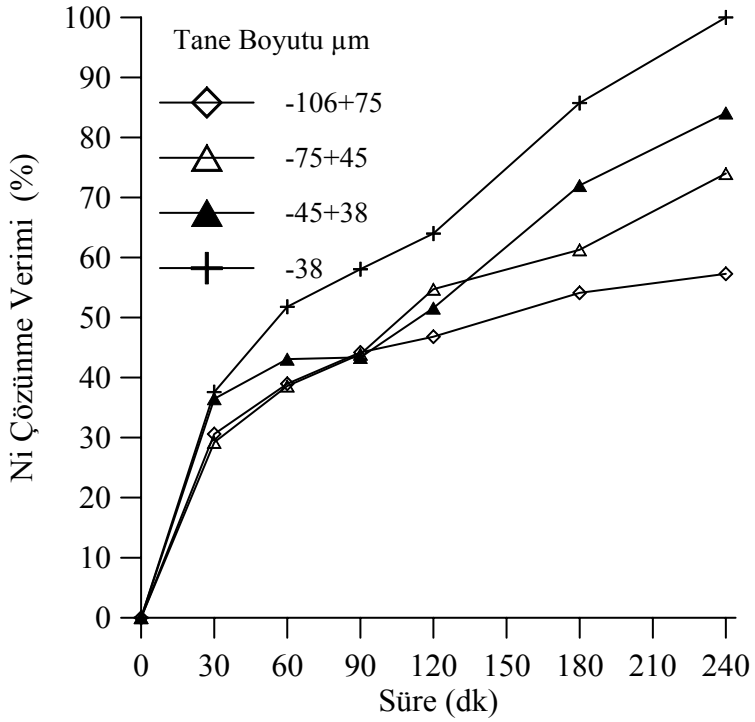
i) Sıcaklık arttıkça demir çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.
ii) Sıcaklık, arttıkça demir çözünme hızı da azalan bir hızda artış göstermektedir.
iii) Yüksek sıcaklıklarda, sistemin kontrolü zorlaştığı için, diğer parametrelerin araştırılmasında sıcaklık 80 °C olarak belirlenmiştir.

5.4.1.4. H_2SO_4 ortamında tane boyutunun çözünmeye etkisi

Tane boyutunun etkisini araştırmak için, 80 °C sıcaklığında, 2 M H_2SO_4 derişiminde, 200 dev/dk. karıştırma hızında, -106+75, -75+45, -45+38, -38 µm tane boyutunda cevher numunelerinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni için Çizelge 5.22 Şekil 5.20'de, Fe için Çizelge 5.23 ve Şekil 5.21'de verilmiştir.

Çizelge 5.22. H_2SO_4 ortamında tane boyutunun Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	-106+75	-75+45	-45+38	-38
30	30,6	29,2	36,46	37,57
60	38,96	38,59	43,07	51,78
90	44,18	43,89	43,37	58,04
120	46,8	54,73	51,57	63,99
180	54,11	61,29	71,98	85,75
240	57,27	73,99	84,09	100



Şekil 5.20. H_2SO_4 ortamında tane boyutunun Ni çözünme verimine etkisi.

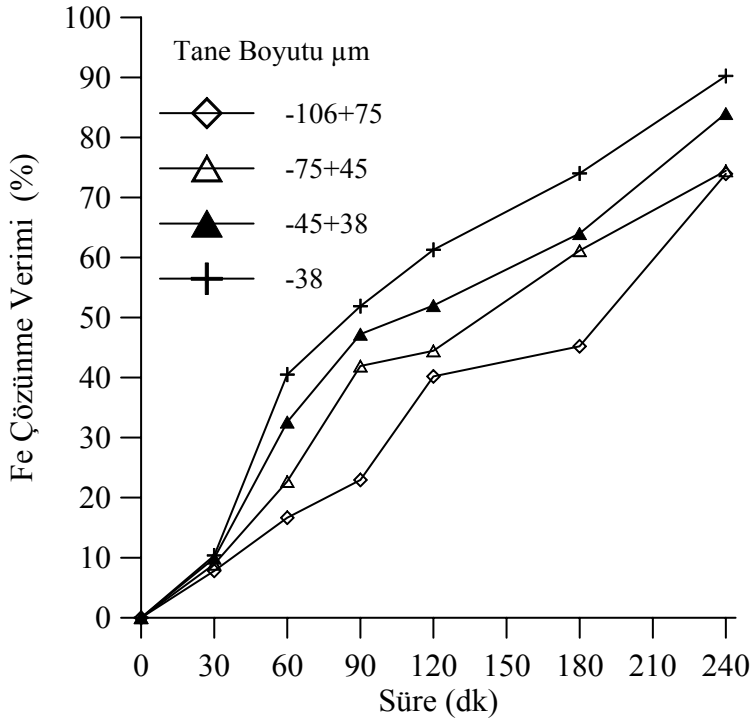
Çizelge 5.22 ve Şekil 5.20 incelendiğinde; örneğin, -106+75 µm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda nikel çözünmesi % 57,27 iken -38 µm tane boyutunda nikel çözünmesi % 100'e ulaşmaktadır.

i) Tane boyutu küçüldükçe nikel kazanma verimi artmaktadır.

ii) Tane boyutu arttıkça nikel çözünme hızıda azalmaktadır.

Çizelge 5.23. H_2SO_4 ortamında tane boyutunun Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	-106+75	-75+45	-45+38	-38
30	7,8	8,91	9,91	10,36
60	16,63	22,7	32,59	40,49
90	22,95	41,92	47,23	51,88
120	40,17	44,45	52	61,29
180	45,19	61,15	64	74,01
240	73,93	74,45	84	90,26



Şekil 5.21. H_2SO_4 ortamında tane boyutunun Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.23 ve Şekil 5.21 incelendiğinde; örneğin, -106+75 µm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda demir çözünmesi % 73,93 iken -38 µm tane boyutunda demir çözünmesi % 90,26'ya ulaşmaktadır.

i) Tane boyutu küçüldükçe demir kazanma verimi artmaktadır.

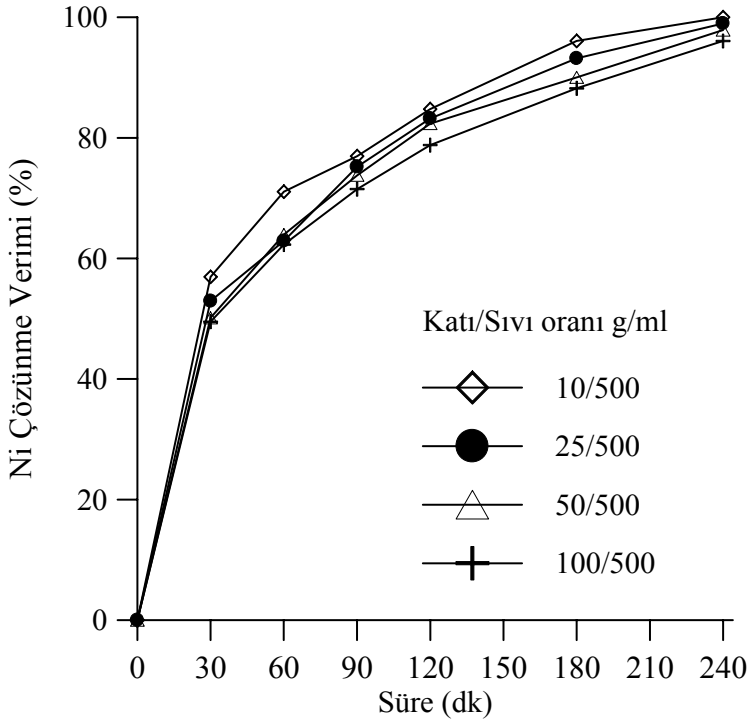
ii) Tane boyutu arttıkça demir çözünme hızıda azalmaktadır.

5.4.1.5. H_2SO_4 ortamında katı/sıvı oranının çözünmeye etkisi

Katı/Sıvı oranı etkisini araştırmak için, 80 °C sıcaklığında, 2 M H_2SO_4 derişiminde, 200 dev/dk. karıştırma hızında, -106 µm tane boyutunda cevher numunesi kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni için Çizelge 5.24 Şekil 5.22'de, Fe için Çizelge 5.25 ve Şekil 5.23'de verilmiştir.

Çizelge 5.24. H_2SO_4 ortamında katı/sıvı oranının Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	10/500	25/500	50/500	100/500
30	56,93	52,92	50,15	49,49
60	71,06	62,89	63,96	62,3
90	76,98	75,21	73,77	71,49
120	84,78	83,21	82,37	78,8
180	96,09	93,19	90,04	88,23
240	100	98,99	97,89	96,07



Şekil 5.22. H_2SO_4 ortamında katı/sıvı oranının Ni çözünme verimine etkisi.

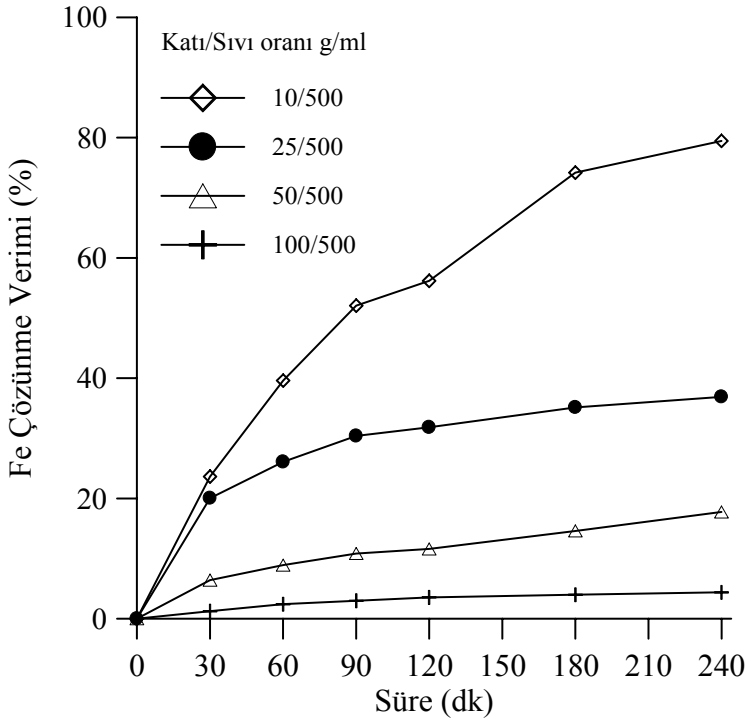
Çizelge 5.24 ve Şekil 5.22 incelendiğinde; örneğin,10/500 katı/sıvı oranında 240 dakikanın sonunda nikel çözünmesi % 100 iken, 100/500 katı/sıvı oranında nikel çözünmesi % 96,07'ye ulaşmaktadır.

i) Katı/sıvı oranı arttıkça nikel kazanma verimi azda olsa düşmektedir.

ii) Katı/sıvı oranı arttıkça nikel çözünme hızı da azalmaktadır.

Çizelge 5.25. H_2SO_4 ortamında katı/sıvı oranının Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	10/500	25/500	50/500	100/500
30	23,62	20,05	6,41	1,25
60	39,59	26,07	8,91	2,41
90	52,06	30,4	10,84	2,98
120	56,17	31,82	11,59	3,54
180	74,18	35,15	14,59	3,98
240	79,48	36,9	17,74	4,37



Şekil 5.23. H_2SO_4 ortamında katı/sıvı oranının Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.25 ve Şekil 5.23 incelendiğinde; örneğin, 10/500 katı/sıvı oranında 240 dakikanın sonunda demir çözünmesi % 79,48 iken, 100/500 katı/sıvı oranında demir çözünmesi % 4,37'ye ulaşmaktadır.

i) Katı/sıvı oranı arttıkça demir kazanma verimi düşmektedir.

ii) Katı/sıvı oranı arttıkça demir çözünme hızı da azalmaktadır.

5.4.2. HCl ile liçing çalışmaları

5.4.2.1. HCl ortamında karıştırma hızının çözünmeye etkisi

Karıştırma hızının etkisini araştırmak, 60 ^{o}C sıcaklığında, 0,5 M HCl derişiminde -106 µm tane boyutunda cevher numunesinden 10 gkullanarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 100, 200, 400 ve 600 dev/dk. karıştırma hızlarında ve 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ni için Çizelge 5.26 ve Şekil 5.24'de Fe için Çizelge 5.27 ve Şekil 5.25'de verilmiştir.

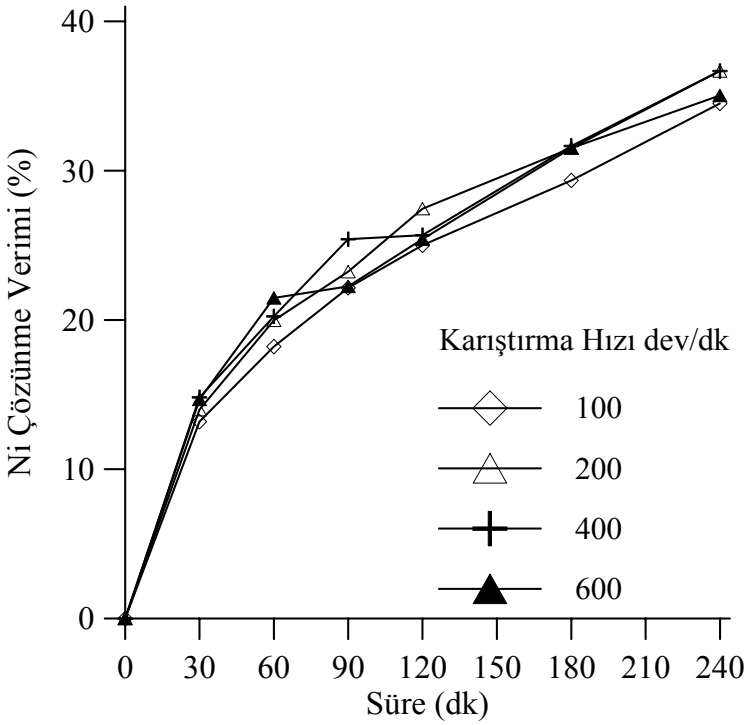
Çizelge 5.26. HCl ortamında karıştırma hızının Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	100 (dev/dk)	200 (dev/dk)	400 (dev/dk)	600 (dev/dk)
30	13,18	13,99	14,81	14,67
60	18,21	19,97	20,24	21,47
90	22,15	23,23	25,41	22,25
120	25	27,45	25,68	25,41
180	29,35	31,52	31,66	31,52
240	34,51	36,68	36,68	35,05

Çizelge 5.26 ve Şekil 5.24 incelendiğinde; Örneğin; 100 dev/dk karıştırma hızında 240 dk sonunda Ni çözünme verimi % 34,51 iken 600 dev/dk karıştırma hızında 240 dk sonunda Ni çözünme verimi % 35,05 değerine ulaşmaktadır.

i) Karıştırma hızının Ni çözünme hızına etkisi olmadığı görülmektedir.

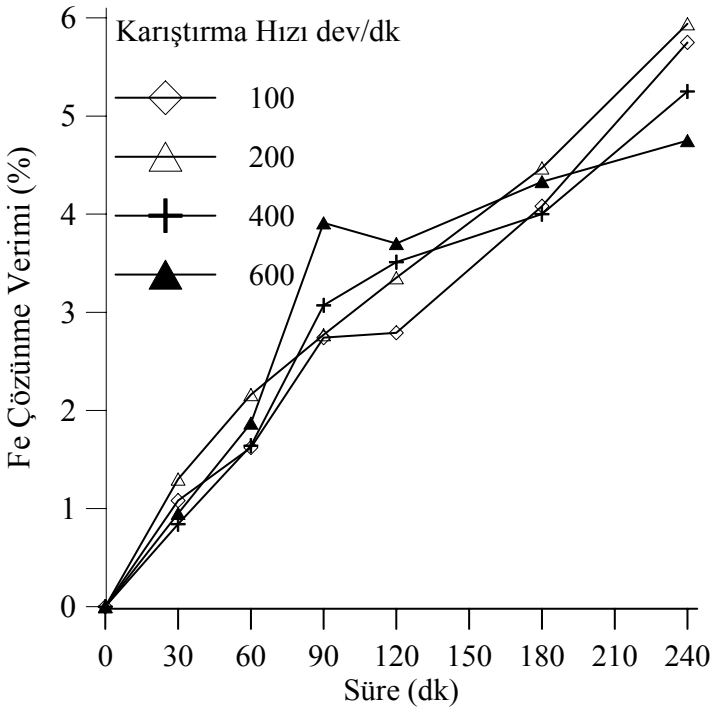
ii) Bu nedenle, diğer parametrelerin araştırılmasında karıştırma hızı 200 dev/dk olarak karar verilmiştir.



Şekil 5.24. HCl ortamında karıştırma hızının Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.27. HCl ortamında karıştırma hızının Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	100 (dev/dk)	200 (dev/dk)	400 (dev/dk)	600 (dev/dk)
30	1,08	1,30	0,84	0,95
60	1,62	2,16	1,64	1,87
90	2,74	2,77	3,07	3,91
120	2,79	3,35	3,51	3,70
180	4,08	4,47	4,00	4,33
240	5,75	5,94	5,25	4,75



Şekil 5.25. HCl ortamında karıştırma hızının Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.27 ve Şekil 5.25 incelendiğinde; örneğin; 100 dev/dk karıştırma hızında 240 dk sonunda Fe çözünme verimi % 5,75 iken 600 dev/dk karıştırma hızında 240 dk sonunda Fe çözünme verimi % 4,75 değerine ulaşmaktadır.

i) Karıştırma hızının Fe çözünme hızına etkisi olmadığı görülmektedir.

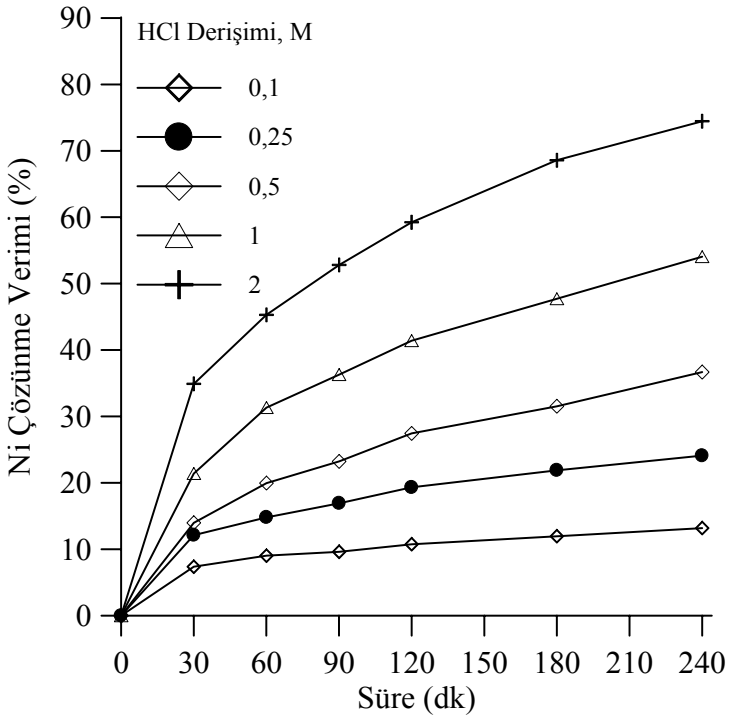
ii) Bu nedenle, diğer parametrelerin araştırılmasında karıştırma hızı 200 dev/dk olarak karar verilmiştir.

5.4.2.2. Hidroklorik asit derişiminin çözünmeye etkisi

HCl derişimi etkisini araştırmak için, 60 ^{o}C sıcaklığında, 200 dev/dk. karıştırma hızında, -106 µm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 0,1, 0,25, 0,5, 1 ve 2 M derişimlerinde ve 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ni için Çizelge 5.28 de ve Şekil 5.26'de; Fe için Çizelge 5.29 ve Şekil 5.27'de verilmiştir.

Çizelge 5.28. Hidroklorik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)				
	0,1 M	0,25 M	0,5 M	1 M	2 M
30	7,36	12,12	13,99	21,41	34,90
60	9,04	14,80	19,97	31,33	45,30
90	9,62	16,92	23,23	36,30	52,81
120	10,76	19,32	27,45	41,41	59,24
180	11,96	21,88	31,52	47,72	68,59
240	13,19	24,10	36,68	54,05	74,46



Şekil 5.26. Hidroklorik asit derişiminin Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.28 ve Şekil 5.26 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,1 M HCl derişiminde % 13,19 nikel çözünürken, 2 M HCl derişiminde ise % 74,46 değerine ulaşmaktadır.

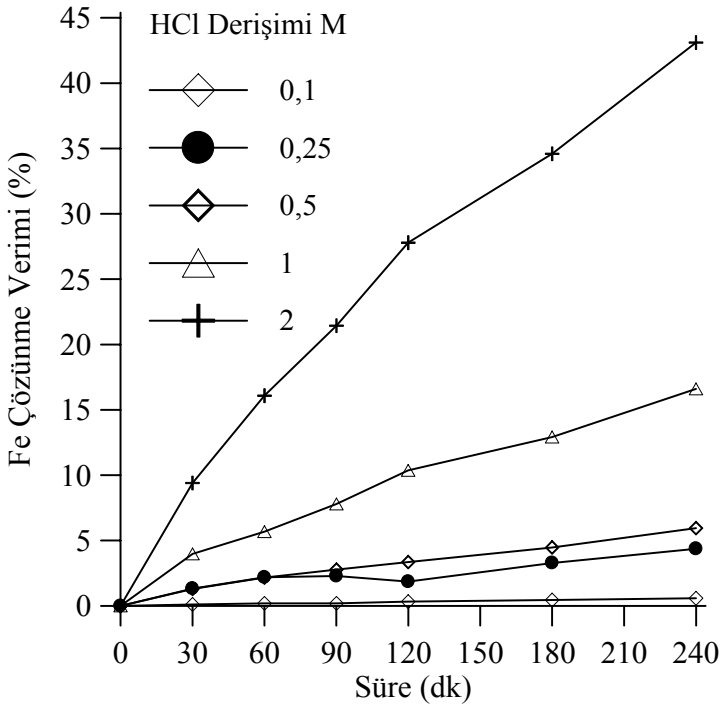
i) Asit derişimi arttıkça, nikel çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Asit derişimi, arttıkça nikel çözünme hızı da azalan bir hızda artış göstermektedir.

iii) Bu nedenle; diğer parametrelerin araştırılmasında hidroklorik asit derişimi 2 M olarak karar verilmiştir.

Çizelge 5.29. Hidroklorik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)				
	0,1 M	0,25 M	0,5 M	1 M	2 M
30	0,11	1,32	1,30	3,98	9,40
60	0,19	2,18	2,16	5,68	16,08
90	0,19	2,29	2,77	7,80	21,44
120	0,32	1,86	3,35	10,37	27,79
180	0,45	3,28	4,47	12,92	34,60
240	0,58	4,37	5,94	16,60	43,11



Şekil 5.27. Hidroklorik asit derişiminin Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.29 ve Şekil 5.27 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,1 M HCl derişiminde % 0,58 demir çözünürken, 2 M HCl derişiminde ise % 43,11 değerine ulaşmaktadır.

i) Asit derişimi arttıkça, demir çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Asit derişimi, arttıkça demir çözünme hızı da azalan bir hızda artış göstermektedir.

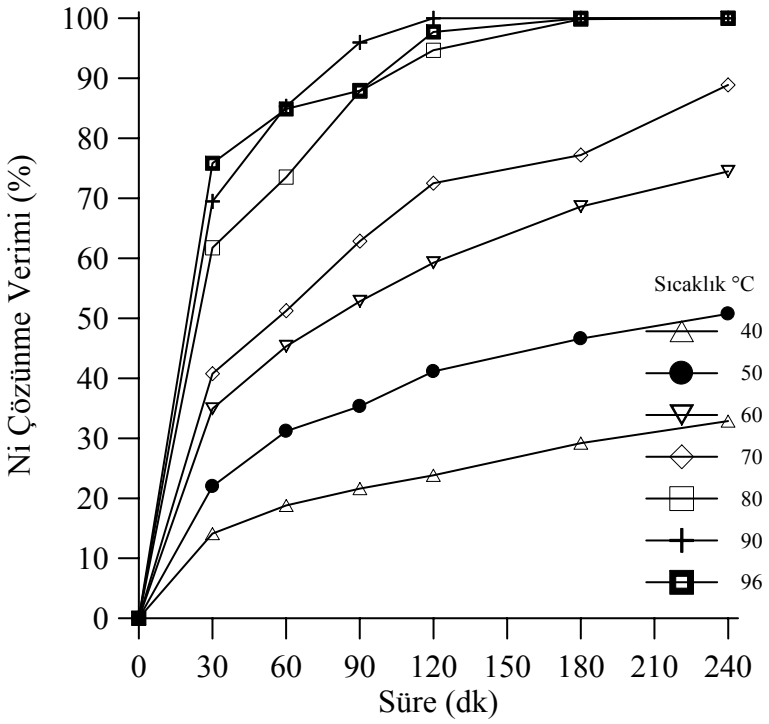
iii) Bu nedenle; diğer parametrelerin araştırılmasında hidroklorik asit derişimi 2 M olarak karar verilmiştir.

5.4.2.3. HCl ortamında sıcaklığın çözünmeye etkisi

Sıcaklığın etkisini araştırmak için, 2 M HCl derişiminde, 200 dev/dk. karıştırma hızında, -106 µm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni için Çizelge 5.30 Şekil 5.28'de, Fe için Çizelge 5.31 ve Şekil 5.29'da verilmiştir.

Çizelge 5.30. HCl ortamında sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)						
	40 ºC	50 ºC	60 ºC	70 ºC	80 ºC	90 ºC	96 ºC
30	14,1	21,98	34,9	40,76	61,73	69,46	75,84
60	18,8	31,18	45,3	51,25	73,52	85,33	84,89
90	21,6	35,3	52,81	62,85	87,85	95,98	87,96
120	23,83	41,13	59,24	72,5	94,66	100	97,72
180	29,18	46,59	68,59	77,21	99,85	100	100
240	32,85	50,72	74,46	88,88	100	100	100



Şekil 5.28. HCl ortamında sıcaklığın Ni çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.30 ve Şekil 5.28 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 40 °C'de % 32,85 nikel çözünürken, 80 °C'de ise % 100 değerine ulaşmaktadır.

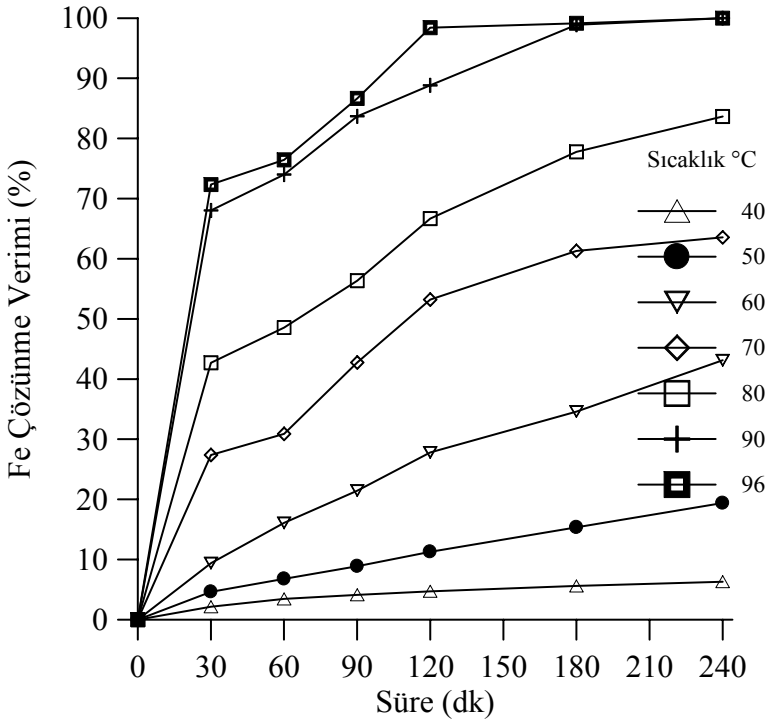
i) Sıcaklık arttıkça nikel çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Sıcaklık, arttıkça nikel çözünme hızı da azalan bir hızda artış göstermektedir.

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

Çizelge 5.31. HCl ortamında sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)						
	40 ºC	50 ºC	60 ºC	70 ºC	80 ºC	90 ºC	96 ºC
30	2,14	4,62	9,4	27,38	42,7	68,02	72,32
60	3,44	6,78	16,08	30,88	48,56	74	76,45
90	4,13	8,88	21,44	42,75	56,35	83,69	86,68
120	4,71	11,28	27,79	53,21	66,67	88,84	98,43
180	5,6	15,34	34,6	61,29	77,77	98,91	99,15
240	6,31	19,37	43,11	63,54	83,65	100	100



Şekil 5.29. HCl ortamında sıcaklığın Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.31 ve Şekil 5.29 incelendiğinde; Örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 40 °C'de % 2,14 demir çözünürken, 90 °C'de ise % 100 değerine ulaşmaktadır.

i) Sıcaklık arttıkça demir çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Sıcaklık, arttıkça demir çözünme hızı da azalan bir hızda artış göstermektedir.

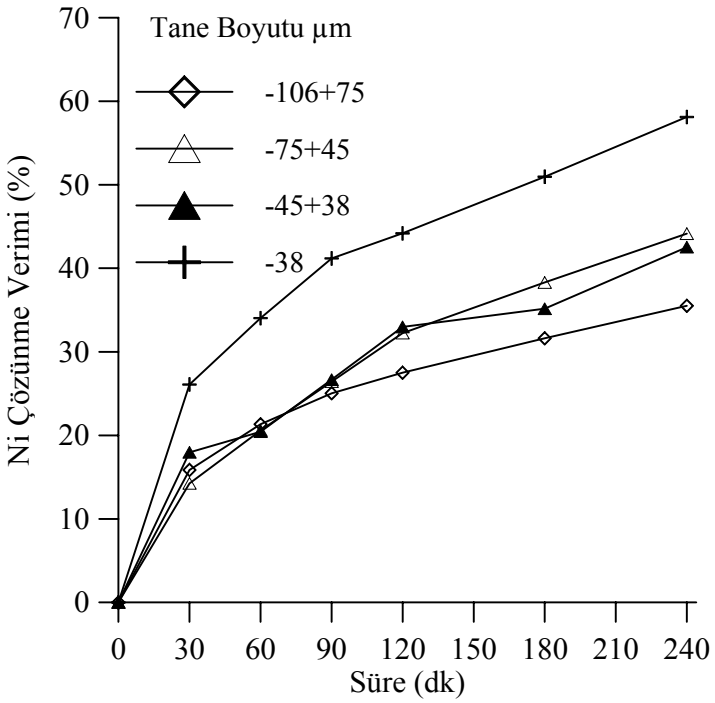
iii) Yüksek sıcaklıklarda, sistemin kontrolü zorlaştığı için, diğer parametrelerin araştırılmasında sıcaklık 80 °C olarak belirlenmiştir.

5.4.2.4. HCl ortamında tane boyutunun çözünmeye etkisi

Tane boyutunun etkisini araştırmak için, 80 °C sıcaklığında, 2 M HCl derişiminde, 200 dev/dk. karıştırma hızında, -106+75, -75+45, -45+38, -38 µm tane boyutunda cevher numunelerinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni için Çizelge 5.32 Şekil 5.30'da, Fe için Çizelge 5.33 ve Şekil 5.31'de verilmiştir.

Çizelge 5.32. HCl ortamında tane boyutunun Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	-106+75	-75+45	-45+38	-38
30	15,85	14,24	17,96	26,08
60	21,32	20,57	20,44	34,03
90	25,03	26,43	26,67	41,18
120	27,49	32,23	32,98	44,18
180	31,61	38,30	35,16	50,96
240	35,50	44,14	42,52	58,12



Şekil 5.30. HCl ortamında tane boyutunun Ni çözünme verimine etkisi.

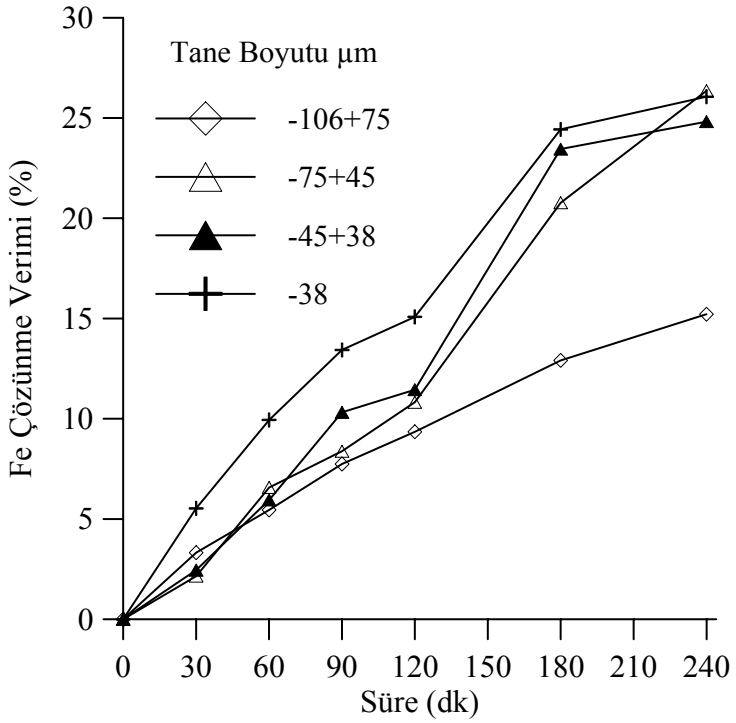
Çizelge 5.32 ve Şekil 5.30 incelendiğinde; -106+75 µm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda nikel çözünmesi % 35,50 iken -38 µm tane boyutunda nikel çözünmesi % 58,12'ye ulaşmaktadır.

i) Tane boyutu küçüldükçe nikel kazanma verimi artmaktadır.

ii) Tane boyutu arttıkça nikel çözünme hızıda azalmaktadır.

Çizelge 5.33. HCl ortamında tane boyutunun Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	-106+75	-75+45	-45+38	-38
30	3,32	2,15	2,45	5,53
60	5,45	6,57	5,95	9,94
90	7,74	8,38	10,32	13,43
120	9,35	10,82	11,45	15,08
180	12,91	20,77	23,45	24,43
240	15,21	26,36	24,82	26,06



Şekil 5.31. HCl ortamında tane boyutunun Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.33 ve Şekil 5.31 incelendiğinde; örneğin, -106+75 µm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda demir çözünmesi % 15,21 iken -38 µm tane boyutunda demir çözünmesi % 26,06'ya ulaşmaktadır.

i) Tane boyutu küçüldükçe demir kazanma verimi artmaktadır.

ii) Tane boyutu arttıkça demir çözünme hızıda azalmaktadır.

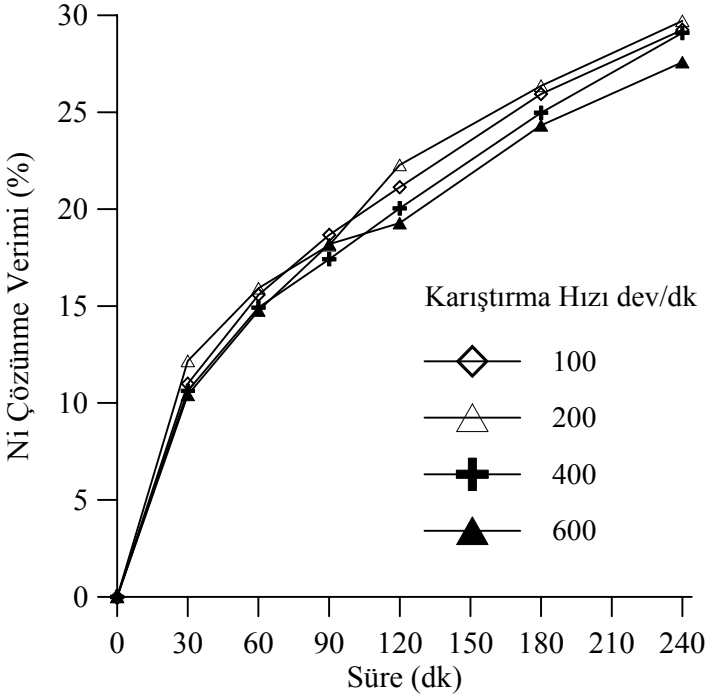
5.4.3. HNO_3 ile liçing çalışmaları

5.4.3.1. HNO_3 ortamında karıştırma hızının çözünmeye etkisi

Karıştırma hızının etkisini araştırmak için, 60 ^oC sıcaklığında, 0,5 M HNO_3 derişiminde, -106 μm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 100, 200, 400 ve 600 dev/dk karıştırma hızlarında ve 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ni için Çizelge 5.34 ve Şekil 5.32'de Fe için Çizelge 5.35 ve Şekil 5.33'de verilmiştir.

Çizelge 5.34. HNO_3 ortamında karıştırma hızının Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	100 (dev/dk)	200 (dev/dk)	400 (dev/dk)	600 (dev/dk)
30	10,99	12,17	10,63	10,42
60	15,58	15,92	14,92	14,77
90	18,67	18,14	17,42	18,19
120	21,13	22,28	20,04	19,28
180	25,94	26,36	24,97	24,32
240	29,25	29,71	29,09	27,58



Şekil 5.32. HNO_3 ortamında karıştırma hızının Ni çözünme verimine etkisi.

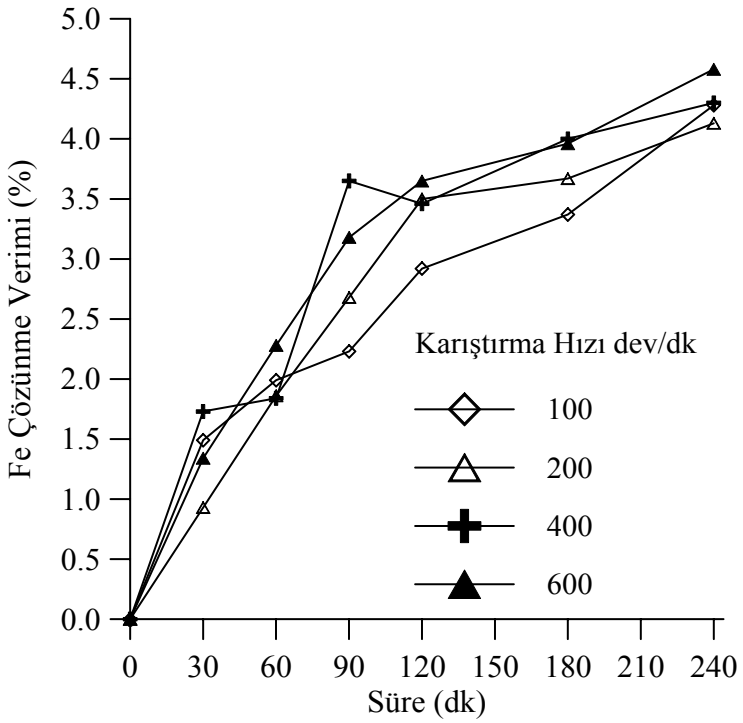
Çizelge 5.34 ve Şekil 5.32 incelendiğinde; örneğin; 100 dev/dk karıştırma hızında 240 dk sonunda Ni çözünme verimi % 29,25 iken 600 dev/dk karıştırma hızında 240 dk sonunda Ni çözünme verimi % 27,58 değerine ulaşmaktadır.

i) Karıştırma hızının Ni çözünme verimine etkisi olmadığı görülmektedir.

ii) Bu nedenle, diğer parametrelerin araştırılmasında karıştırma hızı 200 dev/dk olarak karar verilmiştir.

Çizelge 5.35. HNO_3 ortamında karıştırma hızının Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	100 (dev/dk)	200 (dev/dk)	400 (dev/dk)	600 (dev/dk)
30	1,49	0,93	1,73	1,34
60	1,99	1,86	1,84	2,28
90	2,23	2,68	3,65	3,18
120	2,92	3,50	3,46	3,65
180	3,37	3,67	4,00	3,96
240	4,28	4,13	4,30	4,58



Şekil 5.33. HNO_3 ortamında karıştırma hızının Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.35 ve Şekil 5.33 incelendiğinde; örneğin; 100 dev/dk karıştırma hızında 240 dk sonunda Fe çözünme verimi % 4,28 iken 600 dev/dk karıştırma hızında 240 dk sonunda Fe çözünme verimi % 4,58 değerine ulaşmaktadır.

i) Karıştırma hızının Fe çözünme verimine etkisi olmadığı görülmektedir.

ii) Bu nedenle, diğer parametrelerin araştırılmasında karıştırma hızı 200 dev/dk olarak karar verilmiştir.

5.4.3.2. HNO_3 ortamında sıcaklığın çözünmeye etkisi

Sıcaklığın etkisini araştırmak için, 0,5 M HNO_3 derişiminde, 200 dev/dk karıştırma hızında, -106 μm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.36 ve Şekil 5.34'de, Fe için Çizelge 5.37 ve Şekil 5.35'de verilmiştir.

Çizelge 5.36. HNO_3 ortamında sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi

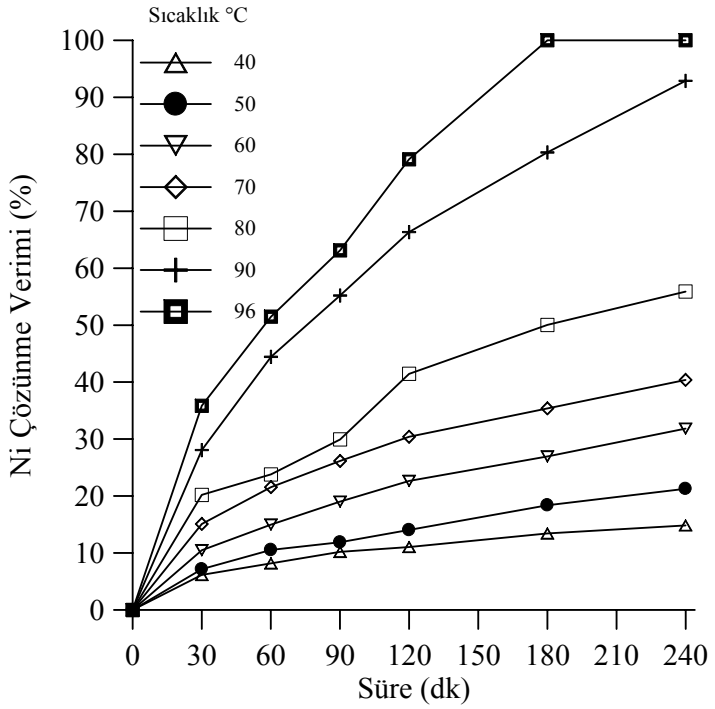
Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)						
	40 ºC	50 ºC	60 ºC	70 ºC	80 ºC	90 ºC	96 ºC
30	6,14	7,16	10,48	15,1	20,2	28,06	35,84
60	8,18	10,52	14,97	21,56	23,79	44,43	51,48
90	10,19	11,88	19,01	26,15	29,92	55,19	63,13
120	11,05	14,04	22,65	30,39	41,44	66,33	79,12
180	13,42	18,37	26,94	35,37	50,03	80,33	100
240	14,85	21,26	31,82	40,38	55,9	92,89	100

Çizelge 5.36 ve Şekil 5.34 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 40 °C'de % 14,85 nikel çözünürken, kaynama sıcaklığında (96 °C) ise % 100 değerine ulaşmaktadır.

i) Sıcaklık arttıkça nikel çözünme verimlerinin de bir artış olmaktadır.

ii) Sıcaklık, arttıkça nikel çözünme hızı da azalan bir hızda artış göstermektedir.

iii) Yüksek sıcaklıklarda, sistemin kontrolü zorlaştığı için, diğer parametrelerin araştırılmasında sıcaklık 80 °C olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.34. HNO_3 ortamında sıcaklığın Ni çözünme verimine etkisi.
Çizelge 5.37. HNO_3 ortamında sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi.

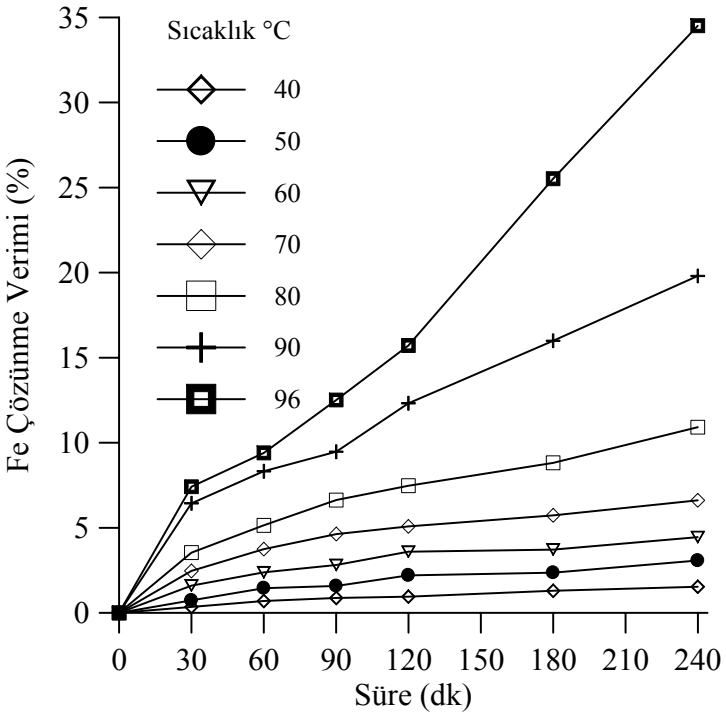
Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)						
	40 ºC	50 ºC	60 ºC	70 ºC	80 ºC	90 ºC	96 ºC
30	0,35	0,73	1,6	2,46	3,54	6,44	7,41
60	0,69	1,45	2,38	3,74	5,14	8,32	9,4
90	0,87	1,58	2,81	4,63	6,63	9,47	12,51
120	0,95	2,2	3,59	5,08	7,47	12,32	15,71
180	1,29	2,36	3,72	5,73	8,82	15,99	25,52
240	1,53	3,07	4,45	6,61	10,91	19,8	34,51

Çizelge 5.37 ve Şekil 5.35 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 40 °C'de % 1,53 demir çözünürken, kaynama sıcaklığında (96 °C) ise % 34,51 değerine ulaşmaktadır.

i) Sıcaklık arttıkça demir çözünme verimlerinin de bir artış olmaktadır.

ii) Sıcaklık, arttıkça demir çözünme hızı da azalan bir hızda artış göstermektedir.

iii) Yüksek sıcaklıklarda, sistemin kontrolü zorlaştığı için, diğer parametrelerin araştırılmasında sıcaklık 80 °C olarak belirlenmiştir



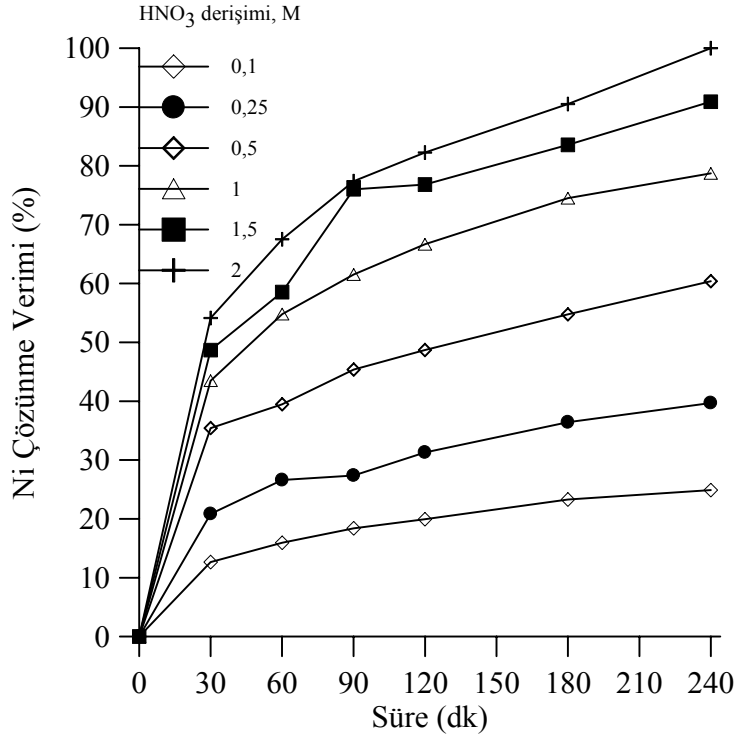
Sekil 5.35. HNO_3 ortamında sıcaklığın Fe çözünme verimine etkisi.

5.4.3.3. Nitrik asit derişiminin çözünmeye etkisi

HNO_3 derişimi etkisini araştırmak için, Kaynama sıcaklığında (96 ^oC), 200 dev/dk. karıştırma hızında, -106 µm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 0,1, 0,25, 0,5, 1, 1,5 ve 2 M derişimlerinde ve 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ni için Çizelge 5.38 de ve Şekil 5.36'da; Fe için Çizelge 5.39 ve Şekil 5.37'de verilmiştir.

Çizelge 5.38. Nitrik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi.

Süre (Dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)					
	0,1 M	0,25 M	0,5 M	1 M	1,5 M	2 M
30	12,65	20,84	33,42	43,48	48,67	54,13
60	15,92	26,59	43,46	54,80	58,52	67,51
90	18,40	27,38	55,37	61,52	76,03	77,39
120	19,93	31,30	61,29	66,66	76,83	82,27
180	23,27	36,43	65,75	74,50	83,57	90,50
240	24,88	39,70	85,39	78,72	90,91	100,00



Şekil 5.36. Nitrik asit derişiminin Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.38 ve Şekil 5.36 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,1 M HNO_3 derişiminde % 24,88 nikel çözünürken, 2 M HNO_3 derişiminde ise % 100 değerine ulaşmaktadır.

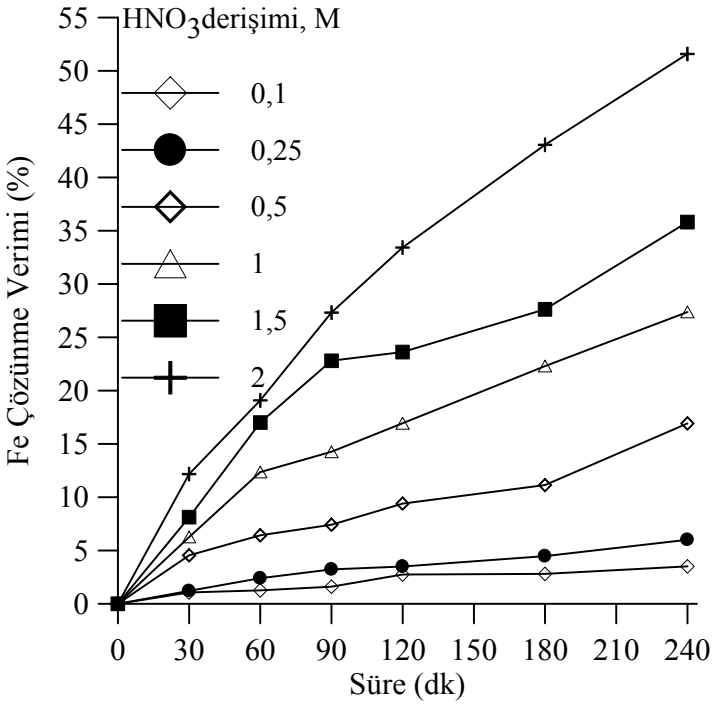
i) Asit derişimi arttıkça nikel çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Asit derişimi, arttıkça nikel çözünme hızı da azalan bir hızda artış göstermektedir.

iii) Bu nedenle, diğer parametrelerin araştırılmasında nitrik asit derişimi 2 M olarak karar verilmiştir.

Çizelge 5.39. Nitrik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi.

Süre (Dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)					
	0,1 M	0,25 M	0,5 M	1 M	1,5 M	2 M
30	1,06	1,21	4,54	6,27	8,13	12,17
60	1,26	2,4	6,42	12,36	17	19,08
90	1,6	3,22	7,41	14,26	22,8	27,32
120	2,75	3,5	9,4	16,94	23,62	33,43
180	2,8	4,47	11,13	22,3	27,62	43,07
240	3,51	6,01	16,92	27,38	35,81	51,59



Şekil 5.37. Nitrik asit derişiminin Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.39 ve Şekil 5.37 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,1 M HNO_3 derişiminde % 3,51 demir çözünürken, 2 M HNO_3 derişiminde ise % 51,59 değerine ulaşmaktadır.

i) Asit derişimi arttıkça demir çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Asit derişimi, arttıkça demir çözünme hızı da azalan bir hızda artış göstermektedir.

iii) Diğer parametrelerin araştırılmasında nitrik asit derişimi 2 M olarak karar verilmiştir.

5.4.3.4. HNO_3 ortamında tane boyutunun çözünmeye etkisi

Tane boyutunun etkisini araştırmak için, 80 °C sıcaklığında, 2 M HNO_3 derişiminde, 200 dev/dk. karıştırma hızında, -106+75, -75+45, -45+38, -38 µm tane boyutunda cevher numunelerinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni için Çizelge 5.40 Şekil 5.38'de, Fe için Çizelge 5.41 ve Şekil 5.39'da verilmiştir.

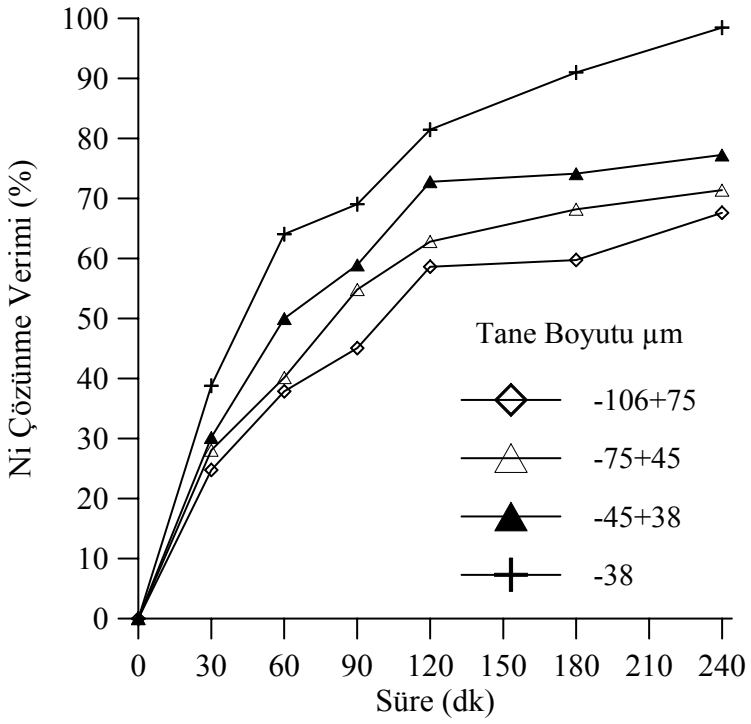
Çizelge 5.40. HNO_3 ortamında tane boyutunun Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	-106+75	-75+45	-45+38	-38
30	24,76	28,05	30,17	38,79
60	37,86	40,16	49,99	64,05
90	45,06	54,83	58,92	69,04
120	58,62	62,81	72,78	81,48
180	59,75	68,19	74,13	91,00
240	67,61	71,38	77,25	98,48

Çizelge 5.40 ve Şekil 5.38 incelendiğinde; örneğin, -106+75 µm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda nikel çözünmesi % 67,61 iken -38 µm tane boyutunda nikel çözünmesi % 98,48'e ulaşmaktadır.

i) Tane boyutu küçüldükçe nikel kazanma verimi artmaktadır.

ii) Tane boyutu arttıkça nikel çözünme hızıda azalmaktadır.



Şekil 5.38. HNO_3 ortamında tane boyutunun Ni çözünme verimine etkisi.

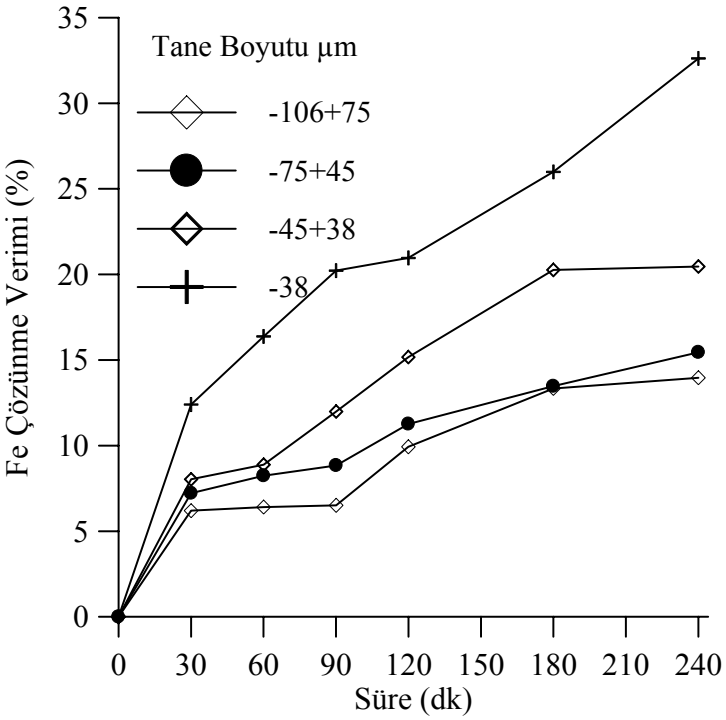
Çizelge 5.41. HNO_3 ortamında tane boyutunun Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	-106+75	-75+45	-45+38	-38
30	6,20	7,22	8,03	12,40
60	6,41	8,24	8,89	16,38
90	6,51	8,84	11,99	20,22
120	9,93	11,26	15,17	20,96
180	13,34	13,47	20,26	25,99
240	13,96	15,45	20,46	32,62

Çizelge 5.41 ve Şekil 5.39 incelendiğinde; örneğin, -106+75 µm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda demir çözünmesi % 13,96 iken -38 µm tane boyutunda nikel çözünmesi % 32,62'ya ulaşmaktadır.

i) Tane boyutu küçüldükçe demir kazanma verimi artmaktadır.

ii) Tane boyutu arttıkça demir çözünme hızı da azalmaktadır.



Şekil 5.39. HNO_3 ortamında tane boyutunun Fe çözünme verimine etkisi.

5.4.4. Sülfürik asitli ortamda potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) liçi

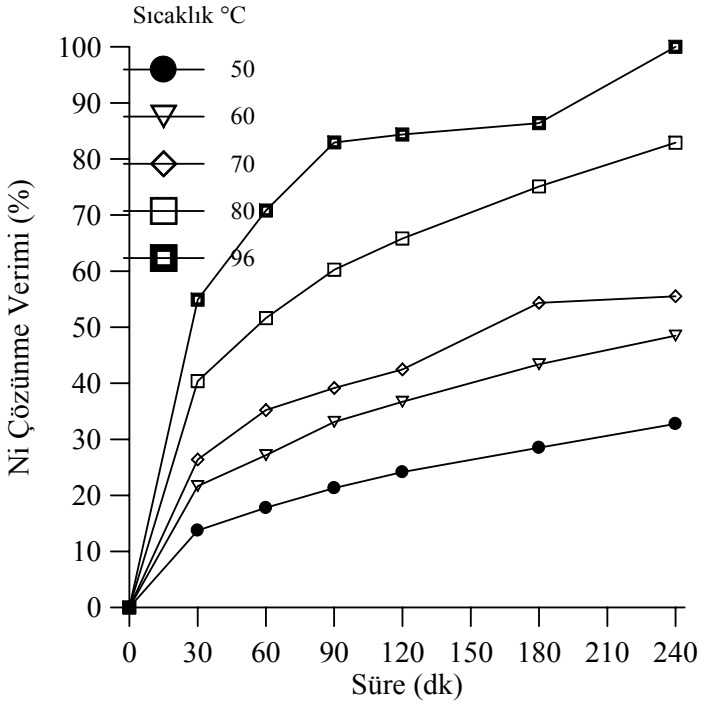
Cevher içerisinde az miktarda da olsa, % 0,016 kükürt bulunması nedeniyle potasyum dikromat etkisinde liçing deneyleri yapılmıştır. Buna istinaden farklı yükseltgen reaktifleride kullanılmıştır.

5.4.4.1. H_2SO_4 ortamında $K_2Cr_2O_7$ etkisinde sıcaklığın çözünmeye etkisi

Sülfürik asitli ortamda potasyum dikromatın ($K_2Cr_2O_7$), Ni, Fe ve Mg çözündürülmesine etkisi araştırılmıştır. Sıcaklığın etkisini araştırmak için 0,5 M H_2SO_4 ve 0,1 M $K_2Cr_2O_7$ derişiminde, 400 dev/dk karıştırma hızında, -106 µm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.42 ve Şekil 5.40'da, Fe için Çizelge 5.43 ve Şekil 5.41'de ve Mg için ise, Çizelge 5.44 ve Şekil 5.42'de verilmiştir.

Çizelge 5.42. H_2SO_4 ortamında $K_2Cr_2O_7$ etkisinde sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)									
	50 ºC	pH	60 ºC	pH	70 ºC	pH	80 ºC	pH	96 ºC	pH
0		0,67		0,76		0,57		0,60		0,55
30	13,73	0,69	21,65	0,78	26,39	0,60	40,38	0,64	54,91	0,57
60	17,77	0,70	27,16	0,79	35,20	0,62	51,61	0,65	70,81	0,61
90	21,30	0,72	33,09	0,81	39,14	0,63	60,25	0,66	82,96	0,63
120	24,15	0,74	36,67	0,83	42,46	0,66	65,81	0,69	84,38	0,66
180	28,49	0,79	43,37	0,88	54,32	0,68	75,11	0,72	86,41	0,69
240	32,74	0,82	48,48	0,90	55,51	0,73	82,91	0,78	100,00	0,71



Şekil 5.40. H_2SO_4 ortamında $K_2Cr_2O_7$ etkisinde sıcaklığın Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.42 ve Şekil 5.40 incelendiğinde; örneğin, 240 dk sonunda 50 °C'de nikel çözünmesi % 32,74 iken; kaynama sıcaklığında (96 °C) % 100'e ulaşmaktadır.

i) Sıcaklık arttıkça nikel çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

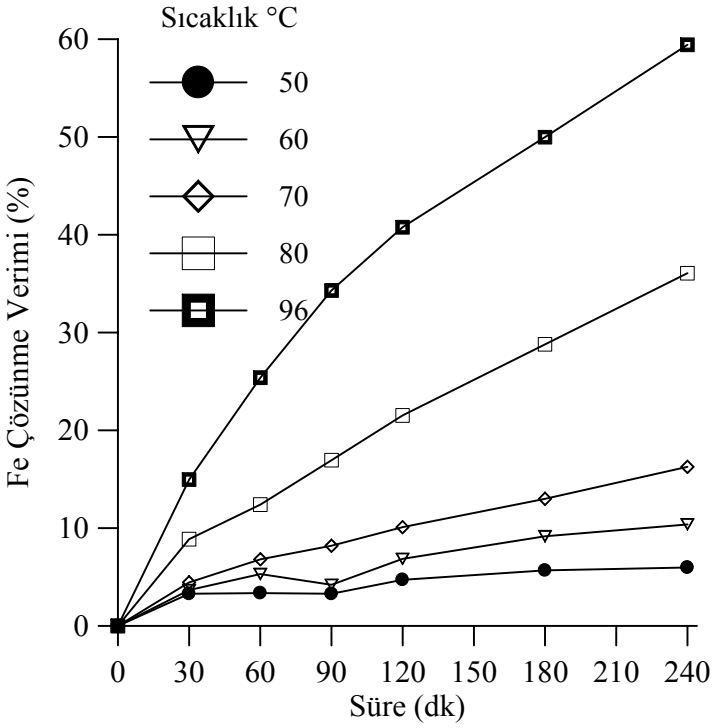
ii) Sıcaklık, arttıkça nikel çözünme hızı da artmaktadır.

iii) 240 dakika 60 °C, 0,5 M H_2SO_4 liçi sonunda % 46,33 nikel çözünmesi meydana gelirken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,1 M $K_2Cr_2O_7$ liçi sonunda % 48,48 nikel çözünmektedir. $K_2Cr_2O_7$ ilavesinin nikel çözünmesine etkisinin fazla olmadığı gözlenmiştir.

Çizelge 5.43. H_2SO_4 ortamında $K_2Cr_2O_7$ etkisinde sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)									
	50 ºC	pH	60 ºC	pH	70 ºC	pH	80 ºC	pH	96 ºC	pH
0		0,67		0,76		0,57		0,60		0,55
30	3,28	0,69	3,66	0,78	4,45	0,60	8,87	0,64	14,96	0,57
60	3,36	0,70	5,30	0,79	6,81	0,62	12,40	0,65	25,38	0,61
90	3,28	0,72	4,20	0,81	8,19	0,63	16,94	0,66	34,30	0,63
120	4,71	0,74	6,85	0,83	10,09	0,66	21,52	0,69	40,76	0,66
180	5,67	0,79	9,16	0,88	12,99	0,68	28,79	0,72	49,97	0,69
240	5,97	0,82	10,38	0,90	16,26	0,73	36,06	0,78	59,42	0,71

,



Şekil 5.41. H_2SO_4 ortamında $K_2Cr_2O_7$ etkisinde sıcaklığın Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.43 ve Şekil 5.41 incelendiğinde; örneğin, 240 dk sonunda 50 °C'de demir çözünmesi % 11,17 iken; kaynama sıcaklığında (96 °C) % 59,42'ye ulaşmaktadır.

i) Sıcaklık arttıkça demir çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

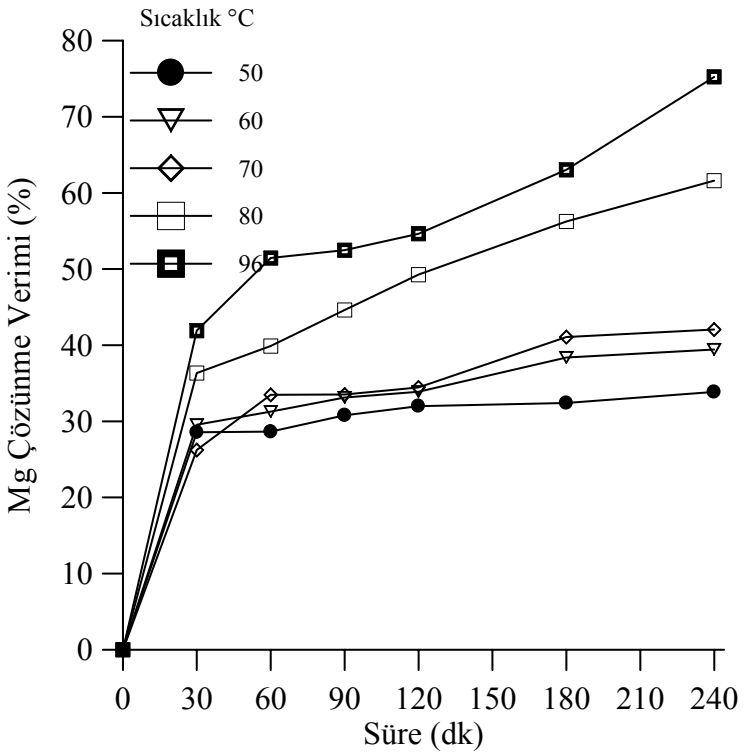
ii) Sıcaklık, arttıkça demir çözünme hızı da artmaktadır.

iii) 240 dakika 60 °C, 0,5 M H_2SO_4 liçi sonunda % 11,17 demir çözünmesi

meydana gelirken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,1 M $K_2Cr_2O_7$ liçi sonunda % 10,38 demir çözünmektedir. $K_2Cr_2O_7$ ilavesinin demir çözünmesine etkisinin olmadığı gözlenmiştir.

Çizelge 5.44. H_2SO_4 ortamında $K_2Cr_2O_7$ etkisinde sıcaklığın Mg çözünmesine etkisi.

Süre	Mg Çözünme Verimi (%)									
(dakika)	50 ºC	pH	60 ºC	pH	70 ºC	pH	80 ºC	pH	95 ºC	pH
0		0,67		0,76		0,57		0,6		0,55
30	28,56	0,69	29,54	0,78	26,22	0,60	36,34	0,64	41,90	0,57
60	28,64	0,70	31,28	0,79	33,47	0,62	39,89	0,65	51,45	0,61
90	32,00	0,72	33,13	0,81	33,51	0,63	44,62	0,66	52,47	0,63
120	30,79	0,74	33,89	0,83	34,45	0,66	49,26	0,69	54,63	0,66
180	32,41	0,79	38,38	0,88	41,06	0,68	56,25	0,72	63,05	0,69
240	33,85	0,82	39,44	0,90	42,05	0,73	61,62	0,78	75,25	0,71



Şekil 5.42. H_2SO_4 ortamında $K_2Cr_2O_7$ etkisinde sıcaklığın Mg çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.44 ve Şekil 5.42 incelendiğinde; örneğin, 240 dk sonunda 50 °C'de magnezyum çözünmesi % 33,85 iken; kaynama sıcaklığında (96 °C) % 75,25'e ulaşmaktadır.

i) Sıcaklık arttıkça magnezyum çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Sıcaklık, arttıkça magnezyum çözünme hızı da artmaktadır.

iii) 240 dakika 60 °C, 0,5 M H_2SO_4 liçi sonunda % 58,60 magnezyum çözünmesi meydana gelirken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,1 M $K_2Cr_2O_7$ liçi sonunda % 39,44 magnezyum çözünmektedir. $K_2Cr_2O_7$ ilavesinin magnezyum çözünmesine etkisinin olmadığı gözlenmiştir.

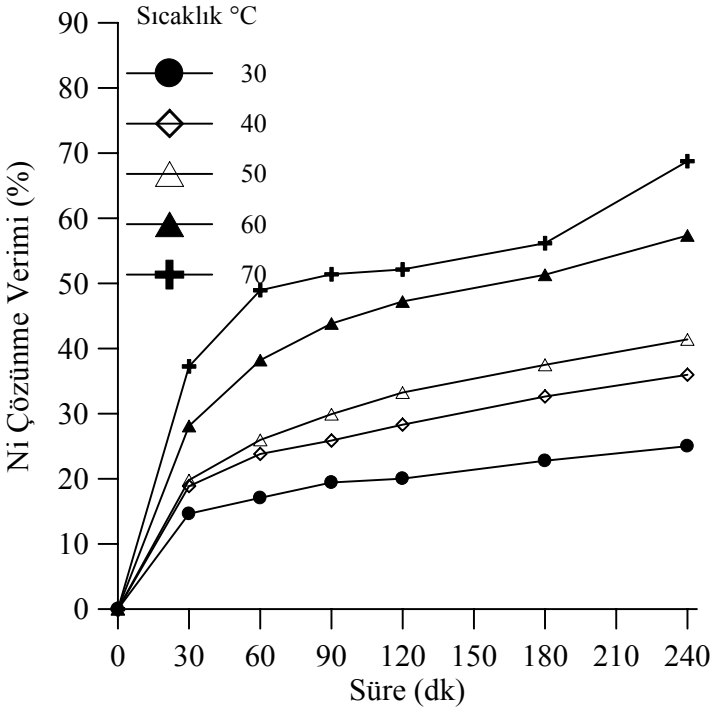
5.4.5. Sülfürik asitli ortamda hidrojen peroksit (H_2O_2) liçi

5.4.5.1. H_2SO_4 ortamında H_2O_2 etkisinde sıcaklığın çözünmeye etkisi

Sülfürik asitli ortamda hidrojen peroksitin (H_2O_2), Ni, Fe ve Mg çözündürülmesine etkisi araştırılmıştır. Sıcaklığın etkisini araştırmak için 0,5 M H_2SO_4 ve 0,5 M H_2O_2 derişiminde, 400 dev/dk karıştırma hızında, -106 μm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.45 ve Şekil 5.43'de, Fe için Çizelge 5.46 ve Şekil 5.44'de ve Mg için ise, Çizelge 5.47 ve Şekil 5.45'de, verilmiştir.

Çizelge 5.30. H_2SO_4 ortamında H_2O_2 etkisinde sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)									
	30 ºC	pH	40 ºC	pH	50 ºC	pH	60 ºC	pH	70 ºC	pH
0		0,60		0,65		0,60		0,64		0,70
30	14,64	0,61	18,88	0,67	19,79	0,61	28,11	0,66	37,26	0,72
60	17,07	0,62	23,82	0,70	25,96	0,63	38,22	0,67	48,95	0,73
90	19,43	0,63	25,87	0,72	29,92	0,65	43,84	0,69	51,40	0,75
120	20,03	0,66	28,32	0,74	33,23	0,67	47,21	0,71	52,14	0,78
180	22,77	0,69	32,64	0,77	37,50	0,70	51,33	0,73	56,17	0,80
240	25,01	0,72	35,98	0,80	41,39	0,73	57,36	0,76	68,76	0,82



Şekil 5.43. H_2SO_4 ortamında H_2O_2 etkisinde sıcaklığın Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.45 ve Şekil 5.43 incelendiğinde; örneğin, 240 dk sonunda 30 °C'de nikel çözünmesi % 25,01 iken; 70 °C'de % 68,76'ya ulaşmaktadır.

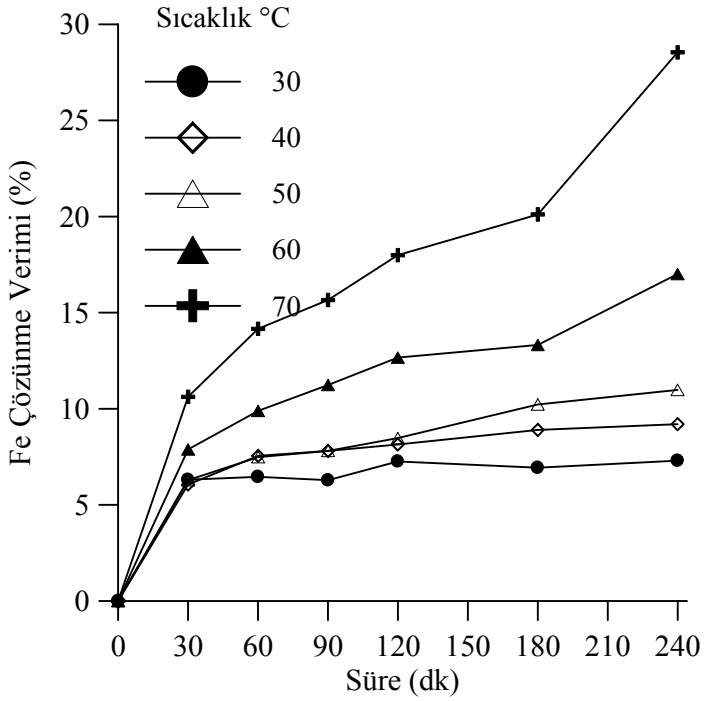
i) Sıcaklık arttıkça nikel çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Sıcaklık, arttıkça nikel çözünme hızı da artmaktadır.

iii) 240 dakika 60 °C 0,5 M H_2SO_4 liçi sonunda, % 46,33 nikel çözünmesi meydana gelirken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 M H_2O_2 liçi sonunda % 57,36 nikel çözünmektedir. H_2O_2 ilavesinin nikel çözünmesine etkisinin olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 5.46. H_2SO_4 ortamında H_2O_2 etkisinde sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)									
	30 ºC	pH	40 ºC	pH	50 ºC	pH	60 ºC	pH	70 ºC	pH
0		0,60		0,65		0,60		0,64		0,70
30	6,31	0,61	6,06	0,67	6,28	0,61	7,88	0,66	10,62	0,72
60	6,46	0,62	7,55	0,7	7,48	0,63	9,89	0,67	14,16	0,73
90	6,28	0,63	7,81	0,72	7,81	0,65	11,24	0,69	15,66	0,75
120	7,26	0,66	8,14	0,74	8,47	0,67	12,66	0,71	17,99	0,78
180	6,93	0,69	8,90	0,77	10,22	0,70	13,32	0,73	20,11	0,80
240	7,30	0,72	9,20	0,8	10,98	0,73	17,01	0,76	28,54	0,82



Şekil 5.44. H_2SO_4 ortamında H_2O_2 etkisinde sıcaklığın Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.46 ve Şekil 5.44 incelendiğinde; örneğin, 240 dk sonunda 30 °C'de demir çözünmesi % 7,30 iken; 70 °C'de % 28,54'e ulaşmaktadır.

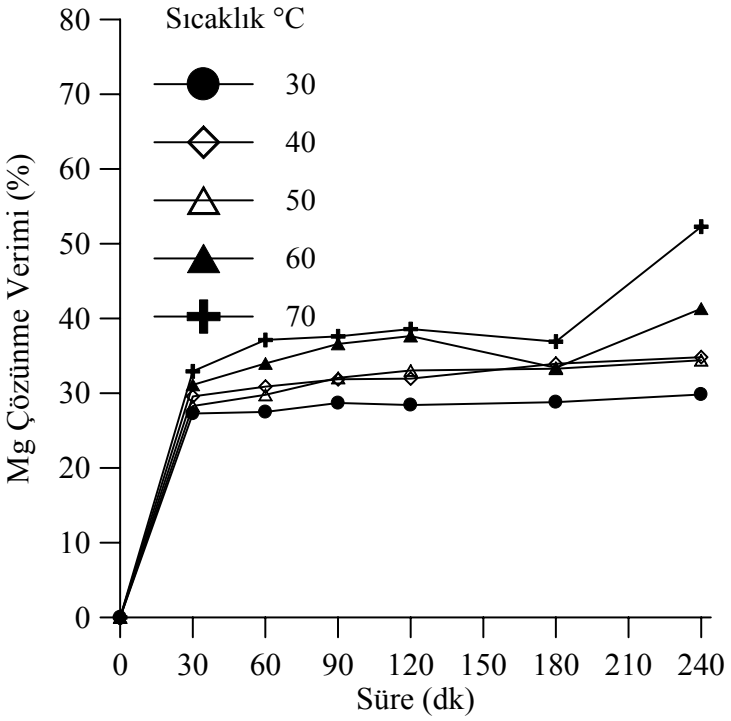
i) Sıcaklık arttıkça demir çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Sıcaklık, arttıkça demir çözünme hızı da artmaktadır.

iii) 240 dakika 60 °C 0,5 M H_2SO_4 liçi sonunda, % 11,17 demir çözünmesi meydana gelirken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 M H_2O_2 liçi sonunda, % 17,01 demir çözünmektedir. H_2O_2 ilavesinin nikel çözünmesine etkisinin olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 5.47. H_2SO_4 ortamında H_2O_2 etkisinde sıcaklığın Mg çözünmesine etkisi.

Süre (dakika)	Mg Çözünme Verimi (%)									
	30 ºC	pH	40 ºC	pH	50 ºC	pH	60 ºC	pH	70 ºC	pH
0		0,60		0,65		0,60		0,64		0,70
30	27,26	0,61	29,55	0,67	28,27	0,61	31,10	0,66	32,91	0,72
60	27,48	0,62	30,88	0,70	29,77	0,63	33,97	0,67	37,11	0,73
90	28,67	0,63	31,85	0,72	32,03	0,65	36,58	0,69	37,59	0,75
120	28,41	0,66	31,94	0,74	33,04	0,67	37,64	0,71	38,57	0,78
180	28,80	0,69	33,93	0,77	33,26	0,7	33,40	0,73	36,89	0,80
240	29,82	0,72	34,81	0,80	34,41	0,73	41,30	0,76	52,26	0,82



Şekil 5.45. H_2SO_4 ortamında H_2O_2 etkisinde sıcaklığın Mg çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.47 ve Şekil 5.45 incelendiğinde; örneğin, 240 dk sonunda 30 °C'de magnezyum çözünmesi % 29,82 iken; 70 °C'de % 52,26'ya ulaşmaktadır.

i) Sıcaklık arttıkça magnezyum çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Sıcaklık, arttıkça magnezyum çözünme hızı da artmaktadır.

iii) 240 dakika 60 °C 0,5 M H_2SO_4 liçi sonunda, % 58,60 magnezyum

çözünmesi meydana gelirken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 M H_2O_2 liçi sonunda, % 52,26 magnezyum çözünmektedir. H_2O_2 ilavesinin magnezyum çözünmesine etkisinin olmadığı gözlenmiştir.

5.4.5.2. H_2O_2 etkisinde sülfürik asit derişiminin çözünmeye etkisi

Asit derişiminin etkisini araştırmak için, 60 °C'de 0,5 M H_2O_2 derişiminde, 400 dev/dk karıştırma hızında, -106 µm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.48 ve Şekil 5.46'da, Fe için Çizelge 5.49 ve Şekil 5.47'de ve Mg için ise, Çizelge 5.50 ve Şekil 5.48'de, verilmiştir.

Çizelge 5.48. H_2O_2 etkisinde sülfürik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi

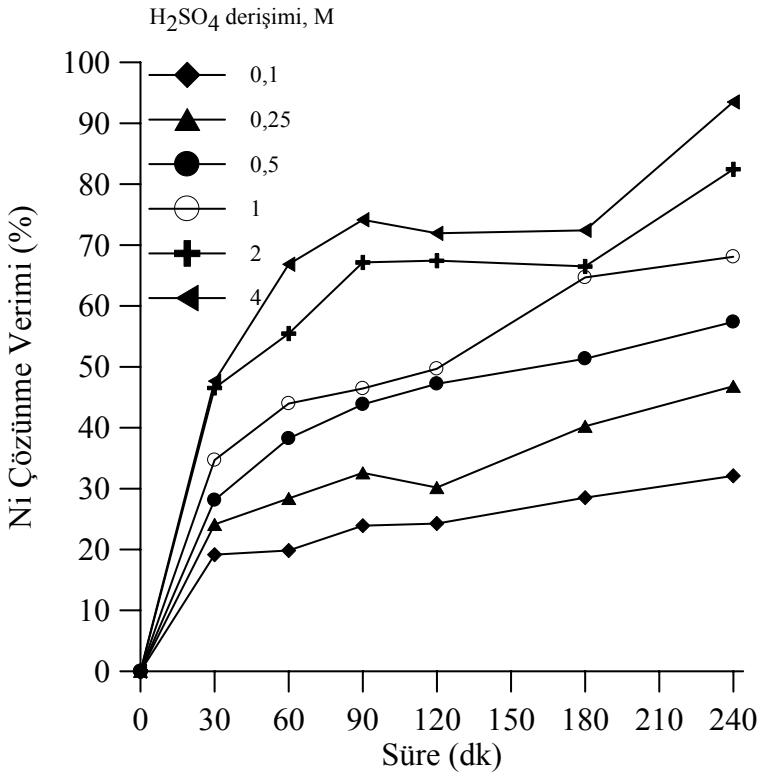
Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)											
	0,1 M	pH	0,25 M	pH	0,5 M	pH	1 M	pH	2 M	pH	4 M	pH
0		1,20		1,03		0,64		0,41		0,32		0,19
30	19,14	1,22	24,12	1,05	28,11	0,66	34,68	0,43	46,52	0,33	47,64	0,21
60	19,82	1,26	28,37	1,08	38,22	0,67	43,97	0,45	55,46	0,34	66,84	0,22
90	23,91	1,30	32,57	1,11	43,84	0,69	46,44	0,47	67,14	0,36	74,14	0,24
120	24,26	1,32	30,16	1,13	47,21	0,71	49,67	0,48	67,42	0,37	71,93	0,26
180	28,51	1,35	40,24	1,16	51,33	0,73	64,67	0,49	66,47	0,40	72,41	0,29
240	32,10	1,37	46,80	1,19	57,36	0,76	68,07	0,52	82,44	0,41	93,51	0,30

Çizelge 5.48 ve Şekil 5.46 incelendiğinde; Örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,1 M H_2SO_4 + 0,5 M H_2O_2 derişiminde % 32,10 nikel çözünürken, 2 M H_2SO_4 +0,5 M H_2O_2 derişiminde ise % 82,44 değerine ulaşmaktadır.

i) Asit derişimi arttıkça nikel çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Asit derişimi, arttıkça nikel çözünme hızı da azalan bir hızda artış göstermektedir.

iii) Diğer parametrelerin araştırılmasında sülfirik asit derişimi 0,5 M olarak karar verilmiştir.



Şekil 5.46. H_2O_2 etkisinde sülfürik asit derişiminin Ni çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.49. H_2O_2 etkisinde sülfürik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi

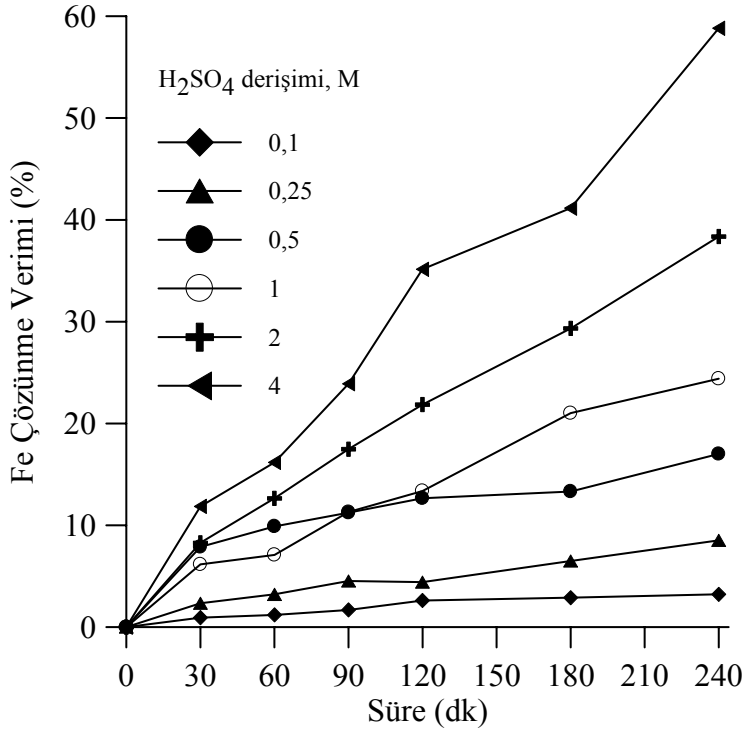
Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)											
	0,1 M	pH	0,25 M	pH	0,5 M	pH	1 M	pH	2 M	pH	4 M	pH
0		1,20		1,03		0,64		0,41		0,32		0,19
30	0,93	1,22	2,35	1,05	7,88	0,66	6,17	0,43	8,28	0,33	11,86	0,21
60	1,20	1,26	3,22	1,08	9,89	0,67	7,10	0,45	12,65	0,34	16,18	0,22
90	1,69	1,30	4,53	1,11	11,24	0,69	11,30	0,47	17,48	0,36	23,90	0,24
120	2,62	1,32	4,42	1,13	12,66	0,71	13,37	0,48	21,86	0,37	35,15	0,26
180	2,89	1,35	6,50	1,16	13,32	0,73	21,02	0,49	29,34	0,40	41,15	0,29
240	3,22	1,37	8,52	1,19	17,01	0,76	24,40	0,52	38,36	0,41	58,82	0,30

Çizelge 5.49 ve Şekil 5.47 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,1 M H_2SO_4 + 0,5 M H_2O_2 derişiminde % 3,2 demir çözünürken, 2 M H_2SO_4 +0,5 M H_2O_2 derişiminde ise % 38,36 değerine ulaşmaktadır.

i) Asit derişimi arttıkça demir çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Asit derişimi, arttıkça demir çözünme hızı da azalan bir hızda artış göstermektedir.

iii) Diğer parametrelerin araştırılmasında sülfirik asit derişimi 0,5 M olarak karar verilmiştir.



Şekil 5.47. H_2O_2 etkisinde sülfürik asit derişiminin Fe çözünme etkisi

Çizelge 5.50. H_2O_2 etkisinde sülfürik asit derişiminin Mg çözünmesine etkisi

Süre (dk)	Mg Çözünme Verimi (%)											
	0,1 M	pH	0,25 M	pH	0,5 M	pH	1 M	pH	2 M	pH	4 M	pH
0		1,20		1,03		0,64		0,41		0,32		0,19
30	28,70	1,22	29,83	1,05	31,10	0,66	32,13	0,43	39,29	0,33	45,50	0,21
60	27,86	1,26	30,20	1,08	33,97	0,67	31,04	0,45	44,46	0,34	49,53	0,22
90	29,11	1,30	32,09	1,11	36,58	0,69	34,10	0,47	48,08	0,36	53,92	0,24
120	28,90	1,32	28,23	1,13	37,64	0,71	35,06	0,48	53,04	0,37	62,53	0,26
180	31,96	1,35	35,73	1,16	33,40	0,73	41,43	0,49	58,34	0,40	65,39	0,29
240	33,51	1,37	39,42	1,19	41,30	0,76	45,58	0,52	69,09	0,41	87,65	0,30

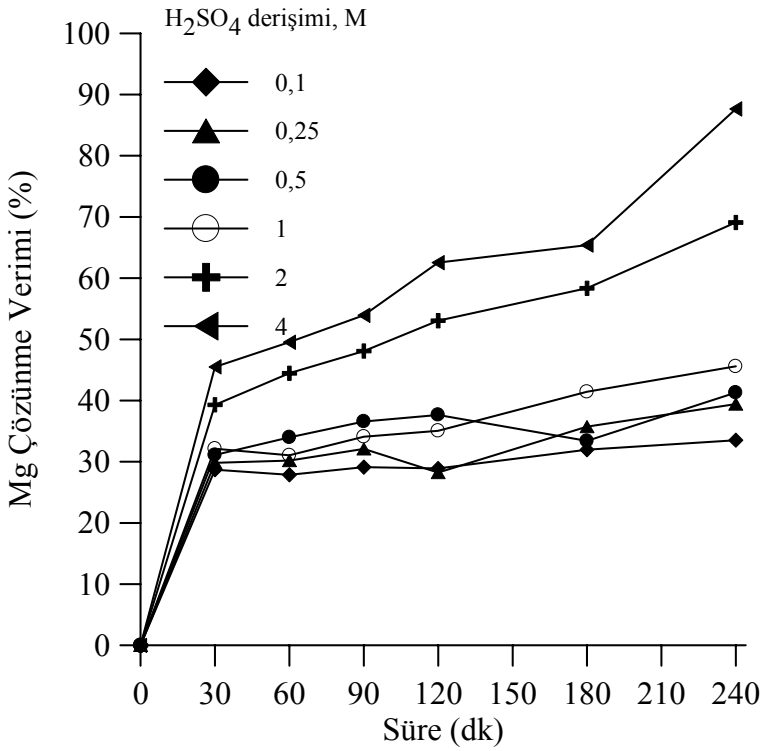
Çizelge 5.50 ve Şekil 5.48 incelendiğinde; örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,1 M H_2SO_4 + 0,5 M H_2O_2 derişiminde % 33,11 magnezyum çözünürken, 2 M H_2SO_4 +0,5 M H_2O_2 derişiminde ise % 69,09 değerine ulaşmaktadır.

i) Asit derişimi arttıkça magnezyum çözünme verimlerininde bir artış olmaktadır.

ii) Asit derişimi, arttıkça magnezyum çözünme hızı da azalan bir hızda artış

göstermektedir.

iii) Diğer parametrelerin araştırılmasında sülfirik asit derişimi 0,5 M olarak karar verilmiştir.



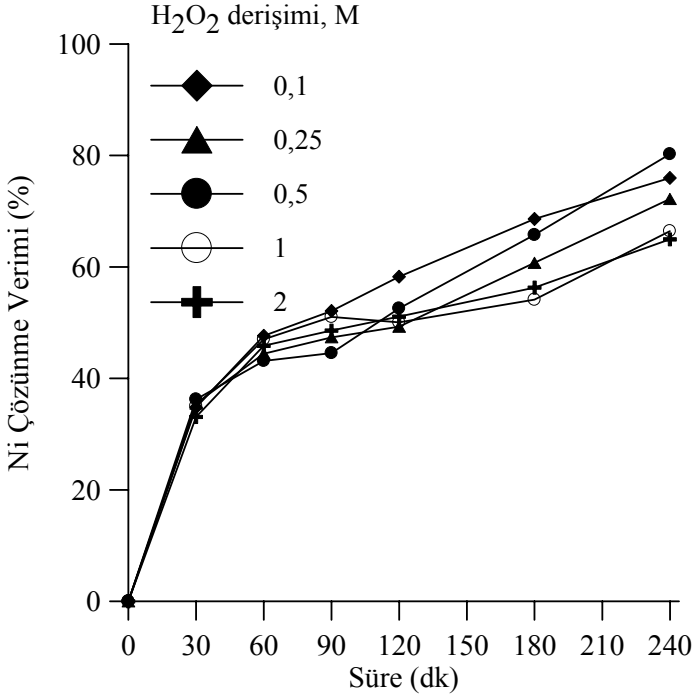
Şekil 5.48. H_2O_2 etkisinde sülfürik asit derişiminin Mg çözünme verimine etkisi

5.4.5.3. H_2SO_4 ortamında hidrojen peroksit derişiminin çözünmeye etkisi

Hidrojen peroksit derişiminin etkisini araştırmak için, 60 °C'de, 0,5 M H_2SO_4 derişiminde, 400 dev/dk karıştırma hızında, -106 μm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.51 ve Şekil 5.49'da, Fe için Çizelge 5.52 ve Şekil 5.50'de ve Mg için ise, Çizelge 5.53 ve Şekil 5.51'de, verilmiştir.

Çizelge 5.51. H_2SO_4 ortamında hidrojen peroksit derişiminin Ni çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)									
	0,1 M	pH	0,25 M	pH	0,5 M	pH	1 M	pH	2 M	pH
0		0,29		0,34		0,33		0,34		0,29
30	34,79	0,31	35,49	0,35	36,24	0,34	35,04	0,35	33,07	0,30
60	47,64	0,32	44,43	0,37	43,12	0,35	46,99	0,37	45,84	0,33
90	52,10	0,34	47,36	0,40	44,55	0,37	51,02	0,38	48,57	0,35
120	58,24	0,37	49,28	0,43	52,55	0,39	50,04	0,39	51,08	0,36
180	68,59	0,38	60,72	0,44	65,74	0,40	54,13	0,41	56,27	0,39
240	75,97	0,39	72,20	0,45	80,24	0,44	66,42	0,44	64,95	0,41



Şekil 5.49. H_2SO_4 ortamında hidrojen peroksit derişiminin Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.51 ve Şekil 5.49 incelendiğinde; örneğin, 240 dk sonunda 0,5 M H_2SO_4 + 0,1 M H_2O_2 derişiminde nikel çözünmesi % 75,97 iken; 0,5 M H_2SO_4 + 2 M H_2O_2 % 64,95'e düşmektedir.

i) Farklı H_2O_2 derişimlerinde nikel çözünme verimlerininde 0,5 M ve daha düşük derişimlerde bir artış olmaktadır.

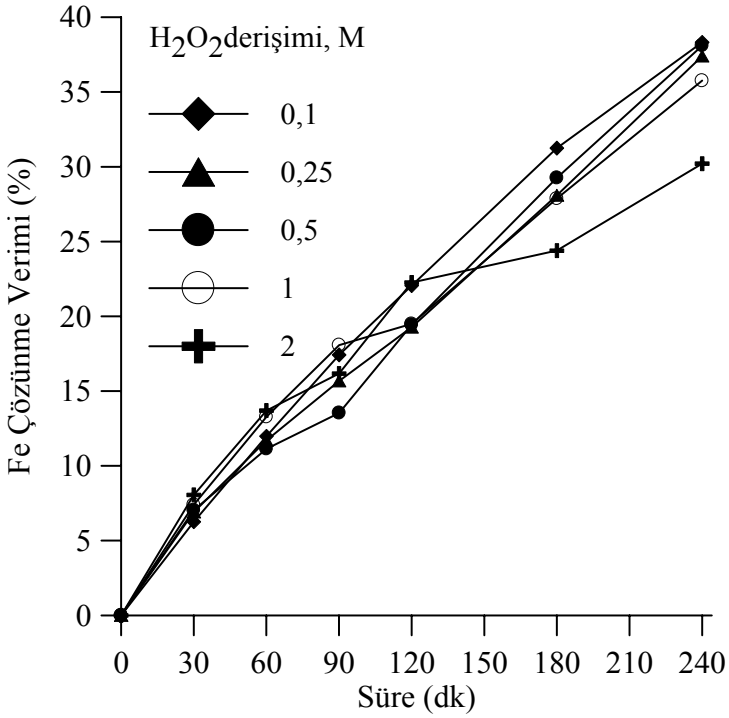
ii) Aynı zamanda, 0,5 M ve daha düşük derişimlerde nikel çözünme hızlarıda artmaktadır.

iii) 240 dakika 60 °C, 0,5 M H_2SO_4 liçi sonunda % 46,33 nikel çözünmesi

meydana gelirken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 M H_2O_2 liçi sonunda % 80,24 nikel çözünmektedir. H_2O_2 ilavesinin nikel çözünmesine etkisinin düşük derişimlerde oldukça fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.52. H_2SO_4 ortamında hidrojen peroksit derişiminin Fe çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)									
	0,1 M	pH	0,25 M	pH	0,5 M	pH	1 M	pH	2 M	pH
0		0,29		0,34		0,33		0,34		0,29
30	6,26	0,31	6,91	0,35	7,04	0,34	7,40	0,35	8,06	0,30
60	11,98	0,32	11,70	0,37	11,14	0,35	13,28	0,37	13,70	0,33
90	17,42	0,34	15,68	0,40	13,54	0,37	18,07	0,38	16,17	0,35
120	22,05	0,37	19,27	0,43	19,43	0,39	19,49	0,39	22,26	0,36
180	31,25	0,38	28,09	0,44	29,26	0,40	27,87	0,41	24,39	0,39
240	38,32	0,39	37,40	0,45	38,10	0,44	35,76	0,44	30,21	0,41



Şekil 5.50. H_2SO_4 ortamında hidrojen peroksit derişiminin Fe çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.52 ve Şekil 5.50 incelendiğinde; örneğin, 240 dk sonunda 0,5 M H_2SO_4 + 0,1 M H_2O_2 derişiminde demir çözünmesi % 38,32 iken; 0,5 M H_2SO_4 + 2 M H_2O_2 % 30,21'e düşmektedir.

i) Farklı H_2O_2 derişimlerinde demir çözünme verimlerininde 0,5 M ve daha

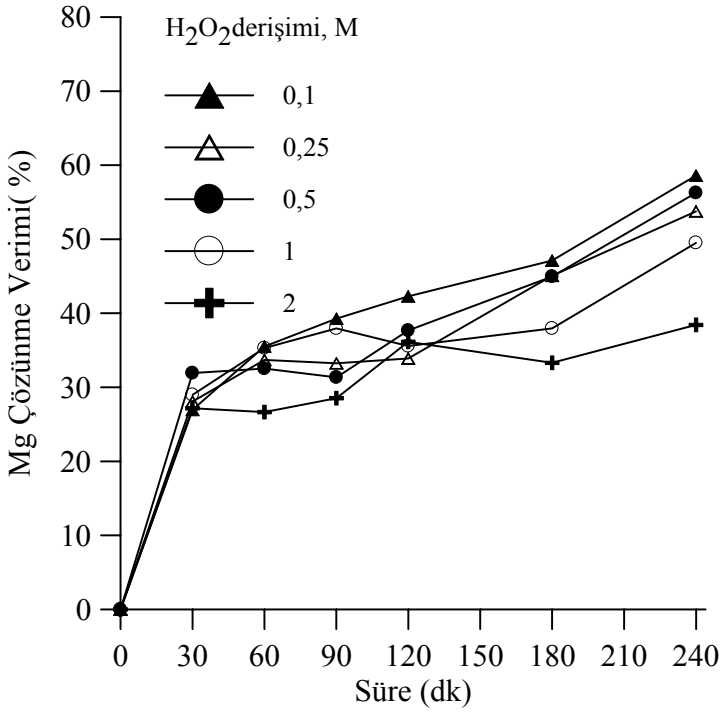
düşük derişimlerde bir artış olmaktadır.

ii) Aynı zamanda, 0,5 M ve daha düşük derişimlerde demir çözünme hızlarıda artmaktadır.

iii) 240 dakika 60 °C, 0,5 M H_2SO_4 liçi sonunda % 11,17 demir çözünmesi meydana gelirken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 M H_2O_2 liçi sonunda % 38,10 demir çözünmektedir. H_2O_2 ilavesinin demir çözünmesine etkisinin düşük derişimlerde oldukça fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.53. H_2SO_4 ortamında hidrojen peroksit derişiminin Mg çözünmesine etkisi

Süre	Mg Çözünme Verimi (%)									
(dakika)	0,1 M	pH	0,25 M	pH	0,5 M	pH	1 M	pH	2 M	pH
0		0,29		0,34		0,33		0,34		0,29
30	26,94	0,31	28,07	0,35	31,92	0,34	28,98	0,35	27,16	0,30
60	35,52	0,32	33,70	0,37	32,51	0,35	35,29	0,37	6,65	0,33
90	39,27	0,34	33,24	0,40	31,33	0,37	37,96	0,38	28,53	0,35
120	42,28	0,37	33,87	0,43	37,66	0,39	35,57	0,39	36,14	0,36
180	47,11	0,38	45,06	0,44	44,95	0,40	37,96	0,41	33,30	0,39
240	58,59	0,39	53,76	0,45	56,26	0,44	49,50	0,44	38,42	0,41



Şekil 5.51. H_2SO_4 ortamında hidrojen peroksit derişiminin Mg çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.53 ve Şekil 5.51 incelendiğinde; örneğin, 240 dk sonunda 0,5 M H_2SO_4 + 0,1 M H_2O_2 derişiminde magnezyum çözünmesi % 58,59 iken; 0,5 M H_2SO_4 + 2 M H_2O_2 % 38,42'ye düşmektedir.

i) Farklı H_2O_2 derişimlerinde magnezyum çözünme verimlerininde 0,5 M ve daha düşük derişimlerde bir artış olmaktadır.

ii) Aynı zamanda, 0,5 M ve daha düşük derişimlerde magnezyum çözünme hızlarıda artmaktadır.

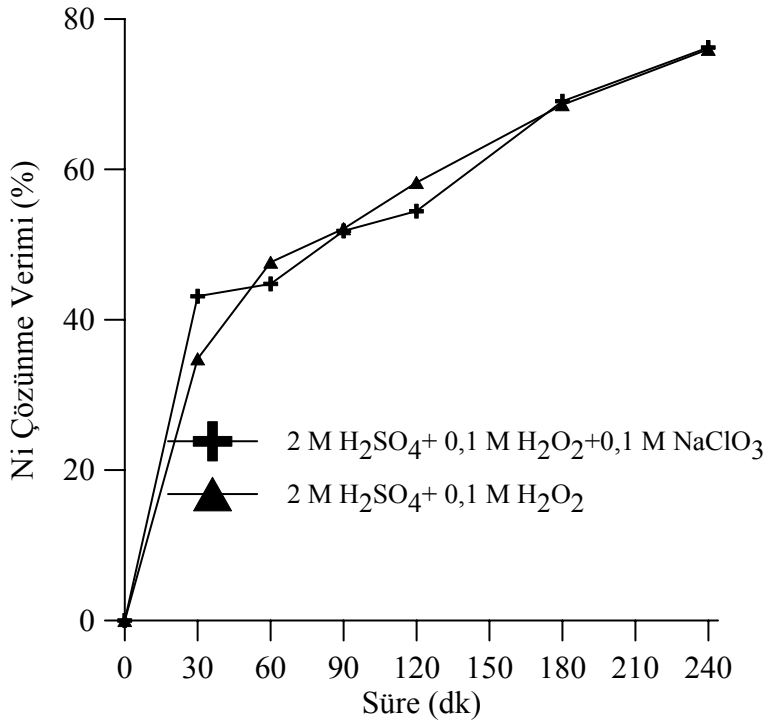
iii) 240 dakika 60 °C, 0,5 M H_2SO_4 liçi sonunda % 58,60 magnezyum çözünmesi meydana gelirken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 M H_2O_2 liçi sonunda % 56,26 magnezyum çözünmektedir. H_2O_2 ilavesinin magnezyum çözünmesine etkisinin düşük derişimlerde oldukça fazla fazla olduğu görülmektedir.

5.4.6. Sülfürik asit-Hidrojen peroksit ortamında sodyum klorat ($NaClO_3$) liçi

2 M H_2SO_4, 0,1 M H_2O_2 ve 0,1 M $NaClO_3$ derişiminde, 60 °C'de, 400 dev/dk karıştırma hızında, -106 μm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.54 ve Şekil 5.52'de, Fe için Çizelge 5.55 ve Şekil 5.53'de ve Mg için ise, Çizelge 5.56 ve Şekil 5.54'de, verilmiştir.

Çizelge 5.54. 2 M H_2SO_4+0,1 M H_2O_2+ 0,1 M $NaClO_3$ Ni çözünmesine etkisi.

Süre (Dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	2 M H_2SO_4+0,1M H_2O_2+ 0,1 M $NaClO_3$	pH	2 M H_2SO_4 +0,1 M H_2O_2	pH
0		0,18		0,29
30	43,12	0,20	34,79	0,31
60	44,75	0,21	47,64	0,32
90	51,81	0,23	52,10	0,34
120	54,43	0,24	58,24	0,37
180	69,06	0,26	68,59	0,38
240	76,21	0,28	75,97	0,39



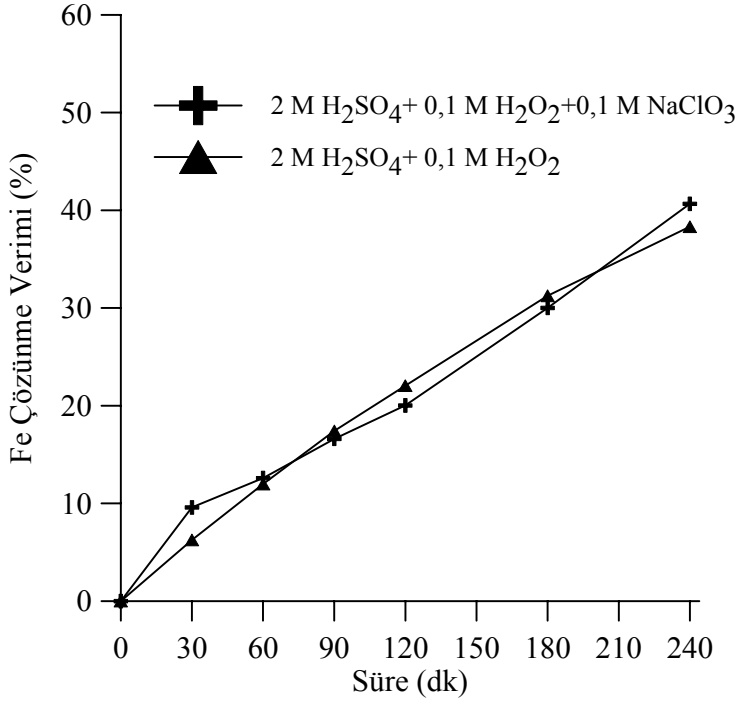
Şekil 5.52. 2 M H_2SO_4+0.1 M H_2O_2+ 0.1 M $NaClO_3$ Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.54 ve Şekil 5.52 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 2 M H_2SO_4+0,1 M H_2O_2 derişiminde nikel çözünme verimi % 75,97 iken; 0,1 M $NaClO_3$ ilavesi ile % 76,21 olmaktadır.

i) Sodyum klorat ($NaClO_3$) ilavesinin Ni çözünme verimine fazla etkisi olmamaktadır.

Çizelge 5.55. 2 M H_2SO_4+0,1 M H_2O_2+ 0,1 M $NaClO_3$ Fe çözünmesine etkisi.

Süre (Dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	2 M H_2SO_4+0,1M H_2O_2+ 0,1 M $NaClO_3$	pH	2 M H_2SO_4 +0,1 M H_2O_2	pH
0		0,18		0,29
30	9,59	0,20	6,26	0,31
60	12,59	0,21	11,98	0,32
90	16,61	0,23	17,42	0,34
120	20,03	0,24	22,05	0,37
180	30,01	0,26	31,25	0,38
240	40,66	0,28	38,32	0,39



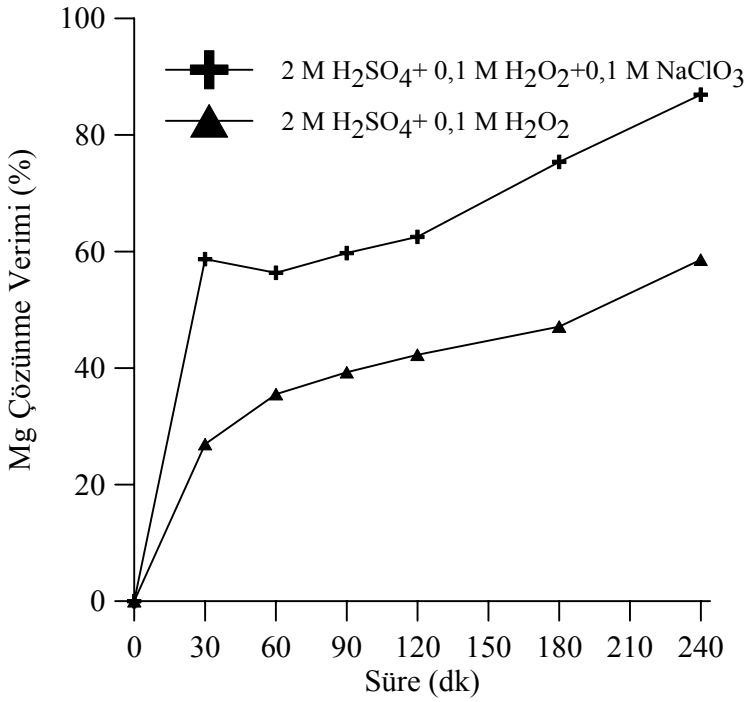
Şekil 5.53. 2 M H_2SO_4+0,1 M H_2O_2+ 0,1 M $NaClO_3$ Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.55 ve Şekil 5.53 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 2 M H_2SO_4+0,1 M H_2O_2 derişiminde nikel çözünme verimi % 38,42 iken; 0,1 M $NaClO_3$ ilavesi ile % 40,66 olmaktadır.

i) Sodyum klorat ($NaClO_3$) ilavesinin Fe çözünme verimine fazla etkisi olmamaktadır.

Çizelge 5.56. 2 M H_2SO_4+0,1 M H_2O_2+ 0,1 M $NaClO_3$ Mg çözünmesine etkisi.

Süre (Dakika)	Mg Çözünme Verimi (%)			
	2 M H_2SO_4+0,1M H_2O_2+ 0,1 M $NaClO_3$	pH	2 M H_2SO_4 +0,1 M H_2O_2	pH
0		0,18		0,29
30	58,70	0,20	26,94	0,31
60	56,34	0,21	35,52	0,32
90	59,73	0,23	39,27	0,34
120	62,51	0,24	42,28	0,37
180	75,39	0,26	47,11	0,38
240	86,92	0,28	58,59	0,39



Şekil 5.54. 2 M H_2SO_4+0,1 M H_2O_2+ 0,1 M $NaClO_3$ Mg çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.56 ve Şekil 5.54 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 2 M H_2SO_4+0.1 M H_2O_2 derişiminde magnezyum çözünme verimi % 58,42 iken; 0,1 M $NaClO_3$ ilavesi ile % 86,92'ye ulaşmaktadır.

i) Sodyum klorat ($NaClO_3$) ilavesi ile Mg çözünme verimi artmaktadır.

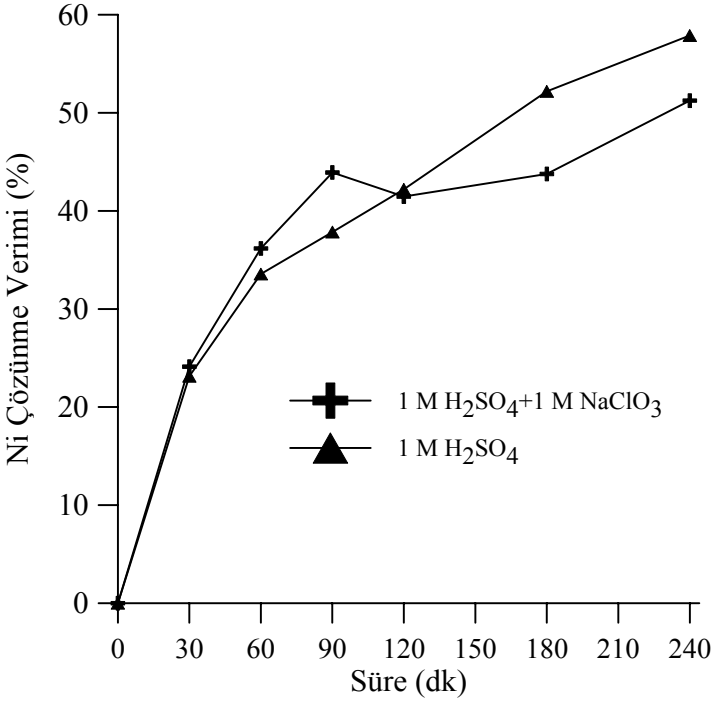
ii) Sodyum klorat ilavesi ile Mg çözünme hızıda artmaktadır.

5.4.7. Sodyum klorat ($NaClO_3$) etkisinde sülfürik asit liçi

1 M H_2SO_4, 1 M $NaClO_3$ derişiminde, 60 °C'de, 400 dev/dak. karıştırma hızında, -106 µm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk. sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.57 ve Şekil 5.55'de, Fe için Çizelge 5.58 ve Şekil 5.56'da ve Mg için ise, Çizelge 5.59 ve Şekil 5.57'de, verilmiştir.

Çizelge 5.57. 1 M H_2SO_4+1 M $NaClO_3$ Ni çözünmesine etkisi.

Süre (Dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	1 M H_2SO_4+1 M $NaClO_3$	pH	1 M H_2SO_4	pH
0		0,23		0,25
30	24,12	0,24	23,14	0,26
60	36,17	0,25	33,56	0,27
90	43,92	0,26	37,84	0,28
120	41,47	0,27	42,20	0,29
180	43,77	0,29	52,19	0,31
240	51,24	0,32	57,88	0,33



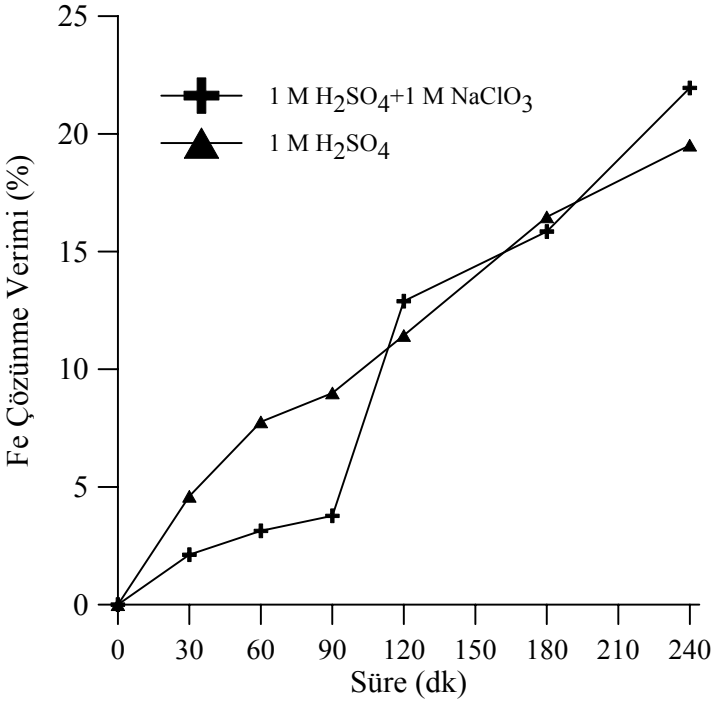
Şekil 5.55. 1 M H_2SO_4+1 M $NaClO_3$ Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.57 ve Şekil 5.55 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 1 M H_2SO_4 derişiminde nikel çözünme verimi % 57,88 iken; 1 M $NaClO_3$ ilavesi ile % 51,24'e düşmektedir.

i) Sodyum klorat ($NaClO_3$) ilavesinin Ni çözünme verimine etkisi olmamaktadır.

Çizelge 5.58. 1 M H_2SO_4+1 M $NaClO_3$ Fe çözünmesine etkisi.

Süre (Dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	1 M H_2SO_4+1 M $NaClO_3$	pH	1 M H_2SO_4	pH
0		0,23		0,25
30	2,12	0,24	4,60	0,26
60	3,13	0,25	7,76	0,27
90	3,77	0,26	8,99	0,28
120	12,89	0,27	11,43	0,29
180	15,85	0,29	16,47	0,31
240	21,95	0,32	19,52	0,33



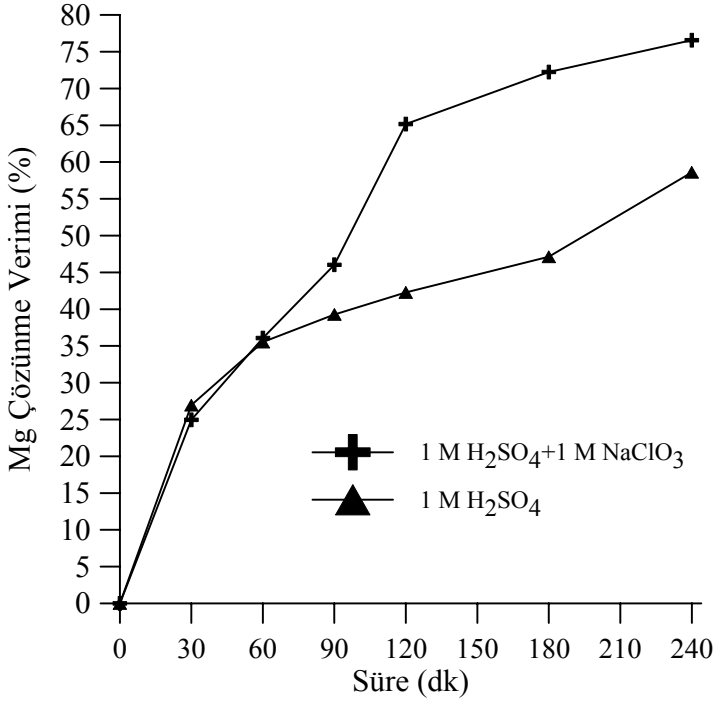
Şekil 5.56. 1 M H_2SO_4+1 M $NaClO_3$ Fe çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.58 ve Şekil 5.56 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 1 M H_2SO_4 derişiminde demir çözünme verimi % 19,52 iken; 1 M $NaClO_3$ ilavesi ile % 21,95 olmaktadır.

i) Sodyum klorat ($NaClO_3$) ilavesinin Fe çözünme verimine fazla etkisi olmamaktadır.

Çizelge 5.59. 1 M H_2SO_4+1 M $NaClO_3$ Mg çözünmesine etkisi.

Süre (Dakika)	Mg Çözünme Verimi (%)			
	1 M H_2SO_4+1 M $NaClO_3$	pH	1 M H_2SO_4	pH
0		0,23		0,25
30	24,96	0,24	26,94	0,26
60	36,07	0,25	35,52	0,27
90	46,04	0,26	39,27	0,28
120	65,16	0,27	42,28	0,29
180	72,24	0,29	47,11	0,31
240	76,56	0,32	58,60	0,33



Şekil 5.57. 1 M H_2SO_4+1 M $NaClO_3$ Mg çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.59 ve Şekil 5.57 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 1 M H_2SO_4 derişiminde magnezyum çözünme verimi % 58,60 iken; 1 M $NaClO_3$ ilavesi ile % 76,56'ya ulaşmaktadır.

i) Sodyum klorat ($NaClO_3$) ilavesi ile Mg çözünme verimi artmaktadır.

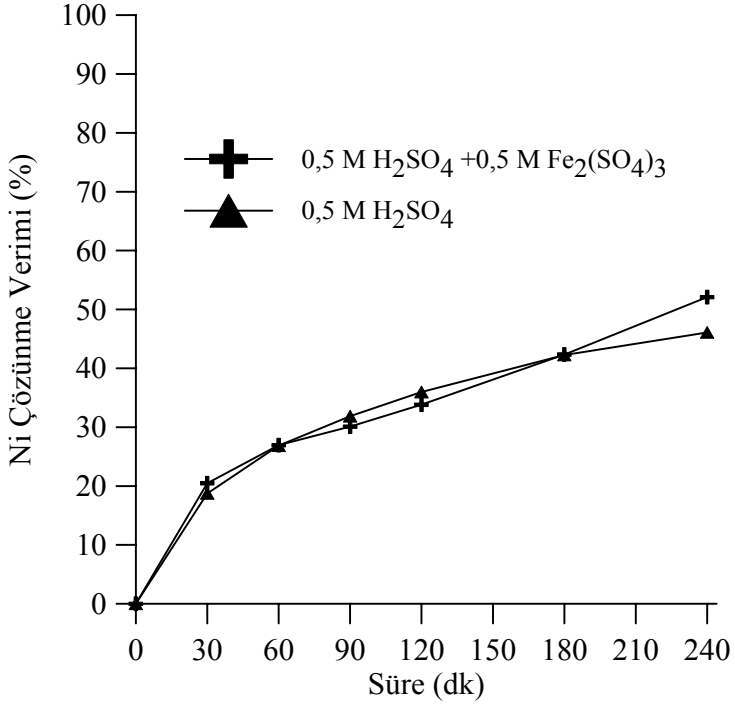
ii) Sodyum klorat ilavesi ile Mg çözünme hızıda artmaktadır.

5.4.8. Ferrik sülfat ($Fe_2(SO_4)_3$) sülfürik asit liçi

0,5 M H_2SO_4, 0,5 M $Fe_2(SO_4)_3$ derişiminde, 60 °C'de, 200 dev/dk karıştırma hızında, -106 μm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.60 ve Şekil 5.58'de, verilmiştir.

Çizelge 5.60. 0,5 M H_2SO_4+0,5 M $Fe_2(SO_4)_3$ Ni çözünmesine etkisi.

Süre (Dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	0,5 M H_2SO_4+0,5 M $Fe_2(SO_4)_3$	pH	0,5 M H_2SO_4	pH
0		0,82		0,84
30	20,47	0,83	18,74	0,85
60	26,94	0,84	26,86	0,85
90	30,10	0,85	31,86	0,85
120	33,81	0,86	35,97	0,86
180	42,35	0,87	42,26	0,87
240	52,10	0,88	46,10	0,88



Şekil 5.58. 0,5 M H_2SO_4+0,5 M $Fe_2(SO_4)_3$ Ni çözünme verine etkisi.

Çizelge 5.60 ve Şekil 5.58 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 0,5 M H_2SO_4 derişiminde nikel çözünme verimi % 46,10 iken; 0,5 M $Fe_2(SO_4)_3$ ilavesi ile % 52,10 olmaktadır.

i) Ferik sülfat ($Fe_2(SO_4)_3$) ilavesinin Ni çözünme verimine fazla etkisi olmamaktadır.

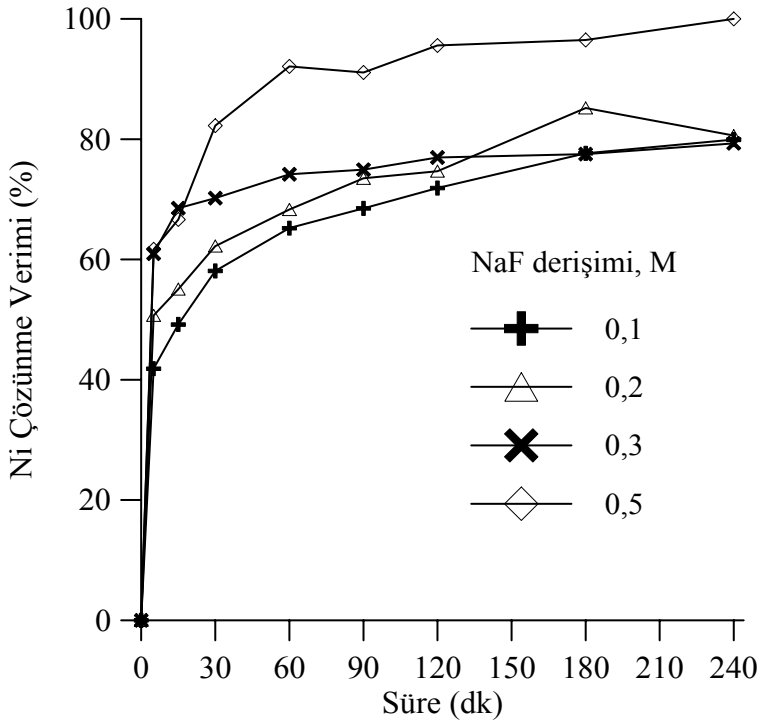
5.4.9. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit liçi

5.4.9.1. H_2SO_4 ortamında sodyum florür derisiminin çözünmeye etkisi

Sodyum florür derişiminin etkisini araştırmak için, 60 °C'de, 0,5 M H_2SO_4 derişiminde, 200 dev/dk karıştırma hızında, -106 µm tane cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 5, 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.61 ve Şekil 5.59'da, Fe için Çizelge 5.62 ve Şekil 5.60'da ve Mg için ise, Çizelge 5.63 ve Şekil 5.61'de, verilmiştir.

Çizelge 5.61. Sülfürik asit ortamında sodyum florür derişiminin Ni çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)							
0	0,1 M	pH 1,21	0,2 M	pH 1,61	0,3 M	pH 1,69	0,5 M	pH 2,38
5	41,84	1,12	50,69	1,20	60,96	1,10	61,69	1,47
15	49,19	1,17	55,06	1,12	68,52	1,01	66,65	1,36
30	58,09	1,14	62,23	1,04	70,20	0,97	82,26	1,25
60	65,21	0,99	68,31	0,94	74,16	0,94	92,11	1,21
90	68,49	0,98	73,49	0,84	74,93	0,92	91,10	1,14
120	71,88	0,97	74,68	0,82	76,98	0,89	95,59	1,12
180	77,65	0,89	85,21	0,80	77,52	0,86	96,51	1,07
240	79,95	0,85	80,60	0,79	79,33	0,83	100,00	1,05



Şekil 5.59. Sülfürik asit ortamında Sodyum florür derişiminin Ni çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.61 ve Şekil 5.59 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 0,5 M H_2SO_4 + 0,1 NaF derişiminde nikel çözünme verimi % 79,95 iken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 NaF derişiminde % 100'e ulaşmaktadır. Ayrıca; 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 NaF derişiminde 60 dk liç işlemi sonunda nikel çözünme verimi % 92,11'e ulaşmaktadır.

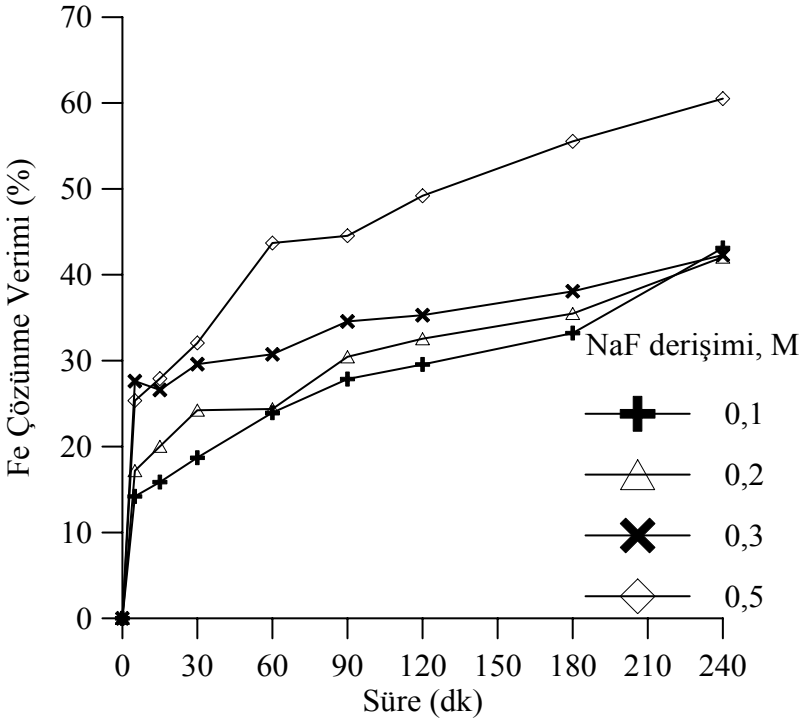
i) Sodyum florür (NaF) derişimi arttıkça Ni çözünme verimi artmaktadır.

ii) Sodyum florür derişimi arttıkça Ni çözünme hızı da artmaktadır.

iii) 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 0,5 M H_2SO_4 derişiminde nikel çözünme verimi % 46,10 iken; 0,5 M NaF ilavesi ile % 100 olmaktadır. NaF ilavesinin nikel çözünmesine etkisinin iki kattan daha fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.62. Sülfürik asit ortamında sodyum florür derişiminin Fe çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)							
0	0,1 M	pH 1,21	0,2 M	pH 1,61	0,3 M	pH 1,69	0,5 M	pH 2,38
5	14,19	1,12	17,18	1,20	27,61	1,10	25,35	1,47
15	15,86	1,17	20,02	1,12	26,58	1,01	27,9	1,36
30	18,7	1,14	24,23	1,04	29,58	0,97	32,05	1,25
60	23,94	0,99	24,38	0,94	30,74	0,94	43,69	1,21
90	27,85	0,98	30,45	0,84	34,56	0,92	44,54	1,14
120	29,56	0,97	32,55	0,82	35,29	0,89	49,19	1,12
180	33,21	0,89	35,49	0,80	38,08	0,86	55,54	1,07
240	43,12	0,85	42,05	0,79	42,29	0,83	60,51	1,05



Şekil 5.60. Sülfürik asit ortamında sodyum florür derişiminin Fe çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.62 ve Şekil 5.60 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 0,5 M H_2SO_4 + 0,1 NaF derişiminde demir çözünme verimi % 43,12 iken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 NaF derişiminde % 60,51'e ulaşmaktadır.

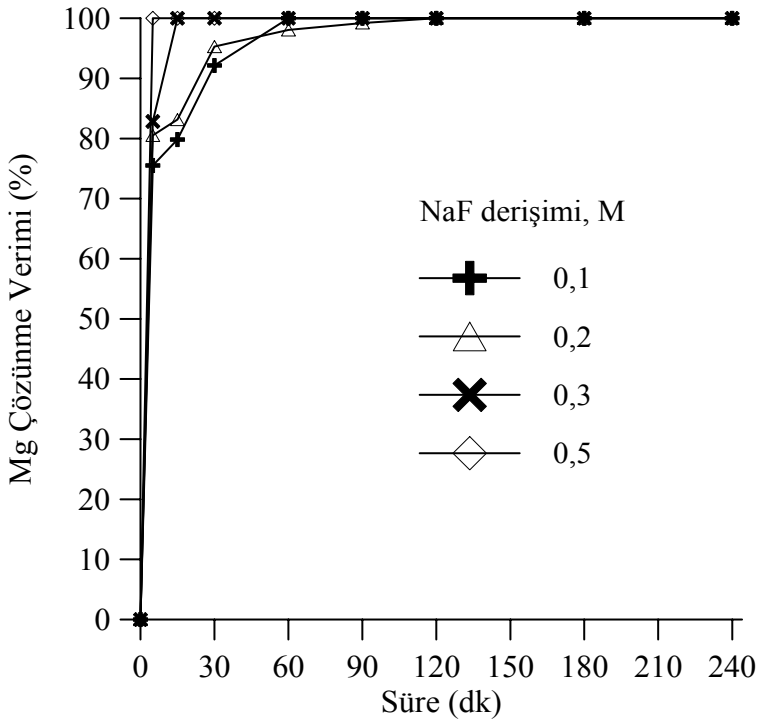
i) Sodyum florür (NaF) derişimi arttıkça Fe çözünme verimi artmaktadır.

ii) Sodyum florür derişimi arttıkça Fe çözünme hızı da artmaktadır.

iii) 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 0,5 M H_2SO_4 derişiminde demir çözünme verimi % 11,63 iken; 0,5 M NaF ilavesi ile % 60,51 olmaktadır. NaF ilavesinin demir çözünmesine etkisinin yaklaşık beş katından fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.63. Sülfürik asit ortamında sodyum florür derişiminin Mg çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Mg Çözünme Verimi (%)							
0	0,1 M	pH 1,21	0,2 M	pH 1,61	0,3 M	pH 1,69	0,5 M	pH 2,38
5	75,53	1,12	80,53	1,20	82,84	1,10	100,00	1,47
15	79,84	1,17	83,15	1,12	100,00	1,01	100,00	1,36
30	92,15	1,14	95,30	1,04	100,00	0,97	100,00	1,25
60	100,00	0,99	98,07	0,94	100,00	0,94	100,00	1,21
90	100,00	0,98	99,22	0,84	100,00	0,92	100,00	1,14
120	100,00	0,97	100,00	0,82	100,00	0,89	100,00	1,12
180	100,00	0,89	100,00	0,80	100,00	0,86	100,00	1,07
240	100,00	0,85	100,00	0,79	100,00	0,83	100,00	1,05



Çizelge 5.61. Sülfürik asit ortamında sodyum florür derişiminin Mg çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.63 ve Şekil 5.61 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 60 dk liç işlemi sonunda, 0,5 M H_2SO_4 + 0,1 NaF derişiminde magnezyum çözünme verimi % 100 iken; 5 dk liç işlemi sonunda 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 NaF derişiminde % 100'e ulaşmaktadır.

i) Sodyum florür (NaF) derişimi arttıkça Mg çözünme verimi artmaktadır.

ii) Sodyum florür derişimi arttıkça Mg çözünme hızı da artmaktadır.

iii) 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 0,5 M H_2SO_4 derişiminde magnezyum çözünme verimi % 58,60 iken; 0,5 M NaF ilavesi ile % 100 olmaktadır. NaF ilavesinin demir çözünmesine etkisinin yaklaşık iki kat olduğu görülmektedir.

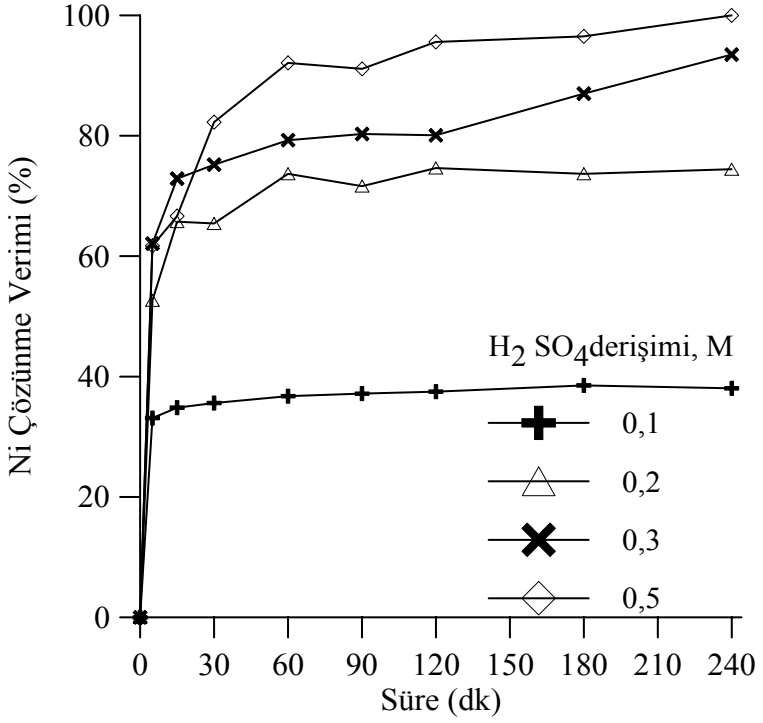
5.4.9.2. Sodyum florür etkisinde sülfürik asit derişiminin çözünmeye etkisi

Asit derişiminin etkisini araştırmak için, 60 °C'de, 0,5 M NaF derişiminde, 200 dev/dk karıştırma hızında, -106 µm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 5, 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.64 ve Şekil

5.62'de, Fe için Çizelge 5.65 ve Şekil 5.63'de ve Mg için ise, Çizelge 5.66 ve Şekil 5.64'de, verilmiştir.

Çizelge 5.64. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)							
0	0,1 M	pH 1,21	0,2 M	pH 1,61	0,3 M	pH 1,69	0,5 M	pH 2,38
5	33,10	1,12	52,66	1,20	62,08	1,10	61,69	1,47
15	34,82	1,17	65,72	1,12	72,87	1,01	66,65	1,36
30	35,60	1,14	65,43	1,04	75,20	0,97	82,26	1,25
60	36,74	0,99	73,68	0,94	79,27	0,94	92,11	1,21
90	37,16	0,98	71,63	0,84	80,31	0,92	91,10	1,14
120	37,49	0,97	74,62	0,82	80,08	0,89	95,59	1,12
180	38,53	0,89	73,68	0,80	87,00	0,86	96,51	1,07
240	38,04	0,85	74,43	0,79	93,49	0,83	100,00	1,05



Şekil 5.62. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit derişiminin Ni çözünme verimine etkisi

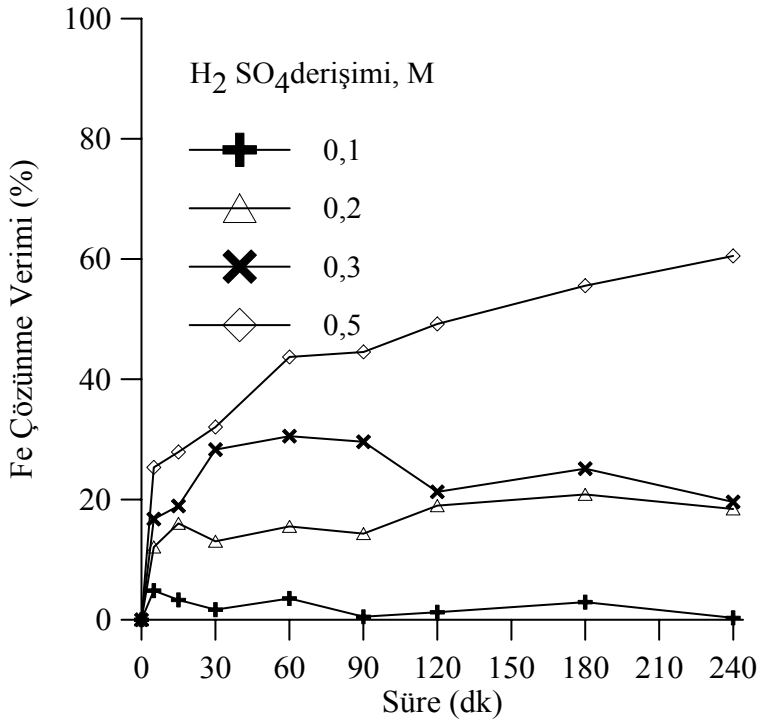
Çizelge 5.64 ve Şekil 5.62 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 0,1 M H_2SO_4 + 0,5 NaF derişiminde nikel çözünme verimi % 38,04 iken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 NaF derişiminde % 100'e ulaşmaktadır.

i) Asit derişimi, arttıkça Ni çözünme verimi artmaktadır.

ii) Asit derişimi, arttıkça Ni çözünme hızı da artmaktadır.

Çizelge 5.65. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)							
0	0,1 M	pH 1,21	0,2 M	pH 1,61	0,3 M	pH 1,69	0,5 M	pH 2,38
5	4,84	1,12	12,10	1,20	16,75	1,10	25,35	1,47
15	3,29	1,17	16,02	1,12	18,93	1,01	27,90	1,36
30	1,68	1,14	13,04	1,04	28,29	0,97	32,05	1,25
60	3,54	0,99	15,52	0,94	30,52	0,94	43,69	1,21
90	0,50	0,98	14,33	0,84	29,59	0,92	44,54	1,14
120	1,24	0,97	18,98	0,82	21,28	0,89	49,19	1,12
180	2,92	0,89	20,84	0,80	25,13	0,86	55,54	1,07
240	0,31	0,85	18,43	0,79	19,60	0,83	60,51	1,05



Şekil 5.63. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit derişiminin Fe çözünme verimine etkisi

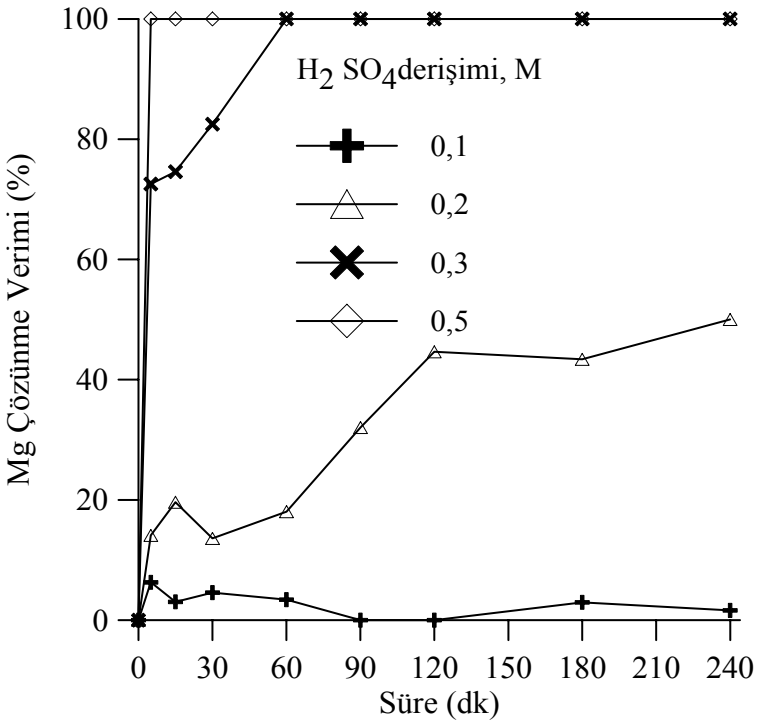
Çizelge 5.65 ve Şekil 5.63 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 0,1 M H_2SO_4 + 0,5 NaF derişiminde demir çözünme verimi % 0,31 iken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 NaF derişiminde % 60,51'e ulaşmaktadır.

i) Asit derişimi arttıkça Fe çözünme verimi artmaktadır.

ii) Asit derişimi arttıkça Fe çözünme hızı da artmaktadır.

Çizelge 5.66. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit derişiminin Mg çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Mg Çözünme Verimi (%)							
0	0,1 M	pH 1,21	0,2 M	pH 1,61	0,3 M	pH 1,69	0,5 M	pH 2,38
5	6,29	1,12	14,10	1,20	72,55	1,10	100,00	1,47
15	3,05	1,17	19,61	1,12	74,57	1,01	100,00	1,36
30	4,58	1,14	13,59	1,04	82,51	0,97	100,00	1,25
60	3,41	0,99	18,05	0,94	100,00	0,94	100,00	1,21
90	0,00	0,98	32,05	0,84	100,00	0,92	100,00	1,14
120	0,00	0,97	44,62	0,82	100,00	0,89	100,00	1,12
180	2,96	0,89	43,37	0,80	100,00	0,86	100,00	1,07
240	1,62	0,85	50,01	0,79	100,00	0,83	100,00	1,05



Şekil 5.64. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit derişiminin Mg çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.66 ve Şekil 5.64 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 0,1 M H_2SO_4 + 0,5 NaF derişiminde magnezyum çözünme verimi % 1,62 iken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 NaF derişiminde % 100'e ulaşmaktadır. Ayrıca; 0,3 M H_2SO_4 + 0,5 NaF derişiminde 60 dk liç işlemi sonunda magnezyum çözünme verimi % 100'e ulaşmaktadır.

i) Asit derişimi arttıkça Mg çözünme verimi artmaktadır.

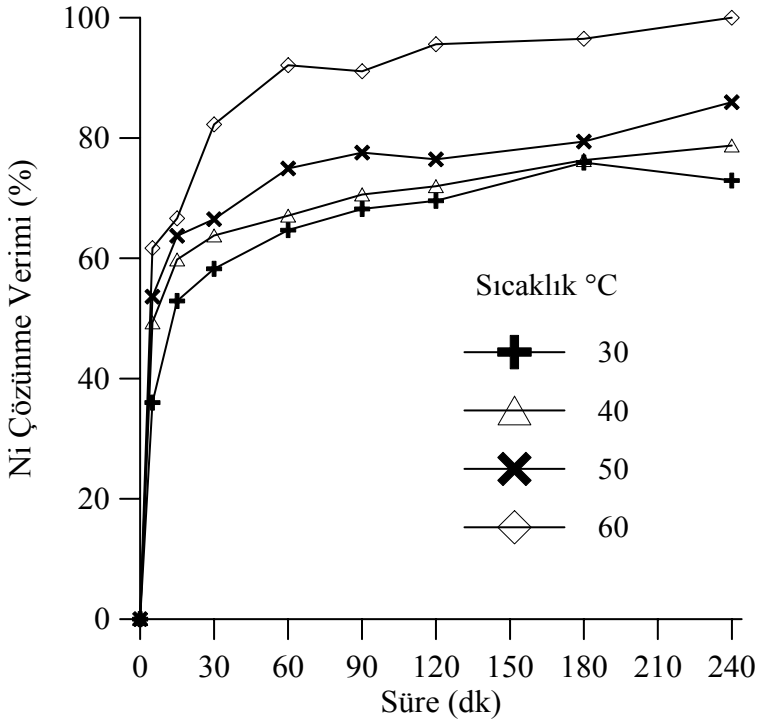
ii) Asit derişimi arttıkça Mg çözünme hızı da artmaktadır.

5.4.9.3. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit ortamında sıcaklığın çözünmeye etkisi

Sıcaklığın etkisini araştırmak için, 0,5 M H_2SO_4, 0,5 M NaF derişiminde, 200 dev/dk karıştırma hızında, -106 μm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 5, 15, 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.67 ve Şekil 5.65'de, Fe için Çizelge 5.68 ve Şekil 5.66'de ve Mg için ise, Çizelge 5.69 ve Şekil 5.67'de, verilmiştir.

Çizelge 5.67. Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit ortamında Sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)							
0	30 °C	pH 2,35	40 °C	pH 2,25	50 °C	pH 2,19	60 °C	pH 2,38
5	36,00	2,10	49,35	2,08	53,62	1,81	61,69	1,47
15	52,90	2,03	59,79	2,20	63,72	1,73	66,65	1,36
30	58,24	1,95	63,80	1,95	66,50	1,69	82,26	1,25
60	64,67	1,93	67,09	1,92	74,93	1,65	92,11	1,21
90	68,20	1,88	70,61	1,86	77,58	1,67	91,10	1,14
120	69,56	1,85	71,98	1,82	76,45	1,61	95,59	1,12
180	75,94	1,82	76,32	1,72	79,43	1,53	96,51	1,07
240	72,93	1,78	78,76	1,69	85,96	1,49	100,00	1,05



Şekil 5.65. Sodyum forür (NaF) etkisinde sülfürik asit ortamında sıcaklığın Ni çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.67 ve Şekil 5.65 incelendiğinde; örneğin, 240 dk sonunda 30 °C'de nikel çözünmesi % 72,93 iken; 60 °C'de % 100'e ulaşmaktadır. Ayrıca; 60 °C'de, 60 dk liç işlemi sonunda nikel çözünme verimi % 92,11'e ulaşmaktadır.

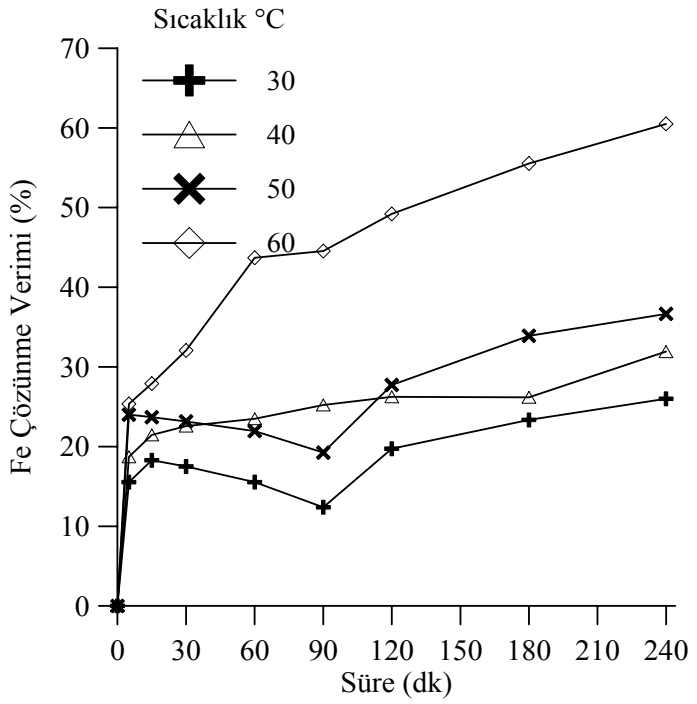
i) Sıcaklık arttıkça nikel çözünme verimi artmaktadır.

ii) Sıcaklık, arttıkça nikel çözünme hızı da artmaktadır.

iii) 240 dakika 60 °C, 0,5 M H_2SO_4 liçi sonunda % 46,33 nikel çözünmesi meydana gelirken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 M NaF liçi sonunda % 100 nikel çözünmektedir. NaF ilavesinin nikel çözünmesine etkisinin düşük sıcaklıklarda oldukça fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.68. Sodyum forür (NaF) etkisinde sülfürik asit ortamında sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)							
0	30 °C	pH 2,35	40 °C	pH 2,25	50 °C	pH 2,19	60 °C	pH 2,38
5	15,53	2,10	18,71	2,08	24,01	1,81	25,35	1,47
15	18,28	2,03	21,46	2,20	23,68	1,73	27,90	1,36
30	17,50	1,95	22,57	1,95	23,15	1,69	32,05	1,25
60	15,53	1,93	23,48	1,92	21,94	1,65	43,69	1,21
90	12,39	1,88	25,22	1,86	19,24	1,67	44,54	1,14
120	19,72	1,85	26,23	1,82	27,73	1,61	49,19	1,12
180	23,34	1,82	26,18	1,72	33,90	1,53	55,54	1,07
240	25,99	1,78	31,92	1,69	36,65	1,49	60,51	1,05



Şekil 5.66. Sodyum forür (NaF) etkisinde sülfürik asit ortamında sıcaklığın Fe çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.68 ve Şekil 5.66 incelendiğinde; örneğin, 240 dk sonunda 30 °C'de demir çözünmesi % 25,99 iken; 60 °C'de % 60,51'e ulaşmaktadır.

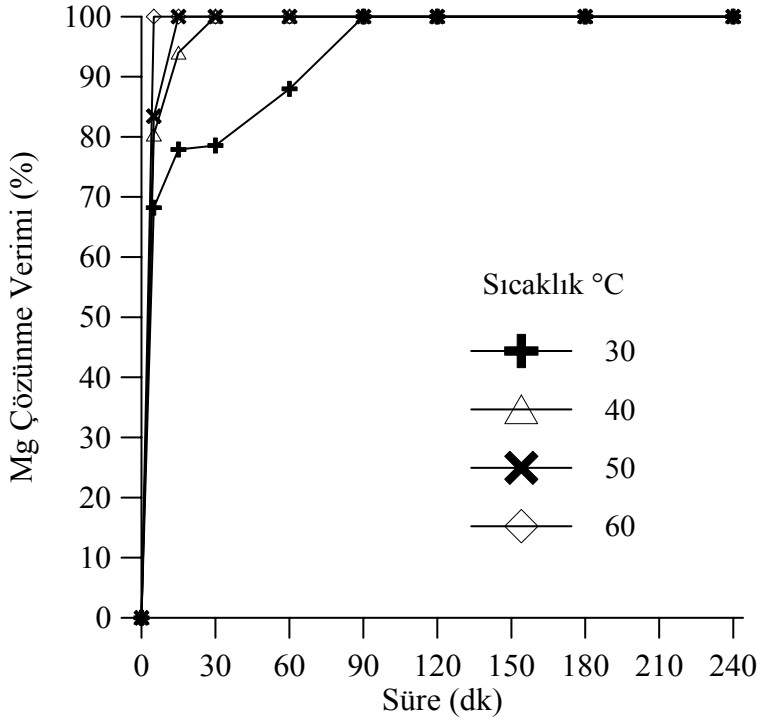
i) Sıcaklık arttıkça demir çözünme verimi artmaktadır.

ii) Sıcaklık, arttıkça demir çözünme hızı da artmaktadır.

iii) 240 dakika 60 °C, 0,5 M H_2SO_4 liçi sonunda % 11,17 demir çözünmesi meydana gelirken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 M NaF liçi sonunda % 60,51 demir çözünmektedir. NaF ilavesinin demir çözünmesine etkisinin düşük sıcaklıklarda oldukça fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.69. Sodyum forür (NaF) etkisinde sülfürik asit ortamında sıcaklığın Mg çözünmesine etkisi

Süre (dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)							
0	30 °C	pH 2,35	40 °C	pH 2,25	50 °C	pH 2,19	60 °C	pH 2,38
5	68,21	2,10	80,37	2,08	83,44	1,81	100,00	1,47
15	77,90	2,03	94,00	2,20	100,00	1,73	100,00	1,36
30	78,57	1,95	100,00	1,95	100,00	1,69	100,00	1,25
60	87,99	1,93	100,00	1,92	100,00	1,65	100,00	1,21
90	100,00	1,88	100,00	1,86	100,00	1,67	100,00	1,14
120	100,00	1,85	100,00	1,82	100,00	1,61	100,00	1,12
180	100,00	1,82	100,00	1,72	100,00	1,53	100,00	1,07
240	100,00	1,78	100,00	1,69	100,00	1,49	100,00	1,05



Şekil 5.67. Sodyum forür (NaF) etkisinde sülfürik asit ortamında sıcaklığın Mg çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.69 ve Şekil 5.67 incelendiğinde; örneğin, 240 dk sonunda 30 °C'de magnezyum çözünmesi % 100 iken; 60 °C'de dk liç işlemi sonunda % 100'e ulaşmaktadır.

i) Sıcaklık arttıkça magnezyum çözünme verimi artmaktadır.

ii) Sıcaklık, arttıkça magnezyum çözünme hızı da artmaktadır.

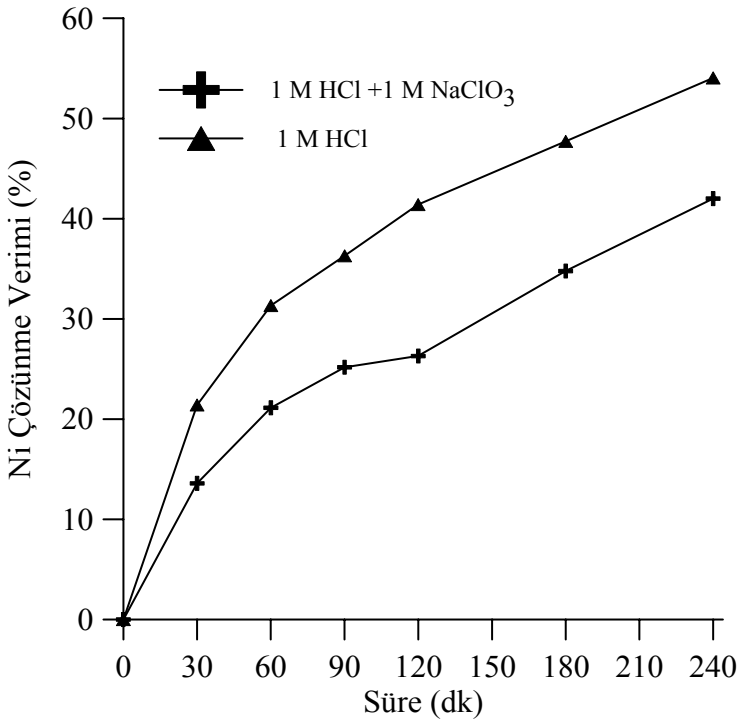
iii) 240 dakika 60 °C, 0,5 M H_2SO_4 liçi sonunda % 58,60 magnezyum çözünmesi meydana gelirken; 0,5 M H_2SO_4 + 0,5 M NaF liçi sonunda % 100 magnezyum çözünmektedir. NaF ilavesinin magnezyum çözünmesine etkisinin, düşük sıcaklıklarda oldukça fazla olduğu görülmektedir.

5.4.10. Hidroklorik asit ortamında sodyum klorat ($NaClO_3$) liçi

1 M HCl, 1 M $NaClO_3$ derişiminde, 60 °C'de, 200 dev/dk karıştırma hızında, -106 µm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.70 ve Şekil 5.68'de, Fe için Çizelge 5.71 ve Şekil 5.69'da ve Mg için ise, Çizelge 5.72 ve Şekil 5.70'de, verilmiştir.

Çizelge 5.70. 1 M HCl +1 M $NaClO_3$ Ni çözünmesine etkisi.

Süre (Dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	1 M HCl +1 M $NaClO_3$	pH	1 M HCl	pH
0		0,19		0,21
30	13,59	0,21	21,41	0,22
60	21,13	0,22	31,33	0,23
90	25,18	0,23	36,30	0,25
120	26,30	0,24	41,41	0,26
180	34,78	0,25	47,72	0,28
240	42,01	0,27	54,05	0,30



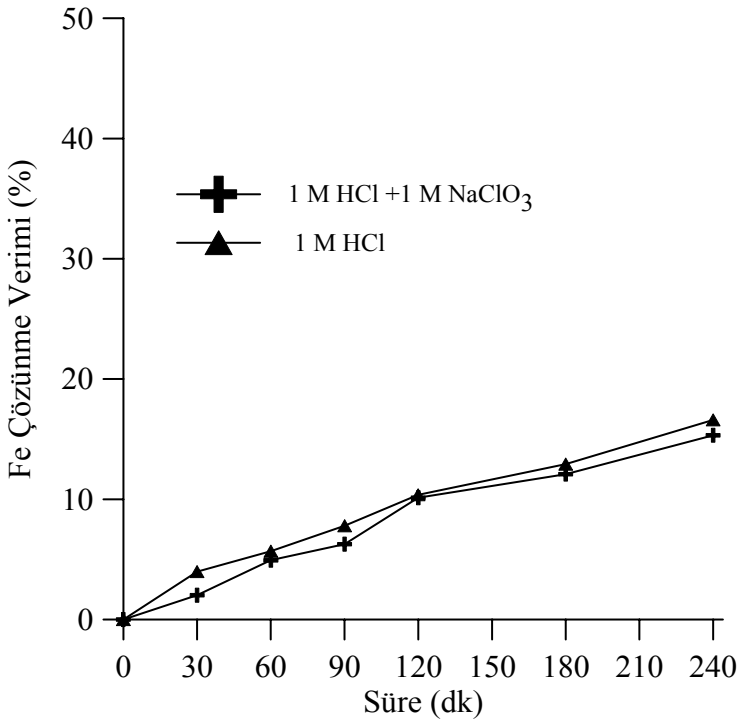
Şekil 5.68. 1 M HCl +1 M $NaClO_3$ Ni çözünme verimine etkisi etkisi.

Çizelge 5.70 ve Şekil 5.68 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 1 M HCl derişiminde nikel çözünme verimi % 54,05 iken; 1 M $NaClO_3$ ilavesi ile % 42,01'e düşmektedir.

i) Sodyum klorat ($NaClO_3$) ilavesinin Ni çözünme verimine etkisi olmamaktadır.

Çizelge 5.71. 1 M HCl +1 M $NaClO_3$ Fe çözünmesine etkisi.

Süre (Dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	1 M HCl +1 M $NaClO_3$	pH	1 M HCl	pH
0		0,19		0,21
30	2,02	0,21	3,98	0,22
60	4,93	0,22	5,68	0,23
90	6,26	0,23	7,80	0,25
120	10,13	0,24	10,37	0,26
180	12,09	0,25	12,92	0,28
240	15,32	0,27	16,60	0,30



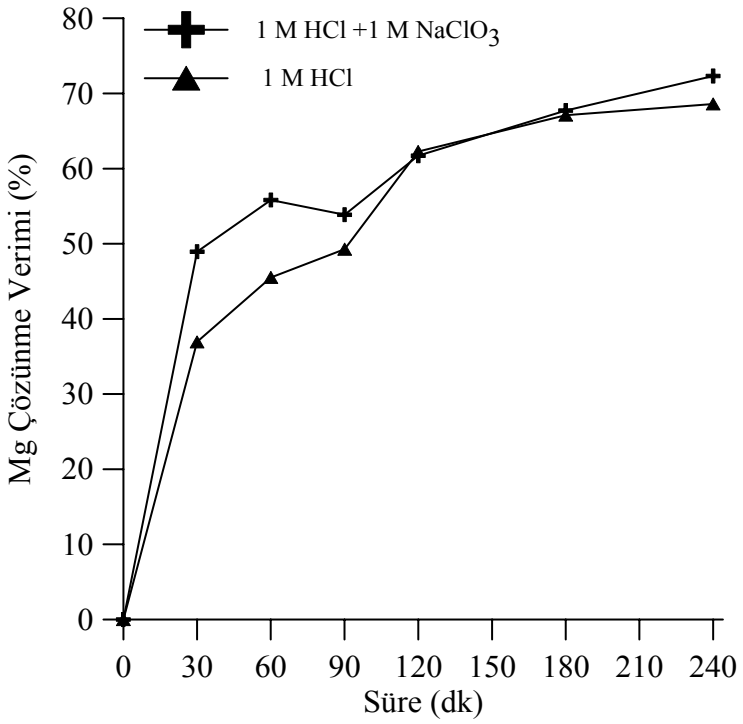
Şekil 5.69. 1 M HCl +1 M $NaClO_3$ Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.71 ve Şekil 5.69 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 1 M HCl derişiminde demir çözünme verimi % 16,60 iken; 1 M $NaClO_3$ ilavesi ile % 13,32'ye düşmektedir.

i) Sodyum klorat ($NaClO_3$) ilavesinin Fe çözünme verimine etkisi olmamaktadır.

Çizelge 5.72. 1 M HCl +1 M $NaClO_3$ Mg çözünmesine etkisi.

Süre (Dakika)	Mg Çözünme Verimi (%)			
	1 M HCl +1 M $NaClO_3$	pH	1 M HCl	pH
0		0,19		0,21
30	48,94	0,21	36,94	0,22
60	55,82	0,22	45,52	0,23
90	53,86	0,23	49,27	0,25
120	61,72	0,24	62,28	0,26
180	67,72	0,25	67,11	0,28
240	72,33	0,27	68,60	0,30



Şekil 5.70. 1 M HCl +1 M $NaClO_3$ Mg çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.72 ve Şekil 5.70 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 1 M HCl derişiminde magnezyum çözünme verimi % 68,60 iken; 1 M $NaClO_3$ ilavesi ile % 72,33'e ulaşmaktadır.

i) Sodyum klorat ($NaClO_3$) ilavesi ile Mg çözünme verimi artmaktadır.

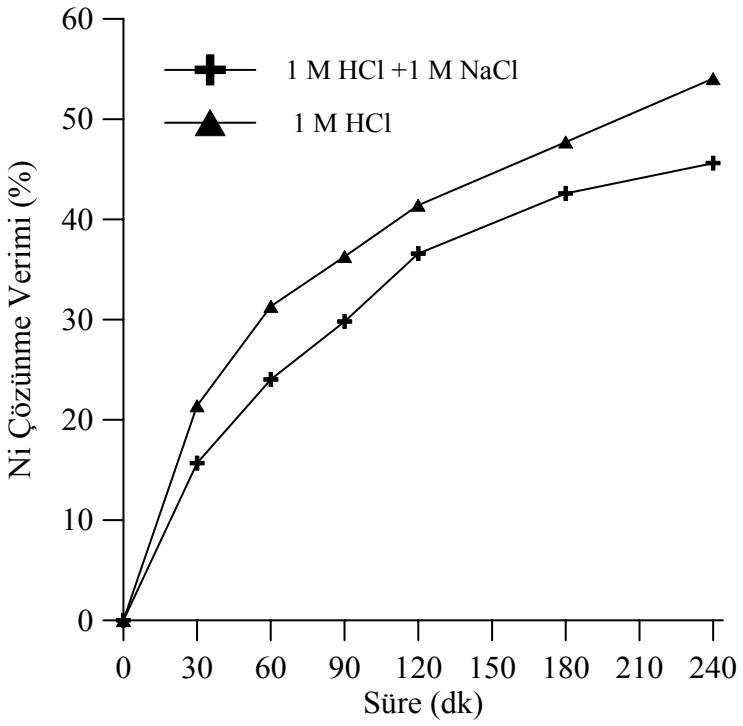
ii) Sodyum klorat ilavesi ile Mg çözünme hızıda artmaktadır.

5.4.11. Hidroklorik asit ortamında sodyum klorür (NaCl) liçi

1 M HCl, 1 M NaCl derişiminde, 60 °C'de, 200 dev/dk karıştırma hızında, -106 µm tane boyutunda cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.73 ve Şekil 5.71'de, Fe için Çizelge 5.74 ve Şekil 5.72'de ve Mg için ise, Çizelge 5.75 ve Şekil 5.73'de verilmiştir.

Çizelge 5.73. 1 M HCl +1 M NaCl Ni çözünmesine etkisi.

Süre (Dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	1 M HCl +1 M NaCl	pH	1 M HCl	pH
0		0,19		0,21
30	15,68	0,21	21,41	0,22
60	24,03	0,22	31,33	0,23
90	29,81	0,23	36,30	0,25
120	36,59	0,24	41,41	0,26
180	42,59	0,25	47,72	0,28
240	45,61	0,27	54,05	0,30



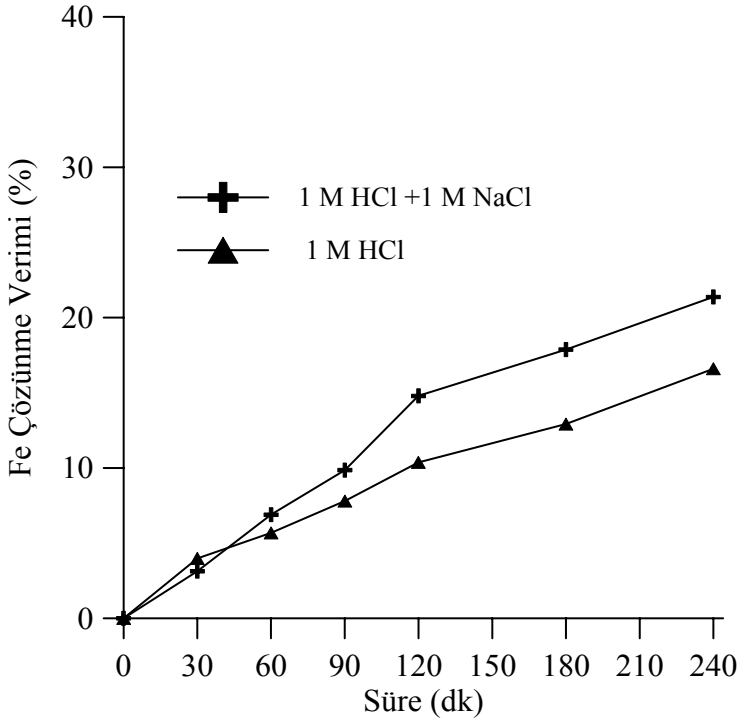
Şekil 5.71. 1 M HCl +1 M NaCl Ni çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.73 ve Şekil 5.71 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 1 M HCl derişiminde nikel çözünme verimi % 54,05 iken; 1 M NaCl ilavesi ile % 45,61'e düşmektedir.

i) Sodyum klorür (NaCl) ilavesinin Ni çözünme verimine etkisi olmamaktadır.

Çizelge 5.74. 1 M HCl +1 M NaCl Fe çözünmesine etkisi.

Süre (Dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	1 M HCl +1 M $NaClO_3$	pH	1 M HCl	pH
0		0,19		0,21
30	3,13	0,21	3,98	0,22
60	6,89	0,22	5,68	0,23
90	9,86	0,23	7,80	0,25
120	14,79	0,24	10,37	0,26
180	17,87	0,25	12,92	0,28
240	21,37	0,27	16,60	0,30



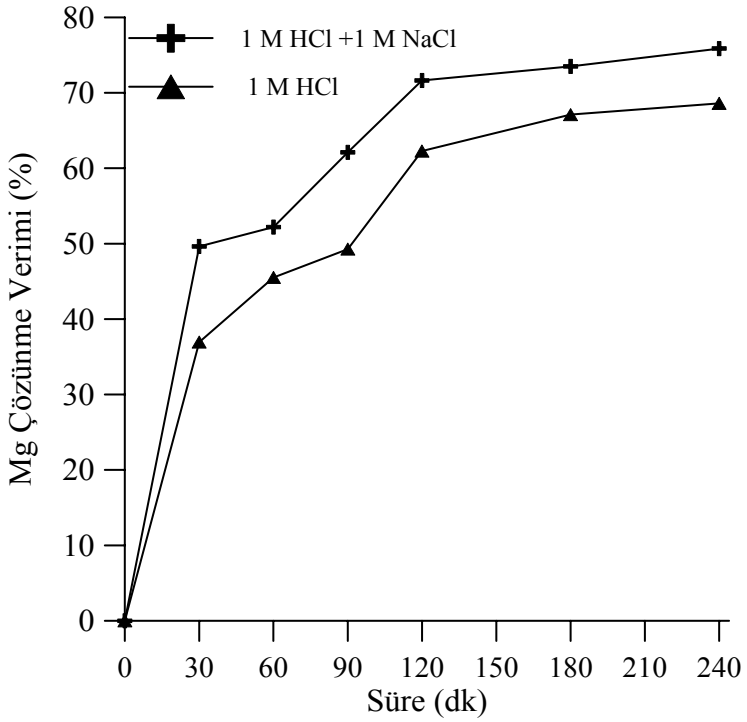
Şekil 5.72. 1 M HCl +1 M NaCl Fe çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.74 ve Şekil 5.72 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 1 M HCl derişiminde demir çözünme verimi % 16,60 iken; 1 M NaCl ilavesi ile % 21,37 olmaktadır.

i) Sodyum klorür (NaCl) ilavesinin Fe çözünme verimine fazla etkisi olmamaktadır.

Çizelge 5.75. 1 M HCl +1 M NaCl Mg çözünmesine etkisi.

Süre (Dakika)	Mg Çözünme Verimi (%)			
	1 M HCl +1 M NaCl	pH	1 M HCl	pH
0		0,19		0,21
30	49,63	0,21	36,94	0,22
60	52,19	0,22	45,52	0,23
90	62,11	0,23	49,27	0,25
120	71,65	0,24	62,28	0,26
180	73,51	0,25	67,11	0,28
240	75,87	0,27	68,60	0,30



Şekil 5.73. 1 M HCl +1 M NaCl Mg çözünme verimine etkisi.

Çizelge 5.75 ve Şekil 5.73 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 1 M HCl derişiminde magnezyum çözünme verimi % 68,60 iken; 1 M NaCl ilavesi ile % 75,87'ye ulaşmaktadır.

i) Sodyum klorür (NaCl) ilavesi ile Mg çözünme verimi artmaktadır.

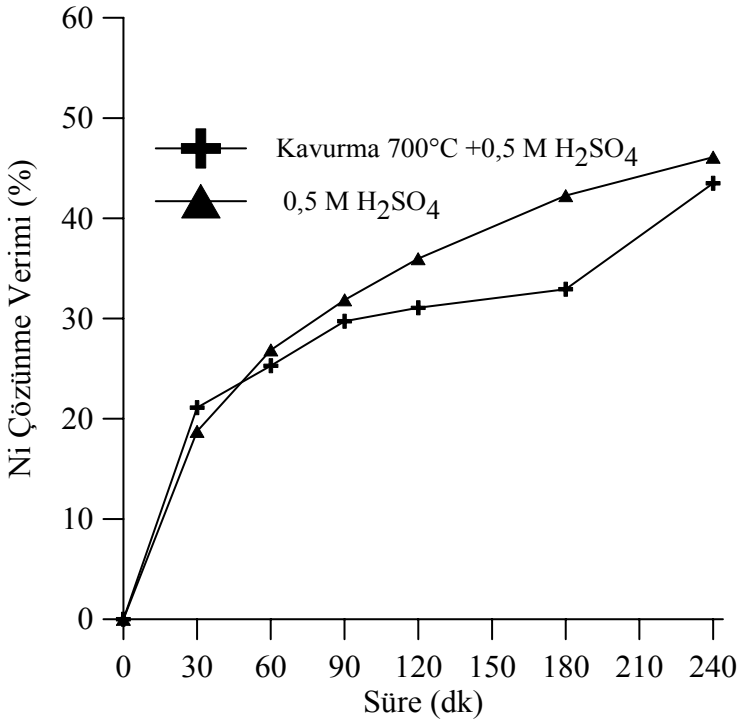
ii) Sodyum klorür ilavesi ile Mg çözünme hızıda artmaktadır.

5.4.12. Kavurma-Sülfürik asit liçi

Kavurma işleminin etkisini araştırmak için, 60 °C'de, 0,5 M H_2SO_4 derişiminde, 200 dev/dk karıştırma hızında, -106 µm tane boyutunda 700 °C'de kavrulmuş, cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.76 ve Şekil 5.74'de, Fe için Çizelge 5.77 ve Şekil 5.75'de ve Mg için ise, Çizelge 5.78 ve Şekil 5.76'da verilmiştir.

Çizelge 5.76. 700 °C'de kavurma +0,5 H_2SO_4 Ni çözünmesine etkisi

Süre (Dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)			
	700 °C kavurma +0,5 M H_2SO_4	pH	0,5 M H_2SO_4	pH
0		0,84		0,84
30	21,11	0,85	18,74	0,85
60	25,29	0,85	26,86	0,85
90	29,73	0,86	31,86	0,85
120	31,07	0,86	35,97	0,86
180	32,93	0,87	42,26	0,87
240	43,50	0,88	46,10	0,88



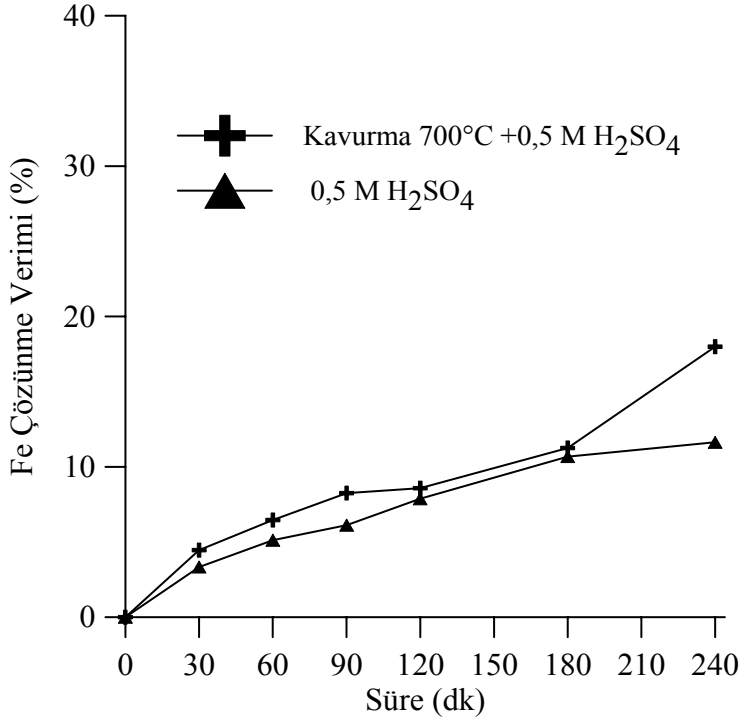
Şekil 5.74. 700 °C'de kavurma + 0,5 H_2SO_4 Ni çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.76 ve Şekil 5.74 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 0,5 M H_2SO_4 derişiminde nikel çözünme verimi % 46,10 iken; 700 °C kavurma +0,5 M H_2SO_4 liç işlemi sonucunda, % 43,50'ye düşmektedir.

i) Kavurma işleminin Ni çözünme verimine etkisi olmamaktadır.

Çizelge 5.77. 700 °C'de kavurma +0,5 H_2SO_4 Fe çözünmesine etkisi

Süre (Dakika)	Fe Çözünme Verimi (%)			
	700 °C kavurma +0,5 M H_2SO_4	pH	0,5 M H_2SO_4	pH
0		0,84		0,84
30	4,46	0,85	3,33	0,85
60	6,46	0,85	5,12	0,85
90	8,25	0,86	6,12	0,85
120	8,58	0,86	7,87	0,86
180	11,25	0,87	10,68	0,87
240	17,99	0,88	11,63	0,88



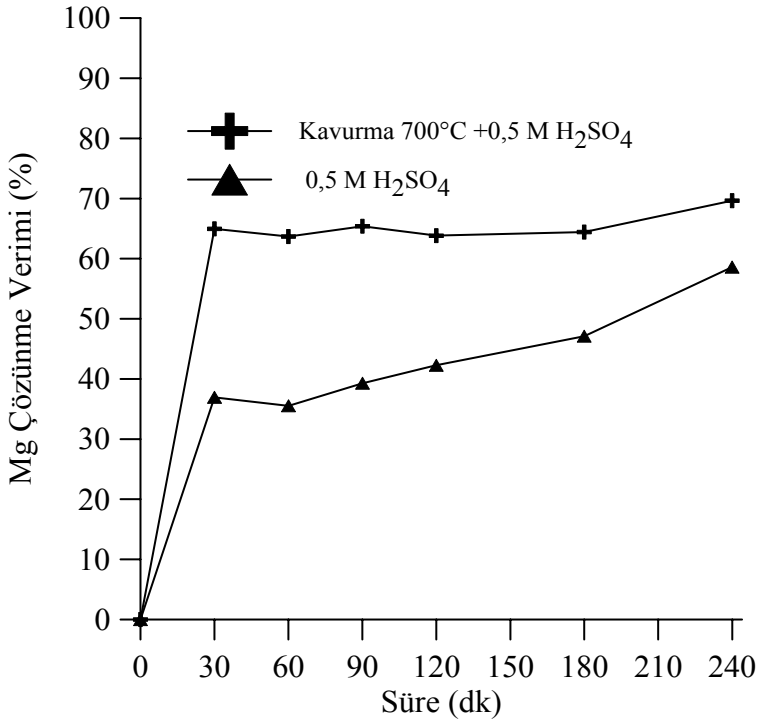
Şekil 5.75. 700 °C'de kavurma +0,5 H_2SO_4 Fe çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.77 ve Şekil 5.75 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 0,5 M H_2SO_4 derişiminde demir çözünme verimi % 11,63 iken; 700 °C kavurma +0,5 M H_2SO_4 liç işlemi sonucunda, % 17,99 olmaktadır.

i) Kavurma işleminin Fe çözünme verimine fazla etkisi olmamaktadır.

Çizelge 5.78. 700 °C'de kavurma +0,5 H_2SO_4 Mg çözünmesine etkisi

Süre (Dakika)	Mg Çözünme Verimi (%)			
	700 °C kavurma +0,5 M H_2SO_4	pH	0,5 M H_2SO_4	pH
0		0,84		0,84
30	64,96	0,85	36,94	0,85
60	63,67	0,85	35,52	0,85
90	65,39	0,86	39,27	0,85
120	63,83	0,86	42,28	0,86
180	64,42	0,87	47,11	0,87
240	69,64	0,88	58,60	0,88



Şekil 5.76. 700 °C'de kavurma +0,5 H_2SO_4 Mg çözünme verimine etkisi

Çizelge 5.78 ve Şekil 5.76 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 0,5 M H_2SO_4 derişiminde magnezyum çözünme verimi % 58,60 iken; 700 °C kavurma +0,5 M H_2SO_4 liç işlemi sonucunda, % 69,64'e ulaşmaktadır.

i) Kavurma işlemi ile Mg çözünme verimi artmaktadır.

ii) Kavurma işlemi ile Mg çözünme hızıda artmaktadır.

5.4.13. Kavurma-Amonyak-Amonyum karbonat liçi

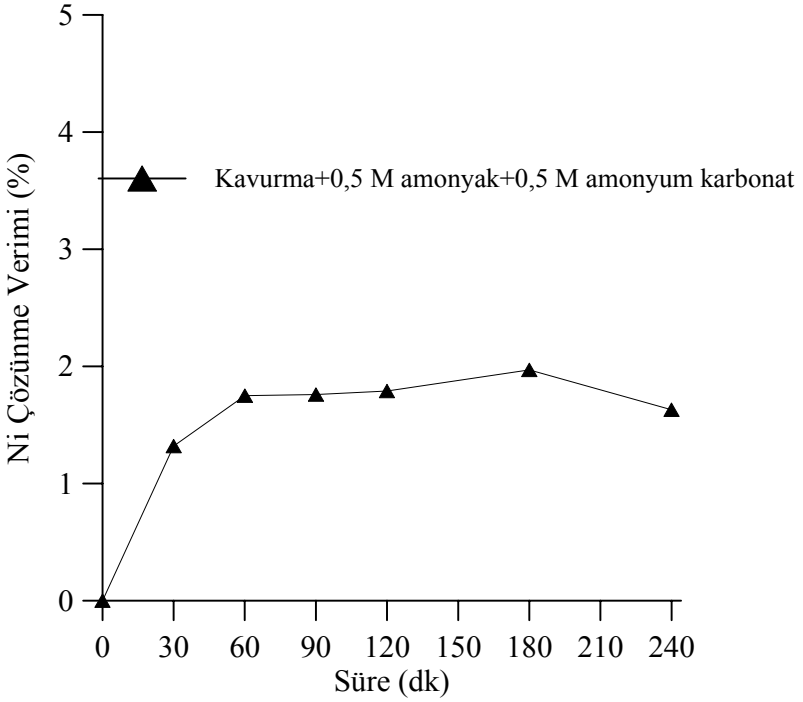
0,5 M amonyak, 0,5 M amonyum karbonat derişiminde, 30 °C'de, 400 dev/dk karıştırma hızında, -106 μm tane boyutunda 700 °C'de kavrulmuş, cevher numunesinden 10 g kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; Ni için Çizelge 5.79 ve Şekil 5.77'de verilmiştir.

Çizelge 5.79. Kavurma-amonyak-amonyum karbonatın Ni çözünmesine etkisi

Süre (Dakika)	Ni Çözünme Verimi (%)	
	700 °C kavurma +0,5 M amonyak+ 0,5 M amonyum karbonat	pH
0		9,7
30	1,32	9,5
60	1,75	9,37
90	1,76	9,26
120	1,79	9,16
180	1,97	8,97
240	1,63	8,85

Çizelge 5.79 ve Şekil 5.77 incelendiğinde; örneğin, 60 °C'de 240 dk liç işlemi sonunda, 700 °C kavurma +0,5 M amonyak+ 0,5 M amonyum karbonat liçi sonucunda nikel çözünme verimi % 1,63 olmaktadır.

i) Kavurma işlemi sonucunda yapılan amonyak liçinin Ni çözünme verimine etkisi olmamaktadır.



Şekil 5.77. Kavurma-amonyak-amonyum karbonatın Ni çözünme verimine etkisi

5.5. Solvent Ekstraksiyon Deneyleri

Deneysel çalışmalarda, 80 °C 'de, 2 M sülfürik asit kullanılarak yapılan liçing deneylerinden elde edilen sülfatlı çözeltiler kullanılmıştır. Çözelti içerisinde bulunan nikelin solvent ekstraksiyon ile çözeltiden selektif olarak ayrılması amaçlanmıştır.

Ekstraktant olarak, gaz yağı içerisinde seyreltilmiş 0,15 M Cyanex 272 (C16H34PO2H)-(bis(2,4,4-trimetilpenti) fosfonik asit kullanılmıştır.Ayrıca, 250 ml'lik ayırma hunisi, 100 ml'lik beher, pH metre ve manyetik karıştırıcı kullanışmıştır. Kimyasal analizler ise SensAAmodel AAS ile yapılmıştır.

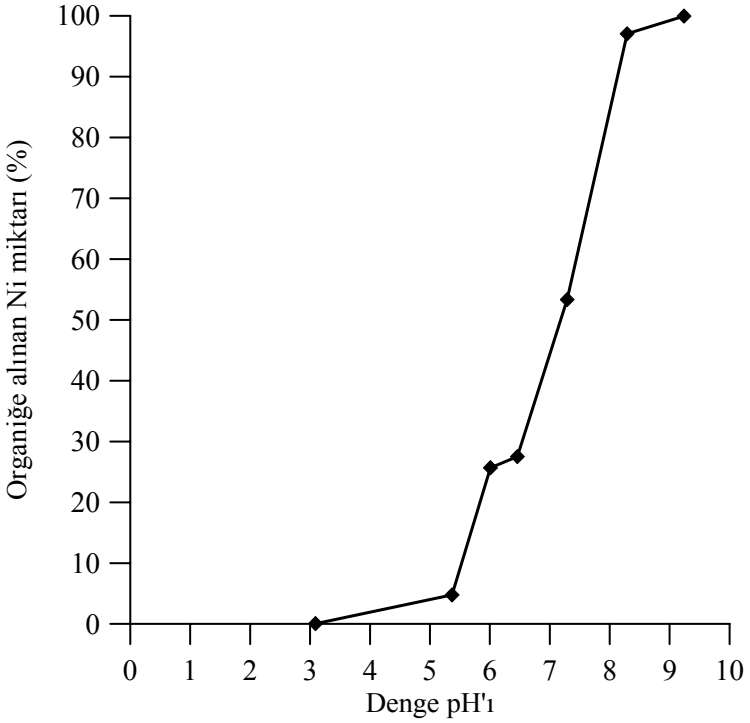
Çözelti içerisinde 15,3 g/l Fe ve 1,85 g/l Ni olduğu ölçülmüştür. Ni selektif olarak kazanılabilmesi için ortamdaki demir iyonlarının uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle, ilk olarak çözelti $Ca(OH)_2$ ile muamele edilmiş ve demirin tamamına yakını uzaklaştırılmıştır. Çöktürme sonrası, çözelti pH'sı ise 3,61 olarak ölçülmüştür.

Solvent ekstraksiyon deneyleri ortam sıcaklığında, 15 dk karıştırma ve 10 dk dinlendirme süresinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 25 ml organik/25 mlçözelti kullanılmıştır.Her bir deney aşamasında, çözeltinin denge pH'ları belirlenmiştir. Organiğe alınan % Ni değerlerini hesaplamak için, ayırma hunisinden ayrılan çözelti içerisinden 1 ml çözelti alınarak 100 ml'lik balon jojelere konulmuştur. pH ayarlamak için ise %1-4'lük NaOH çözeltisi kullanılmıştır.

Deneylerden elde edilen, denge pH'ları ve organiğe alınan Ni miktarları (%) Çizelge 5.80'de ve Şekil 5.78'de verilmiştir

Çizelge 5.80. Solvent ekstraksiyon deney sonuçları.

Denge PH	Organiğe alınan Ni miktarı (%)
3,09	0,04
5,37	4,75
6,01	25,68
6,46	27,50
7,29	53,32
8,29	97,05
9,24	99,96



Şekil 5.78. Solvent ekstraksiyon sonucunda elde edilen denge pH-organiğe alınan Ni miktarı (%).

Çizelge 5.80ve Şekil5.80'de görüldüğü gibi, Denge pH'ı arttıkça Ni'nin organiğe alınma miktarıda artmaktadır. Örneğin, pH 3,09 iken % 0,04 nikel organik faza alınırken, pH 9,24 değerinde % 99,96 nikel organik faza alınmaktadır.

6. TARTIŞMA

Bu çalışmada, Karaçam-Eskişehir lateritik Ni cevherinden fiziksel, fizikokimyasal ve kimyasal yöntemlerle Ni kazanımı çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, fiziksel ve fizikokimyasal yöntemlerin, Ni kazanımında etkin olmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, sülfürik asit (H_2SO_4), hidroklorik asit (HCl), nitrik asit (HNO_3) ve amonyak (NH_3) ortamında farklı reaktiflerin Ni kazanımı üzerine etkisi çalışmalarına önem verilmiştir.

Çalışma sonuçları; asit liçinin en uygun çözündürme yöntemi olduğunu ortaya koymuştur. Asit liçi çalışmalarında ortama eklenen yükseltgen reaktiflerin hiçbir etkisinin olmayışı, çözünme reaksiyonunun bir nötralizasyon reaksiyonu olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra, ortama sodyum florür (NaF) eklenmiş ve çözünme hızının oldukça arttığı gözlenmiştir. Bu sonucun, cevher içinde bulunan Ni'in bir kısmının silikatlı yapıya bağlı olduğu ve cevherin garniyerit ($(Ni,Mg)_3Si_2O_5(OH)_4$) minerali içermesi muhtemeldir.

Bu bölümde, çözünme mekanizmalarının ve her bir parametrenin incelenen koşullarda çözünme hızını nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla bir yaklaşım konulması amaçlanmıştır. Çözünme mekanizmasının kimyasal bir kinetikle mi veya difizyonla mı gerçekleştiği tespit edilmeye çalışılmıştır.

6.1. Çözünme kinetiği

Deneylerden elde edilen sonuçlara, Bölüm 2.5'de verilen çözünme modelleri uygulanmıştır. Bu modellerin korelasyon katsayısı en yüksek olan model çözünme modeli olarak seçilmiştir.

6.1.1. Çözünme kinetiği: Sülfürik asit çalışmaları

Sülfürik asit deneylerinden elde edilen sonuçlara ilgili modeller uygulanmış ve çözünme hızının sıcaklık ve asit derişimine bağımlılığı ortaya konmaya çalışılmıştır.

6.1.1.1. Sülfürik asit deneylerinde incelenen çözünme kinetiği: Sıcaklığın etkisi

H_2SO_4 ortamında farklı sıcaklıklarda yapılan liç işlemleri sonucunda, elde edilen sonuçların hangi çözünme modeline uyğunluğunu tespit etmek için, reaksiyonun kimyasal olarak kontrol edildiği durum için,

$1-(1-X)^{1/3} = k_s t$

reaksiyonun film difüzyonu olarak kontrol edildiği durum için,

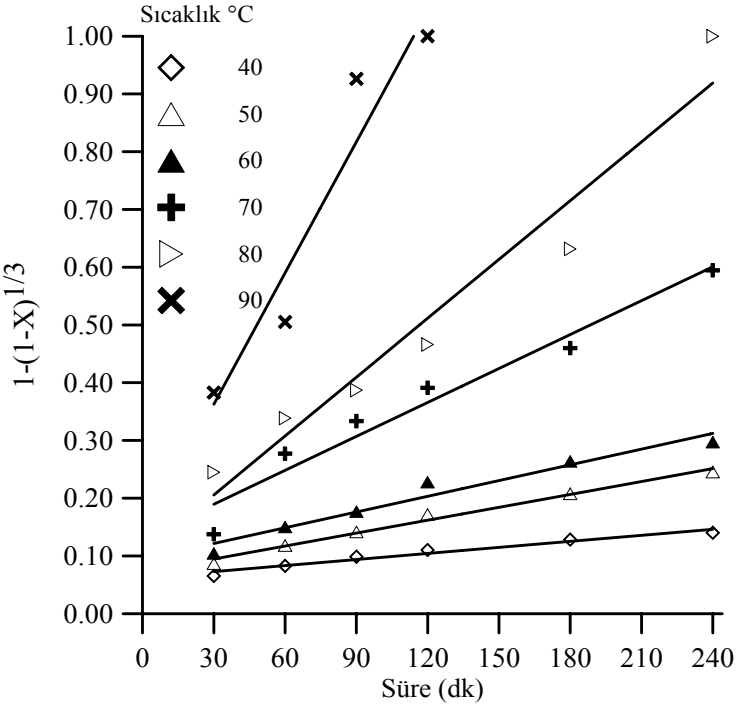
$1-(1-X)^{2/3} = k_d t$

reaksiyonun ürün tabakasından difüzyonla kontrol edildiği durum için ise,

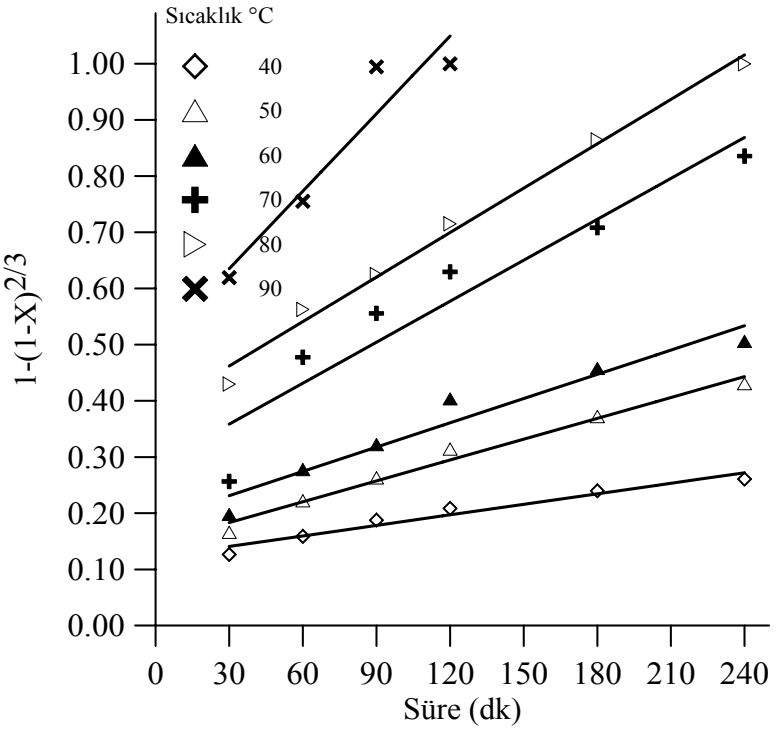
$1-2/3X-(1-X)^{2/3} = k_{dif} t$

eşitlikleri kullanılmıştır. Eşitliklerdeki X, nikelin herhangi bir andaki dönüşüm kesri olup, çözünme veriminin yüze bölümü ile belirlenmiştir. *t* liç süresi (dakika), k_s, k_d ve k_{dif} ise görünür hız sabiti (dakika^{-1}) olarak ile ifade edilmektedir.

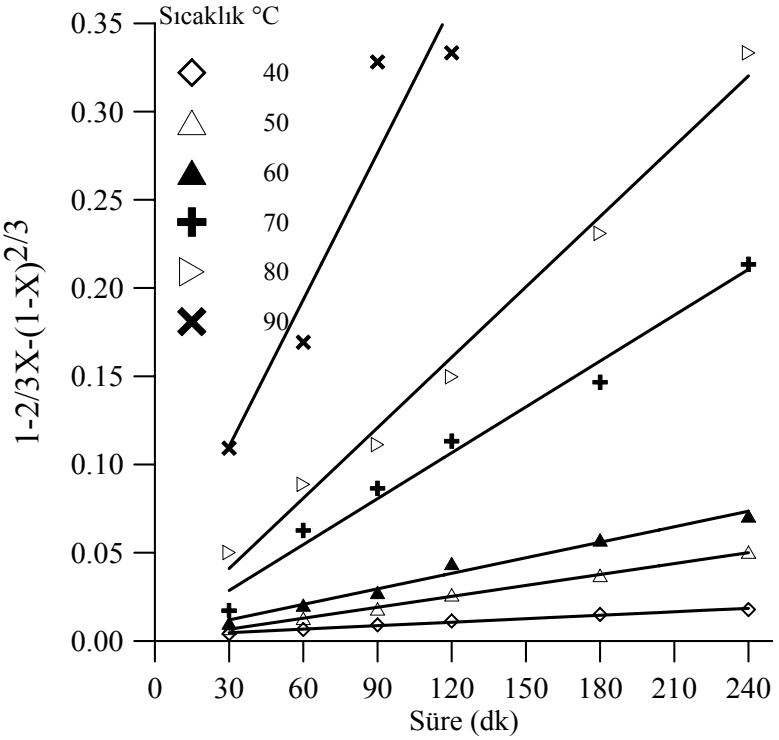
H_2SO_4 ortamında farklı sıcaklıklarda, elde edilen çözünme verimlerine kimyasal, film difüzyonu ve difüzyon modellerli uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Farklı sıcaklıklarda H_2SO_4 liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği.



Şekil 6.2. Farklı sıcaklıklarda H_2SO_4 liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen film difüzyon model grafiği.



Şekil 6.3. Farklı sıcaklıklarda H_2SO_4 liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği.

Deney verilerin eşitlik [2.10], [2.12] ve [2.14]'e uygulanması ile süreye karşı çizilen grafikten elde edilen doğrunun eğimleri görünür hız sabitlerini vermektedir. Çeşitli sıcaklık değerlerinin, 3 farklı çözünme modeli için görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi: Kinetik modeller ve her bir kinetik modele ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları.

Sıcaklığın Etkisi (°C)	Kimyasal Model $1-(1-X)^{1/3}$		Film Difüzyon Modeli $1-(1-X)^{2/3}$		Difüzyon Modeli $1-2/3X-(1-X)^{2/3}$	
	Görünür Hız Sabiti $(k_s)x10^{-3}$	Korelasyon Katsayısı (R^2)	Görünür Hız Sabiti $(k_d)x10^{-3}$	Korelasyon Katsayısı (R^2)	Görünür Hız Sabiti $(k_{dif})x10^{-3}$	Korelasyon Katsayısı (R^2)
40	0,3494	0,96	0,6251	0,95	0,0656	0,99
50	0,7442	0,99	1,2370	0,98	0,2064	0,99
60	0,9075	0,96	1,4394	0,94	0,2933	0,98
70	1,9585	0,96	2,4310	0,90	0,8663	0,98
80	3,3966	0,95	2,6374	0,99	1,3295	0,99
90	7,5741	0,92	4,6053	0,91	2,7709	0,90

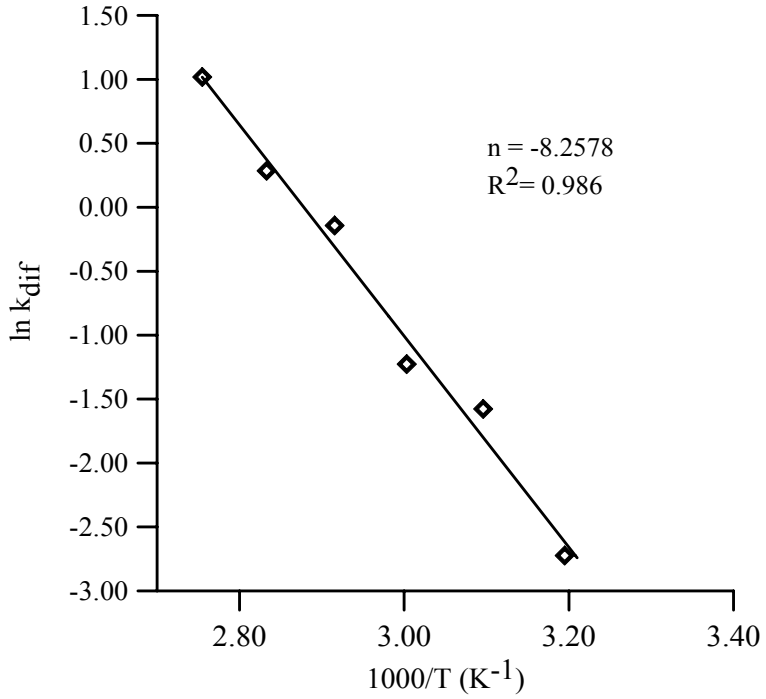
Çizelge 6.1 ve Şekil 6.1-6.2-6.3 incelendiğinde; 40-90 °C sıcaklık aralığında lateritik cevher numunesinden, nikel çözünmesinin difüzyon modeline uyduğu görülmektedir.

Sıcaklık ile görünür hız sabiti değerleri arasındaki ilişkiyi üstel olarak ifade etmek mümkündür. Reaksiyon hızı ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi en iyi şekilde tarif eden eşitlik [6.1]'de verilen Arrhenius eşitliğidir.

$$k = Ae^{\frac{-E_a}{RT}} \qquad [6.1]$$

Bu eşitlikte; k, görünür hız sabitini (dk^{-1}), A, frekans sabiti olarak da bilinen Arrhenius sabitini, Ea, aktivasyon enerjisini (kJ/mol), R ideal gaz sabitini (8,314 J/mol K) ve T de sıcaklığı (K) göstermektedir. Çizelge 6.1'de verilen difüzyon modeline ait görünür hız sabiti değerlerinin doğal logaritması alınarak *1/T*'ye karşı

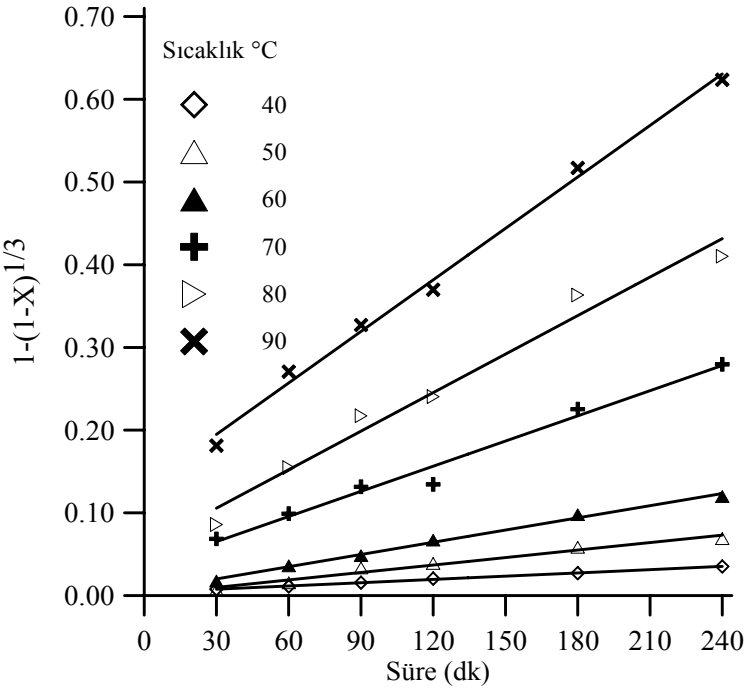
çizilmesinden elde edilen doğrunun eğimi *-Ea/R*'ye eşit olacağından, buradan liç prosesinin aktivasyon enerjisi hesaplanabilir. Farklı sıcaklıklarda H_2SO_4 liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için, elde edilen Arrhenius grafiği Şekil 6.4'de gösterilmiştir.



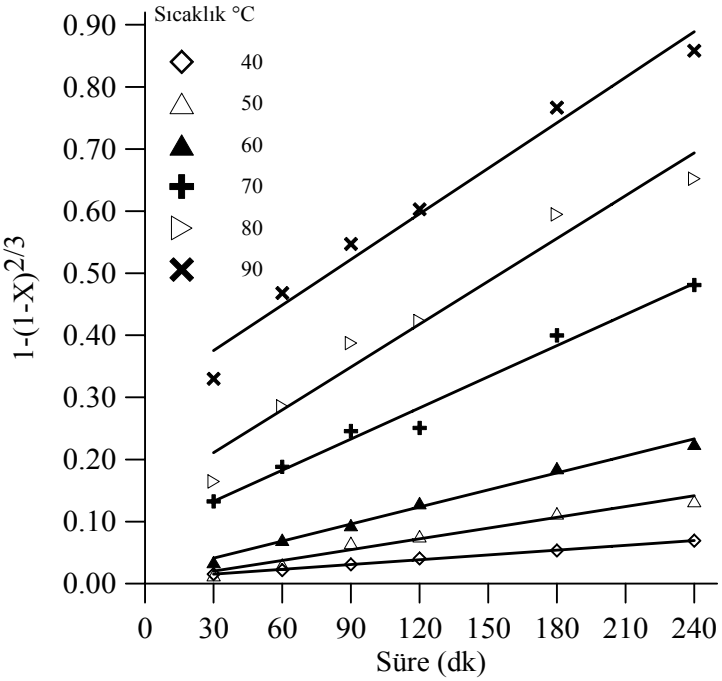
Şekil 6.4. H_2SO_4 ortamında Ni liçi için çizilen Arrhenius grafiği.

40-90 °C sıcaklık aralığında elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanan aktivasyon enerjisi 68,66 kJ/mol'dur. Arslan ve ark., 2006, Manisa-Çaldağ Lateritik Ni cevheri liçi çalışmalarında, 20-80 °C sıcaklık aralığında 6 saatlik liç işlemi sonucunda aktivasyon enerjisini 47,34 kJ/mol olarak hesaplamışlardır.

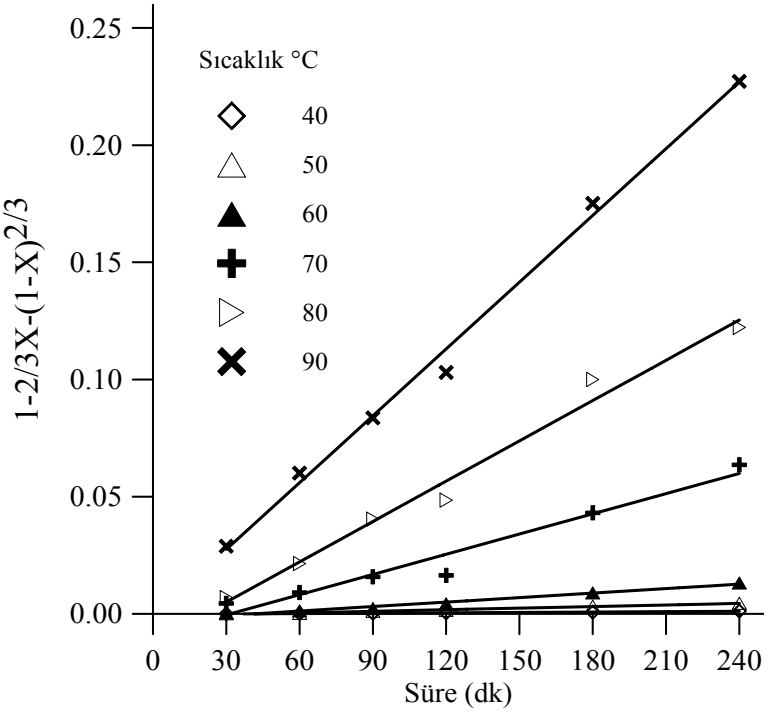
Sıcaklığın Fe çözünmesine etkisini belirlemek amacıyla, yukarıda verilen çözünme modelleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.5, 6.6 ve 6.7'de gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Farklı sıcaklıklarda H_2SO_4 liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği.



Şekil 6.6. Farklı sıcaklıklarda H_2SO_4 liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen film difüzyon model grafiği.



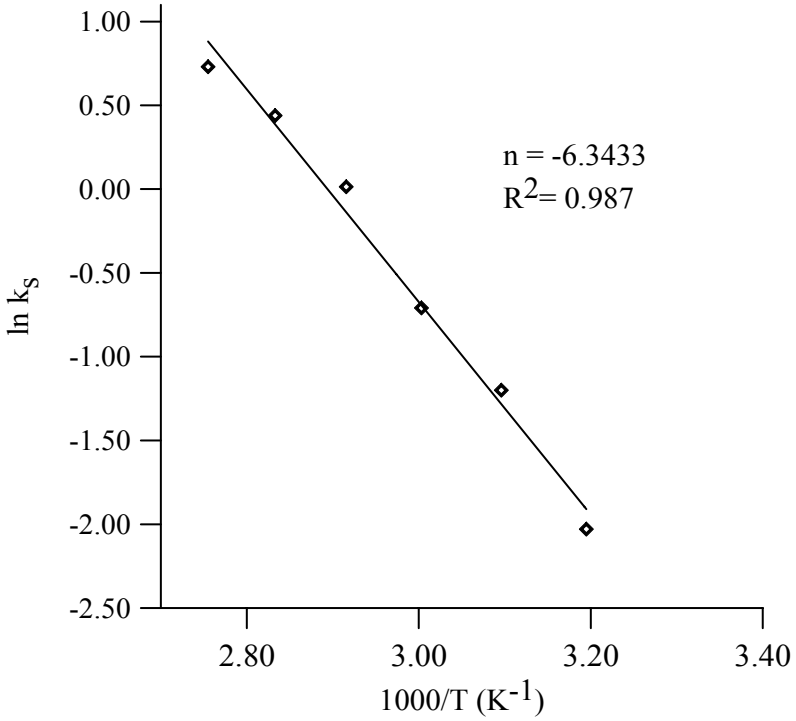
Şekil 6.7. Farklı sıcaklıklarda H_2SO_4 liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği.

Çeşitli sıcaklık değerlerinin, 3 farklı çözünme modeli için görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi: Kinetik modeller ve her bir kinetik modele ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları.

Sıcaklığın Etkisi (°C)	Kimyasal Model $1-(1-X)^{1/3}$		Film Difüzyon Modeli $1-(1-X)^{2/3}$		Difüzyon Modeli $1-2/3X-(1-X)^{2/3}$	
	Görünür Hız Sabiti $(k_s)x10^{-3}$	Korelasyon Katsayısı (R^2)	Görünür Hız Sabiti $(k_d)x10^{-3}$	Korelasyon Katsayısı (R^2)	Görünür Hız Sabiti $(k_{dif})x10^{-3}$	Korelasyon Katsayısı (R^2)
40	0,1314	0,99	0,2572	0,99	0,0055	0,97
50	0,301	0,97	0,5705	0,97	0,0225	0,98
60	0,4919	0,99	0,9145	0,99	0,0637	0,98
70	1,0137	0,98	1,6712	0,98	0,2874	0,95
80	1,5517	0,98	2,2999	0,96	0,5733	0,98
90	2,075	0,99	2,4457	0,98	0,9499	0,99

Çizelge 6.2 ve Şekil 6.5-6.6-6.7 incelendiğinde; 40-90 °C sıcaklık aralığında lateritik cevher numunesinden, demir çözünmesinin kimyasal modele uyduğu görülmektedir. Buradan hareketle aktivasyon enerjisinin hesaplanması amacıyla Arrhenius grafiği çizilmiştir (Şekil 6.8).



Şekil 6.8. H_2SO_4 ortamında Fe liçi için çizilen Arrhenius grafiği.

40-90 °C sıcaklık aralığında elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanan aktivasyon enerjisi 52,74 kJ/mol'dur.

Çalışmalarda kullanılan Ni cevherinin Fe oranı % 23,14, Ni oranı ise % 1,84 olduğu bilinmektedir. Sıcaklığa bağlı olarak elde edilen Fe ve Ni çözünme verimlerine bakıldığında, Ni'nin Fe'e göre daha fazla çözündüğü izlenimi doğmaktadır. Cevherdeki nikelin, demir matriksi içinde bulunduğu ve Ni çözünmesinin Fe çözünmesine bağlı olduğu söylenebilir. Çünkü, Bölüm 5.4.13'de verilen amonyak liç çalışmalarında nikelin hemen hemen hiç çözünmemesi amonyak ortamında demirin çözünmemesine bağlı olarak açıklanabilir. Bu bağlamda, çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) oranları hesaplanmıştır. Değerler Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. H_2SO_4 liçing şartlarında çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) değerleri.

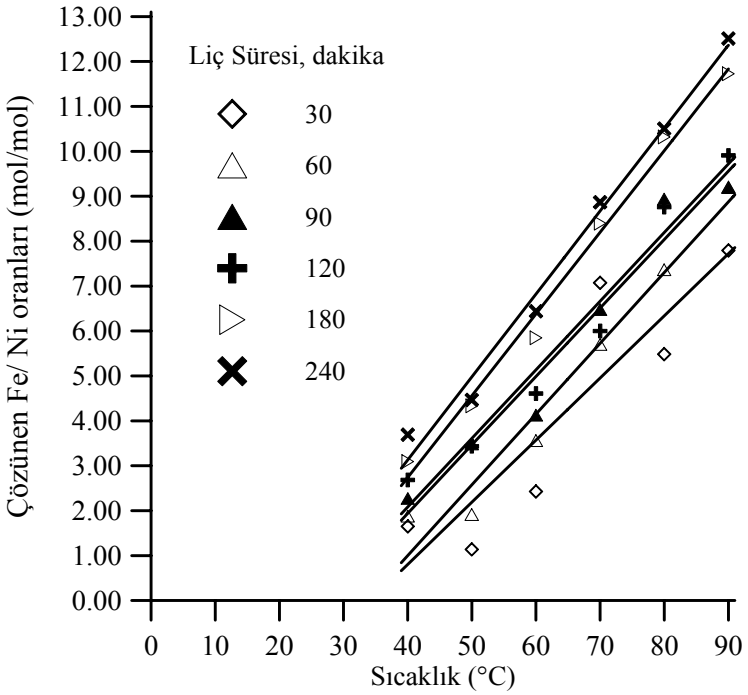
Süre (dk)	Fe/Ni (mol/mol)					
	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
30	1,650236	1,138379	2,427292	7,070553	5,483382	7,794005
60	1,875637	1,913329	3,560868	5,700232	7,363259	9,203885
90	2,271011	3,484984	4,126166	6,476699	8,937911	9,191646
120	2,685258	3,433361	4,608911	5,9981	8,756303	9,908258
180	3,093343	4,333514	5,845543	8,39511	10,31984	11,72682
240	3,691561	4,464934	6,437047	8,865142	10,50431	12,51187

Çizelge 6.3'de görüleceği gibi, liç süresi ve sıcaklığı arttıkça çözünen mol Fe/çözünen mol Ni değerleri artmaktadır (Fe/Ni, mol/mol).

Her bir sıcaklığa bağlı olarak, çeşitli liç süreleri için Fe/Ni (mol/mol) oranlarının çizilmesine karar verilmiştir. Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı Fe/Ni (mol/mol) oranları hesaplanmış Çizelge 6.4 ve Şekil 6.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. H_2SO_4 liçing şartlarında sıcaklığa bağlı çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) değerleri.

Sıcaklık (°C)	Fe/Ni (mol/mol)					
	30 (dk)	60 (dk)	90 (dk)	120 (dk)	180 (dk)	240 (dk)
40	1,650236	1,875637	2,271011	2,685258	3,093343	3,691561
50	1,138379	1,913329	3,484984	3,433361	4,333514	4,464934
60	2,427292	3,560868	4,126166	4,608911	5,845543	6,437047
70	7,070553	5,700232	6,476699	5,9981	8,39511	8,865142
80	5,483382	7,363259	8,937911	8,756303	10,31984	10,50431
90	7,794005	9,203885	9,191646	9,908258	11,72682	12,51187



Şekil 6.9. Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı olarak çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) oranları.

Şekil 6.9'da elde edilen eğim değerleri her bir süreye bağlı olarak Çizelge 6.5'de verilmiştir.

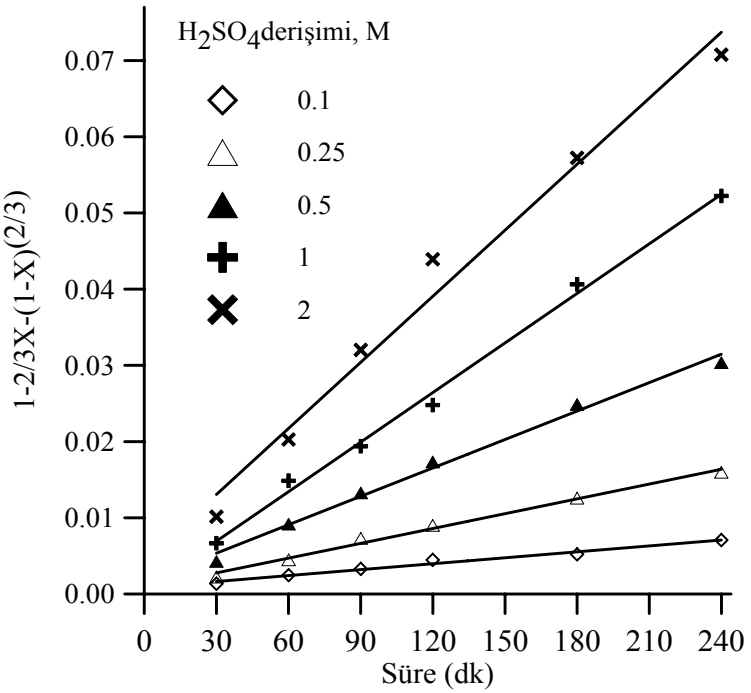
Çizelge 6.5. Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı çözünen Fe/Ni (mol/mol) oranlarının eğimleri ve korelasyon değerleri.

Süre (dk)	Eğim *(k)*	Korelasyon katsayısı (R^2)
30	0,138	0,80
60	0,156	0,96
90	0,152	0,96
120	0,153	0,97
180	0,182	0,99
240	0,185	0,99

Bunun anlamı, sıcaklıklar arttıkça her bir süre için çözünen Fe miktarının, Ni çözünmesine göre artmakta ve oran yaklaşık olarak 0,161 civarındadır. Başka bir deyişle, Fe çözündükçe nikel de çözünmektedir. Ancak, sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi Ni çözünmesine olan etkisinden daha fazladır. Yukarıda hesaplanan aktivasyon enerjileri de bu durumu teyyit etmektedir.

6.1.1.2. Sülfürik asit deneylerinde incelenen çözünme kinetiği Sülfürik asit derişiminin etkisi

Sülfürik asit derişiminin etkisinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlara eşitlik [2.14] uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



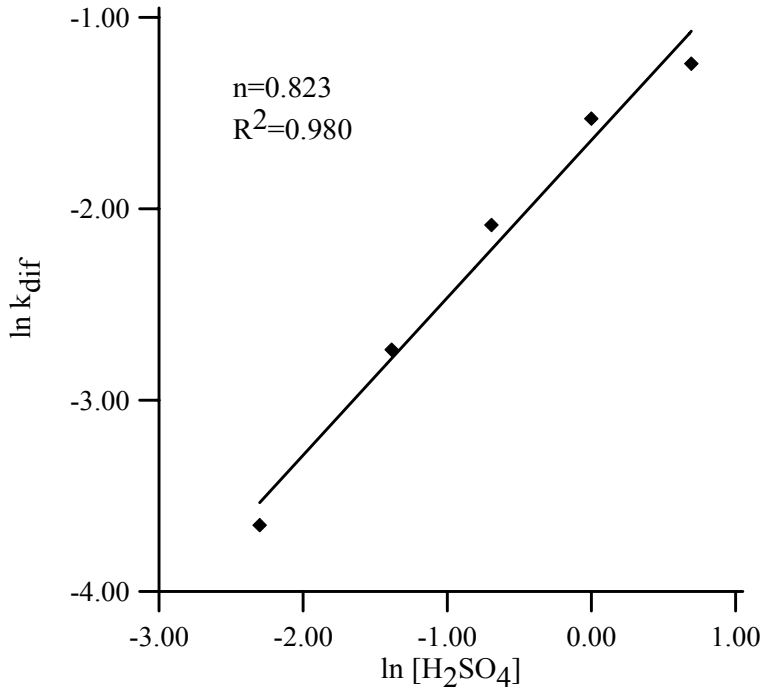
Şekil 6.10. Farklı asit derişimlerinde H_2SO_4 liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği.

Çeşitli sülfürik asit derişim değerlerinin, çözünme modeli için görünür hız sabitleri (k_{dif}) ve korelasyon katsayıları Çizelge 6.6'de verilmiştir.

Çizelge 6.6. Sülfürik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi: Difüzyon modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları.

Asit Derimi (M)	Difüzyon Modeli $1\text{-}2/3X\text{-}(1\text{-}X)^{2/3}$	
	Görünür Hız Sabiti (k_{dif})x10^{-3}	Korelasyon Katsayısı (R^2)
0,1	0,0259	0,98
0,25	0,0648	0,99
0,5	0,1243	0,99
1	0,2168	0,99
2	0,2889	0,98

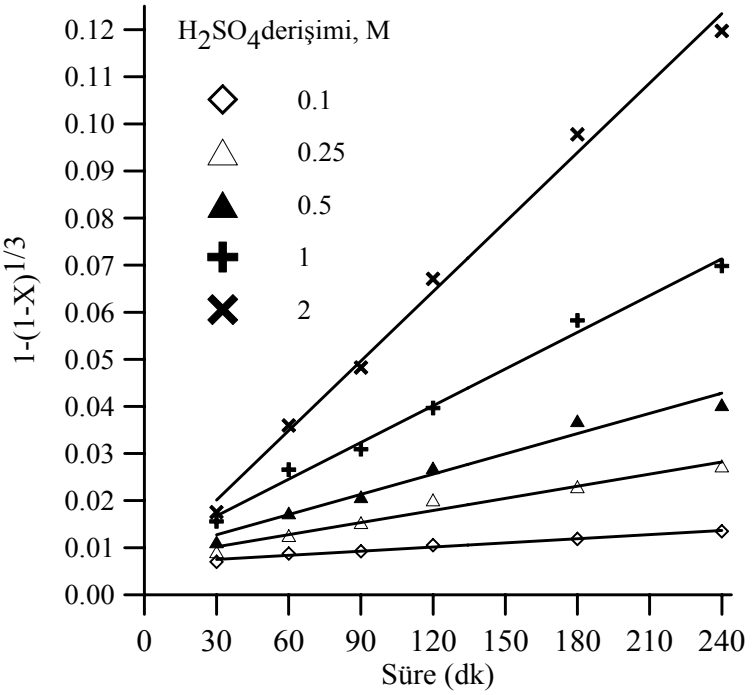
Çizelge 6.6'da görüldüğü gibi, asit derişimi artıkça görünür hız sabiti (k_{dif}) değeride artmaktadır. Çizelge 6.5'de verilen hız sabitlerinden hareketle H_2SO_4 ortamında lateritik nikel cevherinden, Ni çözünmesinin H_2SO_4 derişimine bağımlılığı belirlenebilir. Bu amaçla; $\ln[H_2SO_4]$-$\ln k_{dif}$ grafiği Şekil 6.11'de çizilmiştir.



Şekil 6.11. Sülfürik asit derişiminin etkisi: *ln* $[H_2SO_4]$- *ln* k_{dif} ilişkisi

Şekil 6.11'den elde edilen doğrunun eğimi 0,823 olarak belirlenmiştir. Çalışılan şartlarda, Ni çözünmesinin sülfürik asit derişimine bağımlılığı $[H_2SO_4]^{0,823}$ olarak belirlenmiştir.

Süfürik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlara eşitlik [2.12] uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.12'de gösterilmiştir.



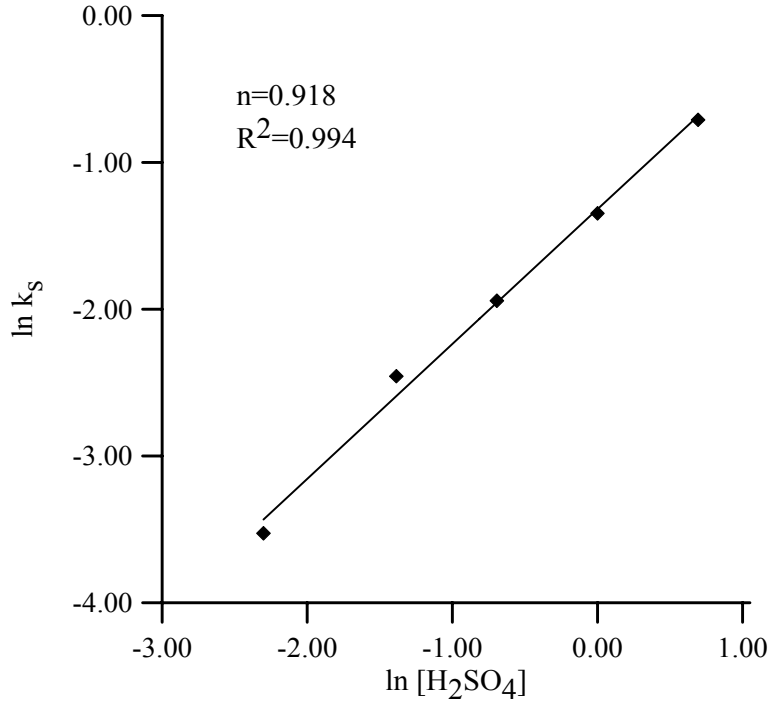
Şekil 6.12. Farklı asit derişimlerinde H_2SO_4 liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği.

Çeşitli sülfürik asit derişim değerlerinin, çözünme modeli için görünür hız sabitleri (k_s) ve korelasyon katsayıları Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Sülfürik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi: Kimyasal modele ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları.

Asit Derimi (M)	Kimyasal Model $1-(1-X)^{1/3}$	
	Görünür Hız Sabiti (k_s)x10^{-3}	Korelasyon Katsayısı (R^2)
0,1	0,0294	0,98
0,25	0,0857	0,97
0,5	0,1433	0,97
1	0,2599	0,99
2	0,4919	0,99

Çizelge 6.7'de görüldüğü gibi, asit derişimi artıkça görünür hız sabiti (k_s) değeride artmaktadır. Çizelge 6.7'de verilen hız sabitlerinden hareketle H_2SO_4 ortamında lateritik nikel cevherinden, Fe çözünmesinin H_2SO_4 derişimine bağımlılığı belirlenebilir. Bu amaçla; ln[H_2SO_4]-ln k_s grafiği Şekil 6.13'de çizilmiştir.

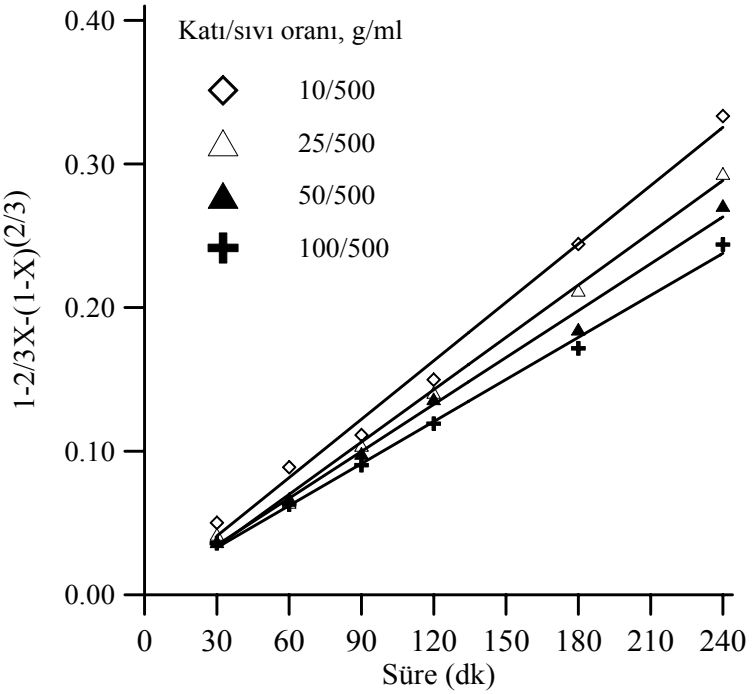


Şekil 6.13. Sülfürik asit derişiminin etkisi: *ln* [H_2SO_4]- *ln* k_s ilişkisi.

Şekil 6.13'den elde edilen doğrunun eğimi 0,918 olarak belirlenmiştir. Çalışılan şartlarda, Fe çözünmesinin sülfürik asit derişimine bağımlılığı $[H_2SO_4]^{0,918}$ olarak belirlenmiştir.

6.1.1.3. Sülfürik asit deneylerinde incelenen çözünme kinetiği : Katı/sıvı oranının etkisi

10/500-100/500 g/ml katı sıvı oranı aralığında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara eşitlik [2.14] uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.14 gösterilmiştir.



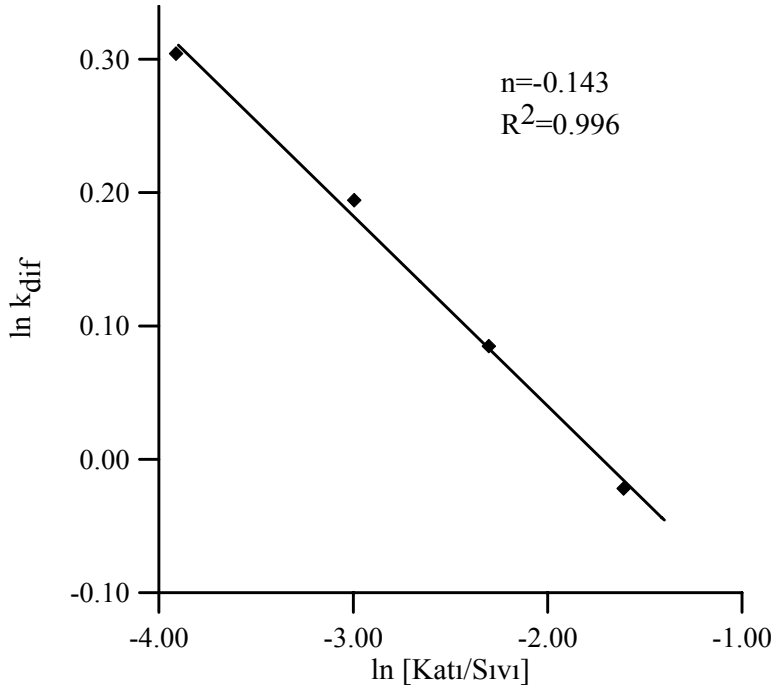
Şekil 6.14. Farklı katı/sıvı oranlarında H_2SO_4 liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği.

Her bir katı/sıvı oranı için elde edilen görünür hız sabitleri (k_{dif}) ve korelasyon katsayıları Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Katı/ sıvı oranının Ni çözünmesine etkisi: Difüzyon modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları.

Katı/sıvı oranı (g/ml)	Difüzyon Modeli $1\text{-}2/3X\text{-}(1\text{-}X)^{2/3}$	
	Görünür Hız Sabiti (k_{dif})x10^{-3}	Korelasyon Katsayısı (R^2)
10/500	1,3556	0,99
25/500	1,2144	0,99
50/500	1,0885	0,99
100/500	0,9783	0,99

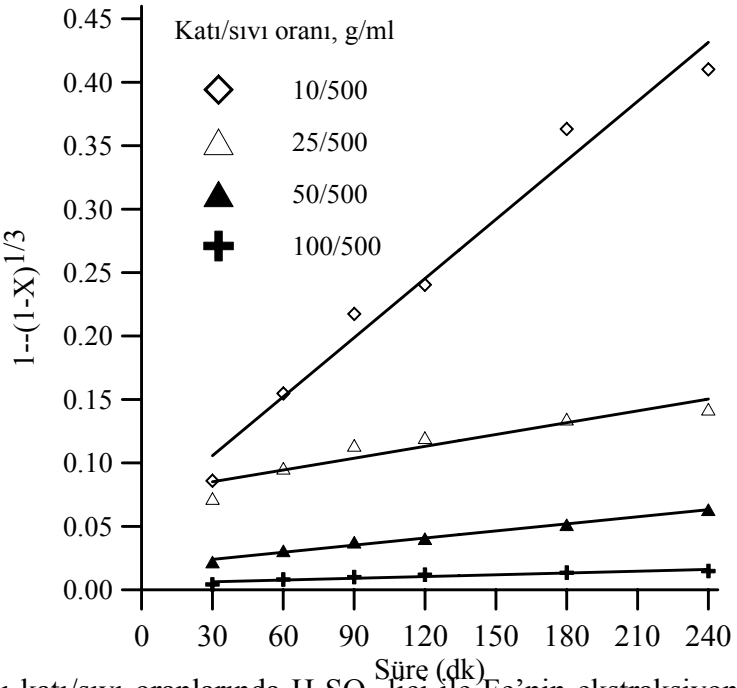
Çizelge 6.8'de verilen görünür hız sabitlerinin yardımıyla katı/sıvı oranının lateritik nikel cevherinden Ni çözünmesine bağımlılığını belirlenebilir. Bu amaçla; ln[Katı/sıvı]-ln k_{dif} grafiği Şekil 6.15'de çizilmiştir.



Şekil 6.15. Katı/sıvı oranının etkisi: *ln* [Katı/sıvı]- *ln* k_{dif} ilişkisi.

Şekil 6.15'den elde edilen doğrunun eğimi -0,143 olarak belirlenmiştir. Çalışılan şartlarda, Ni çözünmesinin katı/sıvı oranına bağımlılığı $[k/s]^{-0,143}$ olarak belirlenmiştir.

Katı/sıvı oranını Fe çözünmesine etkisinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlara eşitlik [2.12] uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.16'da gösterilmiştir.



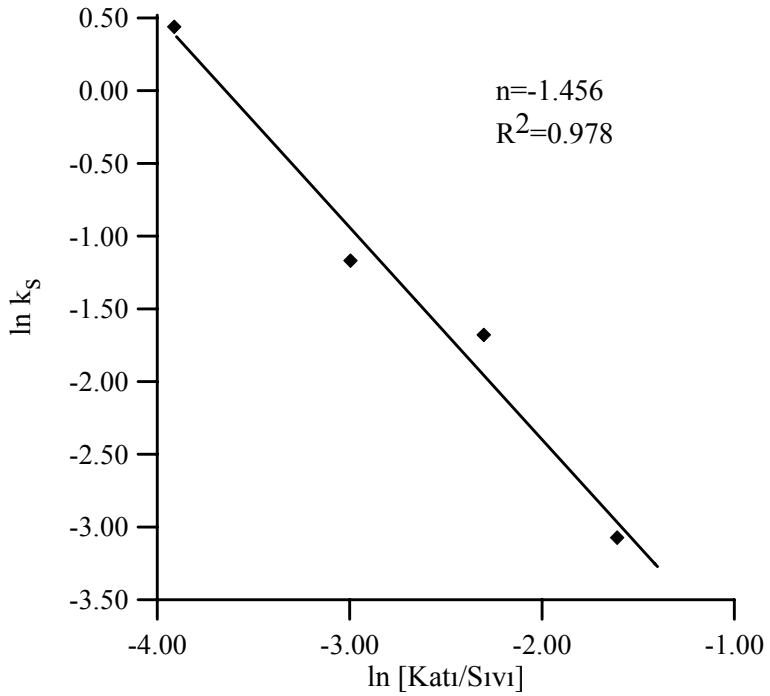
Şekil 6.16. Farklı katı/sıvı oranlarında H_2SO_4 liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği.

Her bir katı/sıvı oranı için elde edilen görünür hız sabitleri (k_s) ve korelasyon katsayıları Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Katı/ sıvı oranının Fe çözünmesine etkisi: Kimyasal modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları.

Katı/sıvı oranı (g/ml)	Kimyasal Model $1-(1-X)^{1/3}$	
	Görünür Hız Sabiti (k_s)x10^{-3}	Korelasyon Katsayısı (R^2)
10/500	1,5517	0,98
25/500	0,3108	0,88
50/500	0,1865	0,99
100/500	0,0463	0,88

Çizelge 6.9'da verilen görünür hız sabitlerinin yardımıyla katı/sıvı oranının lateritik nikel cevherinden Fe çözünmesine bağımlılığını belirlenebilir. Bu amaçla; ln[Katı/sıvı]-ln k_s grafiği Şekil 6.17'de çizilmiştir.



Şekil 6.17. Katı/sıvı oranının etkisi: etkisi *ln* [Katı/sıvı]- *ln* k_s ilişkisi.

Şekil 6.17'den elde edilen doğrunun eğimi -1,456 olarak belirlenmiştir. Çalışılan şartlarda, Fe çözünmesinin katı/sıvı oranına bağımlılığı $[k/s]^{-1,456}$ olarak belirlenmiştir.

Karıştırma hızının Ni ve Çözünmesine etkisinin olmadığı Bölüm 5.4.1.1 ‘de gösterilmiştir.Çalışmalarda kullanılan, lateritik nikel cevherinden Ni çözünmesi difüzyon ile gerçekleşirken; Fe çözünmesinin ise kimyasal olarak gerçekleşmiş ve yine bu bölümde gösterilmiştir. Bunun yanısıra, karıştırma hızının Ni ve Fe çözünmesine etkisinin olmaması çözünme reaksiyonunun bir nötralizasyon reaksiyonu olabileceğini göstermektedir. Daha önceki yıllarda yapılan çalışmalarda karıştırma hızının etkisinin olmadığı gösterilmiştir (Georgiou 1995; Georgiou ve Papangelakis, 1998).

Ni için eşitlik [2.14] kullanılarak yarı ampirik hız eşitliği oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, Çizelge 6.10’da difüzyon modeli için deneylerden elde edilen üssel değerler verilmiştir.

Çizelge 6.9. Difüzyon modeli için deneylerden elde edilen üssel değerler.

Parametre	Deney Aralığı	Üssel değerler
Karıştırma Hızı	100-600 dev/dk	0
Sıcaklık	40-90 °C	-
H_2SO_4 Derişimi	0,1-2 M	0,823
Katı/Sıvı Oranı	10/500-100/500 mg/l	-0,143

Çizelge 6.10’da verilen değerlerler ve aktivasyon enerjisinden hareketle Ni için aşağıdaki genel hız ifadesi,

$$1\text{-}2/3X\text{-}(1\text{-}X)^{2/3}=k_1[(n)^0.[H_2SO_4]^{0,823}.e^{-68660.(R.T)}.(k/s)^{-0,143}].t \qquad [6.1]$$

olarak oluşturulmuştur.

Çizelge 6.11. Kimyasal model için deneylerden elde edilen üssel değerler.

Parametre	Deney Aralığı	Üssel değerler
Karıştırma Hızı	100-600 dev/dk	0
Sıcaklık	40-90 °C	-
H_2SO_4 Derişimi	0,1-2 M	0,918
Katı/Sıvı Oranı	10/500-100/500 mg/l	-1,456

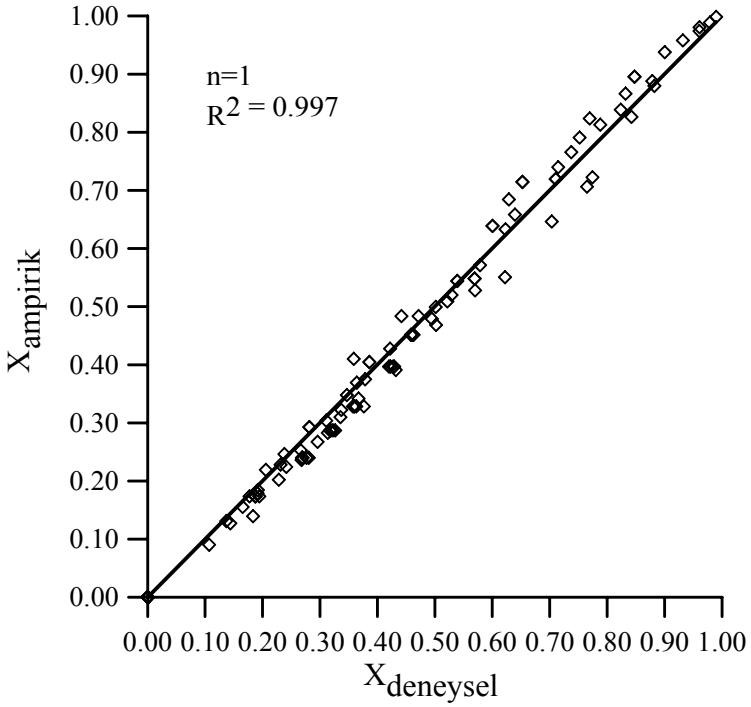
Fe için ise eşitlik [2.12] kullanılmış ve aynı şekilde Çizelge 6.11’deki kimyasal model için verilmiş olan üssel değerler ve aktivasyon enerjisi kullanılarak

Fe için genel hız ifadesi,

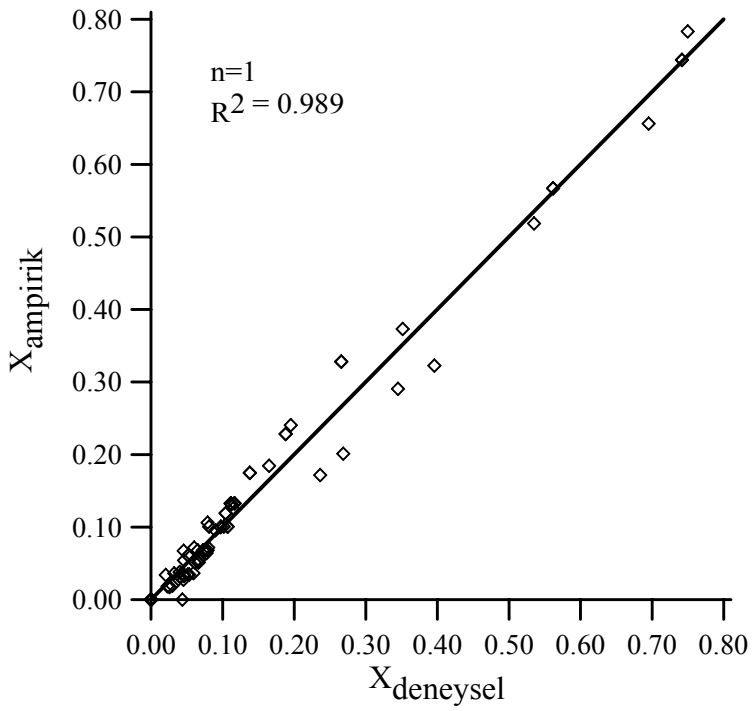
$$1-(1-X)^{1/3}=k_2[(n)^0.[H_2SO_4]^{0,918}.e^{-52740.(R.T)}.(k/s)^{-1,456}].t \quad [6.2]$$

olarak oluşturulmuştur.

Eşitlik [6.1] ve [6.2]'de, n karıştırma hızı (dev/dk), k/s katı sıvı oranı g/ml, t süre (dk), *R* ideal gaz sabiti (8,314 J/mol K), *T* sıcaklık (K), k_1 ve k_2 (dk^{-1}) ise deneysel olarak hesaplanan değerler ile ampirik olarak hesaplanan değerleri birbirine bağlayan katsayıdır ve k_1 değeri 7102565,547, k_2 değeri ise 229,453 olarak hesaplanmıştır. Nikel çözünmesinde, elde edilen deneysel X değerleri ile ampirik X değerleri birbirine karşı çizilmiştir (Şekil 6.18). Diğer bir yandan Fe çözünmesinde, elde edilen deneysel X değerleri ile ampirik X değerleri ise Şekil 6.19'da gösterilmiştir. Elde edilen doğruların eğimleri 1 ve korelasyon katsayıları ise sırasıyla, 0,997 ve 0,989 olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.18. Deneysel X değerlerine karşı ampirik X değerlerinin ilişkisi.



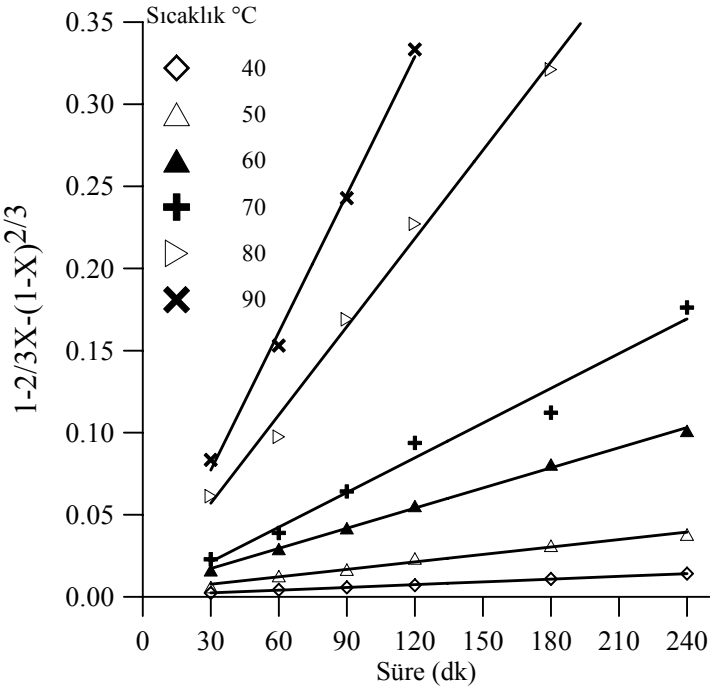
Şekil 6.19. Deneysel X değerlerine karşı ampirik X değerlerinin ilişkisi.

6.1.2. Çözünme kinetiği: Hidroklorik asit çalışmaları

Hidroklorik asit deneylerinden elde edilen sonuçlara ilgili modeller uygulanmış ve çözünme hızının sıcaklık ve asit derişimine bağımlılığı ortaya konmaya çalışılmıştır.

6.1.2.1. HCl asit deneylerine uygulanan çözünme kinetiği: Sıcaklığın etkisi

Sıcaklığın Ni çözünmesine etkisinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlara eşitlik [2.14] uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.20'de gösterilmiştir.



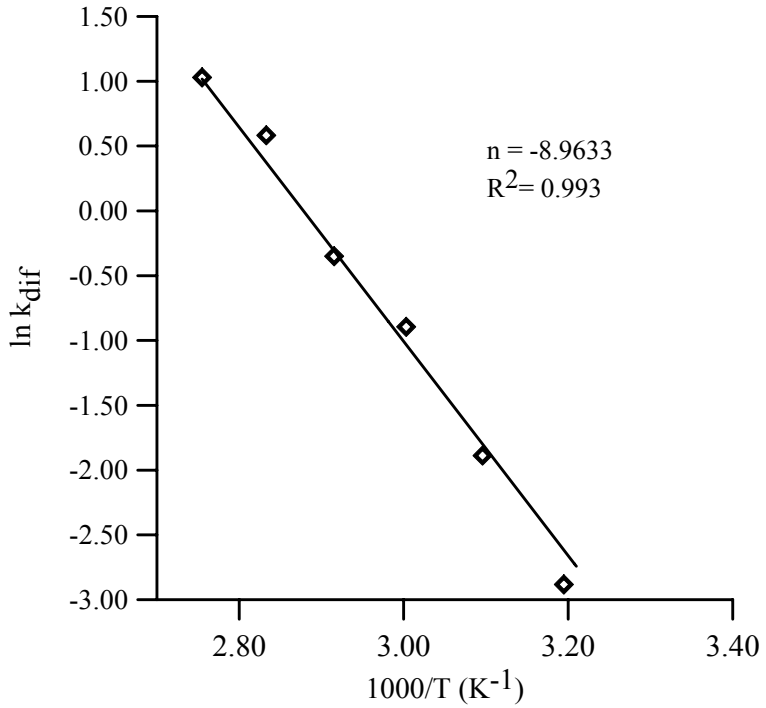
Şekil 6.20. Farklı sıcaklıklarda HCl asit liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği.

Çeşitli sıcaklık değerlerinin, çözünme modeli için görünür hız sabitleri (k_{dif}) ve korelasyon katsayıları Çizelge 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.12. Sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi: Difüzyon modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları.

Sıcaklık (°C)	Difüzyon Modeli $1-2/3X-(1-X)^{2/3}$	
	Görünür Hız Sabiti (k_{dif})x10^{-3}	Korelasyon Katsayısı (R^2)
40	0,056	0,99
50	0,1513	0,99
60	0,4087	0,99
70	0,7044	0,98
90	1,7914	0,99
90	2,7984	0,99

Farklı sıcaklıklarda HCl asit liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için, elde edilen Arrhenius grafiği Şekil 6.21'de gösterilmiştir.



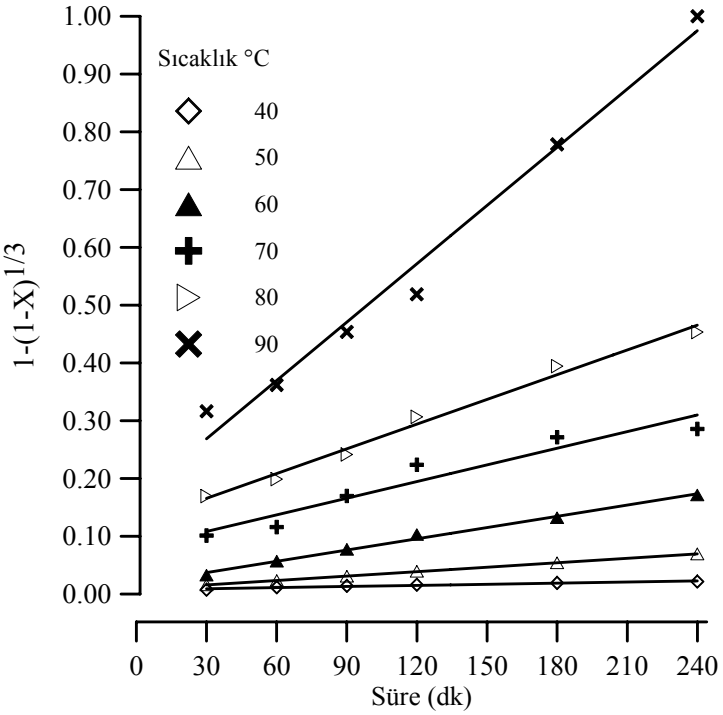
Şekil 6.21. HCl asit ortamında Ni liçi için çizilen Arrhenius grafiği.

40-90 °C sıcaklık aralığında elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanan aktivasyon enerjisi 74,52 kJ/mol'dur.

Sıcaklığın Fe çözünmesine etkisini belirlemek amacıyla, deneylerden elde edilen sonuçlara eşitlik [2.12] uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.22'de gösterilmiştir. Çeşitli sıcaklık değerlerinin, kimyasal çözünme modeli için görünür hız sabitleri (k_s) ve korelasyon katsayıları Çizelge 6.13'de verilmiştir.

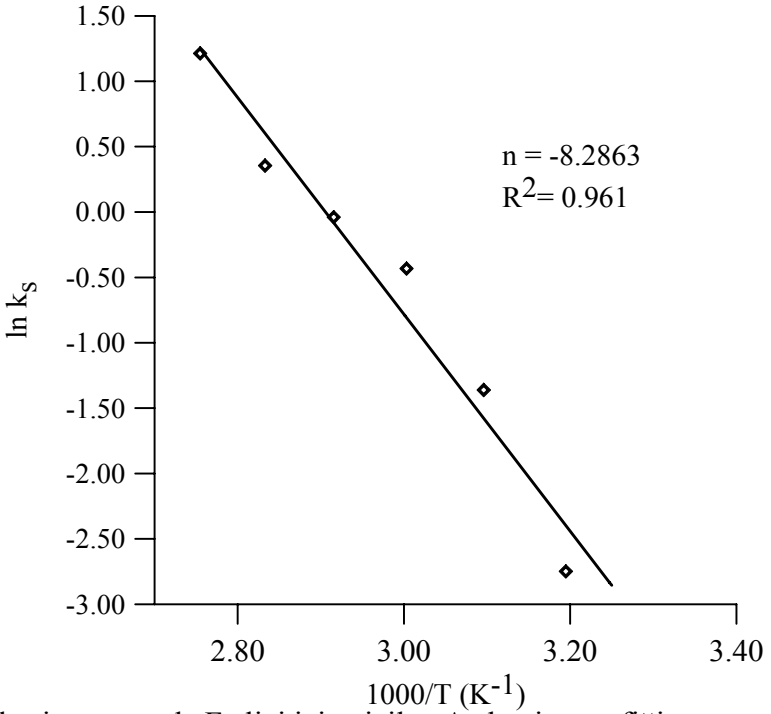
Çizelge 6.13. Sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi: Kimyasal modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları.

Sıcaklık (°C)	Kimyasal Modeli $1-(1-X)^{1/3}$	
	Görünür Hız Sabiti (k_s)x10^{-3}	Korelasyon Katsayısı (R^2)
40	0,064	0,99
50	0,2562	0,99
60	0,6487	0,99
70	0,9608	0,93
90	1,4255	0,99
90	3,3637	0,99



Şekil 6.22. Farklı sıcaklıklarda HCl asit liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği.

Farklı sıcaklıklarda HCl asit liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için, elde edilen Arrhenius grafiği Şekil 6.23'de gösterilmiştir.



Şekil 6.23. HCl asit ortamında Fe liçi için çizilen Arrhenius grafiği.

40-90 °C sıcaklık aralığında elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanan aktivasyon enerjisi 68,89 kJ/mol'dur.

HCl asit liçi çalışmalrından, sıcaklığa bağlı olarak elde edilen Fe ve Ni çözünme verimlerine bakıldığında, sülfürik asit liçinde olduğu gibi, Ni'nin Fe'e göre daha fazla çözünmektedir. Bu bağlamda, çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) oranları hesaplanmıştır. değerler Çizelge 6.14'de verilmiştir.

Çizelge 6.14. HCl liçing şartlarında Çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) değerleri.

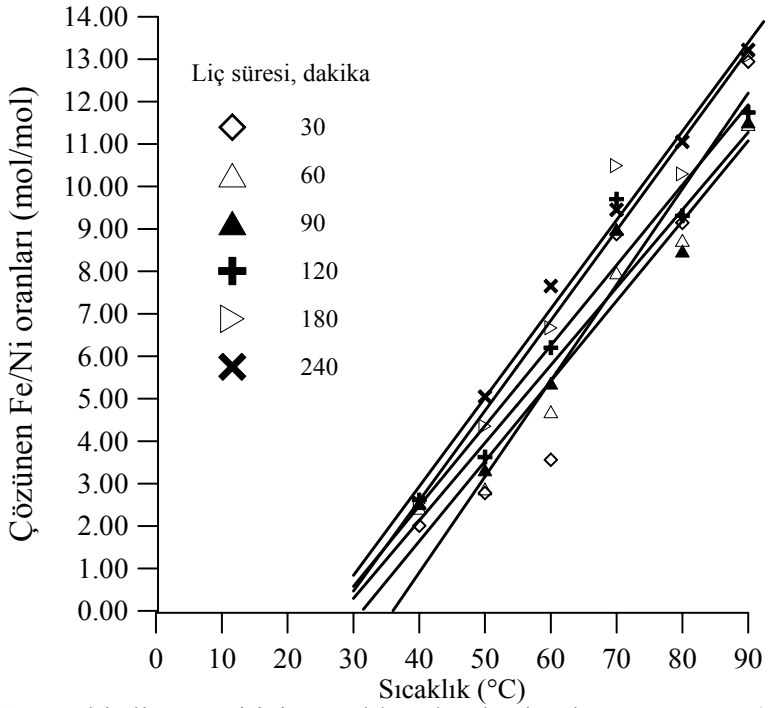
Süre (dk)	Fe/Ni (mol/mol)					
	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
30	2,005878	2,777948	3,55969	8,877876	9,142004	12,94231
60	2,418301	2,873845	4,691348	7,963303	8,729371	11,46146
90	2,527005	3,324666	5,365601	8,989605	8,477386	11,52398
120	2,612201	3,624601	6,19988	9,699851	9,308372	11,74136
180	2,53637	4,351535	6,666918	10,49122	10,29375	13,07224
240	2,538656	5,047312	7,651821	9,448284	11,05543	13,2163

Çizelge 6.14'de görüleceği gibi, liç süresi ve sıcaklığı arttıkça çözünen mol Fe/çözünen mol Ni değerleri artmaktadır (Fe/Ni, mol/mol).

Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı Fe/Ni (mol/mol) oranları hesaplanmış Çizelge 6.15 ve Şekil 6.24'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.15. HCl liçing şartlarında sıcaklığa bağlı çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) değerleri.

Sıcaklık (°C)	Fe/Ni (mol/mol)					
	30 (dk)	60 (dk)	90 (dk)	120 (dk)	180 (dk)	240 (dk)
40	2,005878	2,418301	2,527005	2,612201	2,53637	2,538656
50	2,777948	2,873845	3,324666	3,624601	4,351535	5,047312
60	3,55969	4,691348	5,365601	6,19988	6,666918	7,651821
70	8,877876	7,963303	8,989605	9,699851	10,49122	9,448284
80	9,142004	8,729371	8,477386	9,308372	10,29375	11,05543
90	12,94231	11,46146	11,52398	11,74136	13,07224	13,2163



Şekil 6.24. Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı olarak çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) oranları.

Şekil 6.24'de elde edilen eğim değerleri her bir süreye bağlı olarak Çizelge 6.16'da verilmiştir.

Çizelge 6.16. Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı çözünen Fe/Ni (mol/mol) oranlarının eğimleri ve korelasyon değerleri.

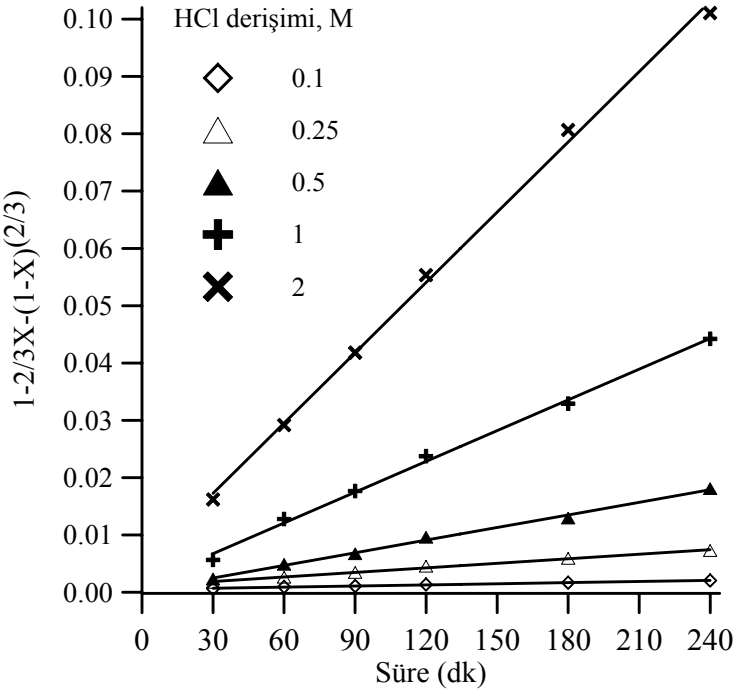
Süre (dk)	Eğim *(k)*	Korelasyon katsayısı (R^2)
30	0,226	0,92
60	0,1887	0,96
90	0,183	0,94
120	0,1891	0,95
180	0,2124	0,96
240	0,2092	0,99

Yine sülfürik asit liçi çalışmalarında olduğu gibi, hidroklorik asit liçinde sıcaklıklar arttıkça her bir süre için çözünen Fe miktarının, Ni çözünmesine göre artmakta ve oran yaklaşık olarak 0,201 civarındadır. Başka bir deyişle, Fe çözündükçe nikel de çözünmektedir. Ancak, sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi Ni

çözünmesine olan etkisinden daha fazladır. HCl asit liçi için yukarıda hesaplanan aktivasyon enerjileri de bu durumu teyyit etmektedir.

6.1.2.2. HCl asit deneylerine uygulanan çözünme kinetiği: Asit derişiminin etkisi

Hidroklorik asit derişiminin etkisinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlara eşitlik [2.14] uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.25'de gösterilmiştir.



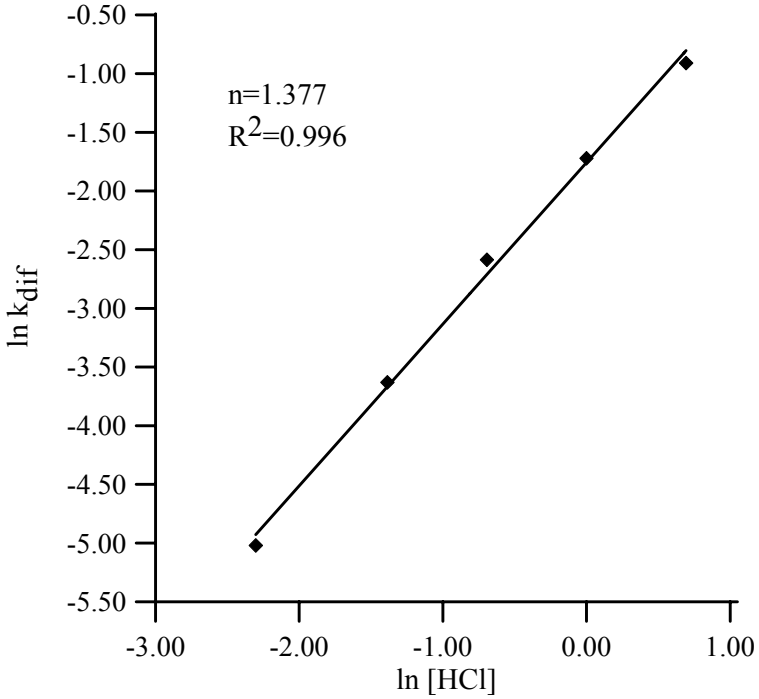
Şekil 6.25. Farklı asit derişimlerinde HCl liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği.

Çeşitli hidroklorik asit derişim değerlerinin, çözünme modeli için görünür hız sabitleri (k_{dif}) ve korelasyon katsayıları Çizelge 6.17'de verilmiştir.

Çizelge 6.17. Hidroklorik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi: Difüzyon modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları.

Asit Derimi (M)	Difüzyon Modeli $1-2/3X-(1-X)^{2/3}$	
	Görünür Hız Sabiti (k_{dif})x10^{-3}	Korelasyon Katsayısı (R^2)
0,1	0,0066	0,99
0,25	0,0265	0,99
0,5	0,0733	0,99
1	0,1789	0,99
2	0,4026	0,99

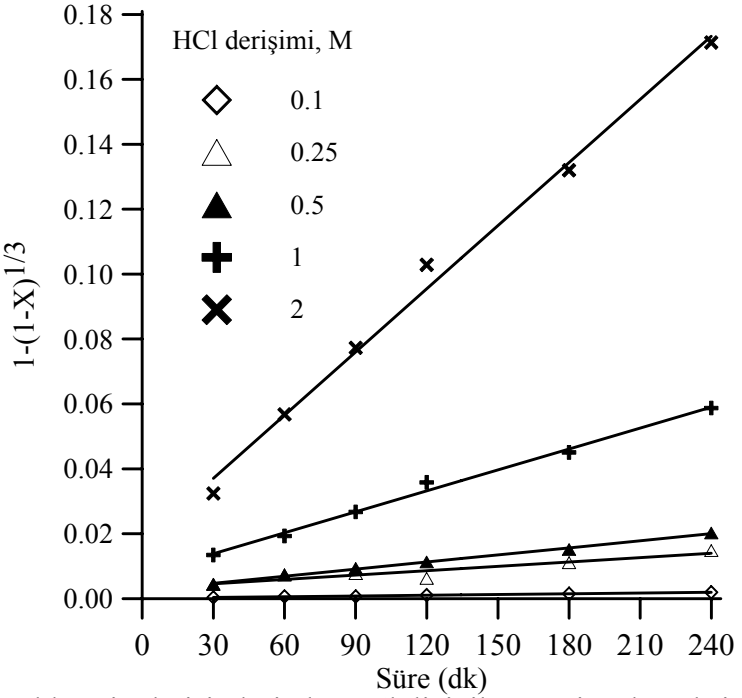
Çizelge 6.17'de görüldüğü gibi, asit derişimi artıkça görünür hız sabiti (k_{dif}) değeride artmaktadır. Çizelge 6.14'de verilen hız sabitlerinden hareketle HCl asit ortamında lateritik nikel cevherinden, Ni çözünmesinin HCl asit derişimine bağımlılığı belirlenebilir. Bu amaçla; ln[HCl]-ln k_{dif} grafiği Şekil 6.26'da çizilmiştir.



Şekil 6.26. Hidroklorik asit derişiminin etkisi: *ln* [HCl]- *ln* k_{dif} ilişkisi

Şekil 6.26'dan elde edilen doğrunun eğimi 1,377 olarak belirlenmiştir. Çalışılan şartlarda, Ni çözünmesinin hidroklorik asit derişimine bağımlılığı $[H_2SO_4]^{1,377}$ olarak belirlenmiştir.

Hidroklorik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlara eşitlik [2.12]'ye uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.27'de gösterilmiştir.



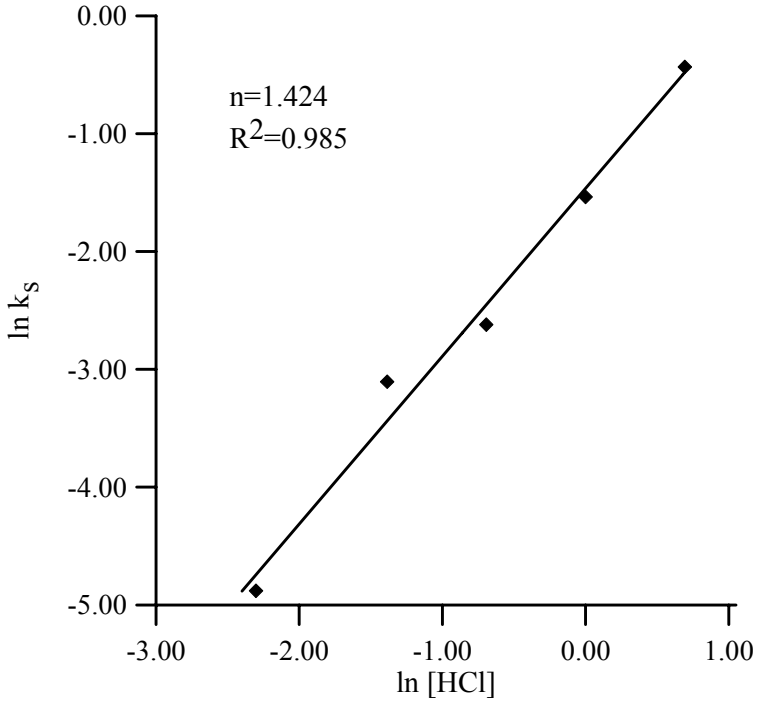
Şekil 6.27. Farklı asit derişimlerinde HCl liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği.

Çeşitli hidroklorik asit derişim değerlerinin, çözünme modeli için görünür hız sabitleri (k_s) ve korelasyon katsayıları Çizelge 6.18'de verilmiştir.

Çizelge 6.18. Hidroklorik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi: Kimyasal modele ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları.

Asit Derimi (M)	Kimyasal Model $1-(1-X)^{1/3}$	
	Görünür Hız Sabiti (k_s)x10^{-3}	Korelasyon Katsayısı (R^2)
0,1	0,0076	0,98
0,25	0,0448	0,88
0,5	0,0727	0,99
1	0,215	0,99
2	0,6487	0,99

Çizelge 6.18'de görüldüğü gibi, asit derişimi artıkça görünür hız sabiti (k_s) değeride artmaktadır. Çizelge 6.18'de verilen hız sabitlerinden hareketle HCl asit ortamında lateritik nikel cevherinden, Fe çözünmesinin HCl asit derişimine bağımlılığı belirlenebilir. Bu amaçla; ln[HCl]-ln k_s grafiği Şekil 6.28'de çizilmiştir.



Şekil 6.28. Hidrokolorik asit derişiminin etkisi: *ln* [HCl]- *ln* k_s ilişkisi.

Şekil 6.28'den elde edilen doğrunun eğimi 1,424 olarak belirlenmiştir. Çalışılan şartlarda, Fe çözünmesinin hidroklorik asit derişimine bağımlılığı $[HCl]^{1,424}$ olarak belirlenmiştir.

Karıştırma hızının sülfürik asit ortamında olduğu gibi hidroklorik asit ortamında da Ni ve Fe çözünmesine etkisinin olmadığı Bölüm 5.4.2.1 'de gösterilmiştir. Çalışmalarda kullanılan, lateritik nikel cevherinden Ni çözünmesi difüzyon ile gerçekleşirken; Fe çözünmesinin ise kimyasal olarak gerçekleşmiş ve yine bu bölümde gösterilmiştir.

Ni için eşitlik [2.14] kullanılarak yarı ampirik hız eşitliği oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, Çizelge 6.19'da difüzyon modeli için deneylerden elde edilen üssel değerler verilmiştir.

Çizelge 6.19. Difüzyon modeli için deneylerden elde edilen üssel değerler.

Parametre	Deney Aralığı	Üssel değerler
Karıştırma Hızı	100-600 dev/dk	0
Sıcaklık	40-90 °C	-
HCl Derişimi	0,1-2 M	1,377

Çizelge 6.19'da verilen değerlerler ve aktivasyon enerjisinden hareketle Ni için aşağıdaki genel hız ifadesi,

$$1\text{-}2/3X\text{-}(1\text{-}X)^{2/3}=k_1[(n)^0.[HCl]^{1,377}.e^{-74520.(R.T)}].t \qquad [6.3]$$

olarak oluşturulmuştur.

Çizelge 6.20. Kimyasal model için deneylerden elde edilen üssel değerler.

Parametre	Deney Aralığı	Üssel değerler
Karıştırma Hızı	100-600 dev/dk	0
Sıcaklık	40-90 °C	-
HCl Derişimi	0,1-2 M	1,424

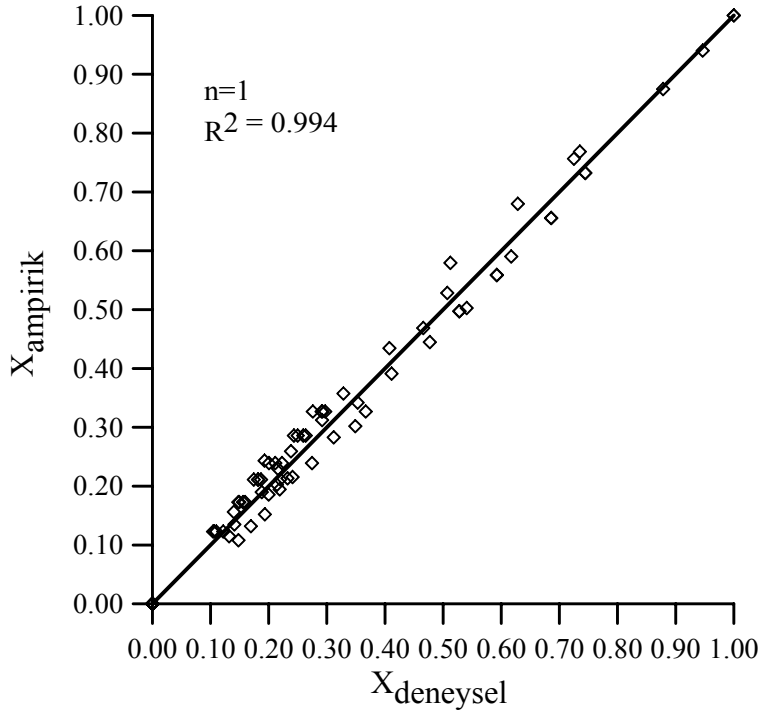
Fe için ise eşitlik [2.12] kullanılmış ve aynı şekilde Çizelge 6.20'deki kimyasal model için verilmiş olan üssel değerler ve aktivasyon enerjisi kullanılara

Fe için genel hız ifadesi,

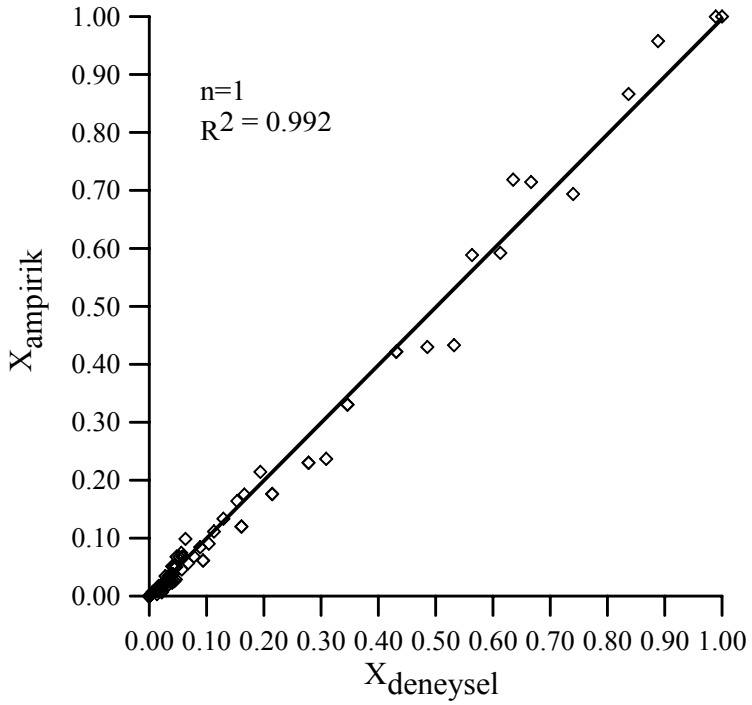
$$1\text{-}(1\text{-}X)^{1/3}=k_2[(n)^0.[HCl]^{1,424}.e^{-68890.(R.T)}].t \qquad [6.4]$$

olarak oluşturulmuştur.

Deneysel olarak hesaplanan değerler ile ampirik olarak hesaplanan değerleri birbirine bağlayan katsayılar; k_1 değeri 75075075,08, k_2 değeri ise 16546729,83 olarak hesaplanmıştır. Nikel çözünmesinde, elde edilen deneysel X değerleri ile ampirik X değerleri birbirine karşı çizilmiştir (Şekil 6.29). Diğer bir yandan Fe çözünmesinde, elde edilen deneysel X değerleri ile ampirik X değerleri ise Şekil 6.30'da gösterilmiştir. Elde edilen doğruların eğimleri 1 ve korelasyon katsayıları birinci grafik için 0,994, ikinci grafik için ise 0,992 olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.29. Deneysel X değerlerine karşı ampirik X değerlerinin ilişkisi.



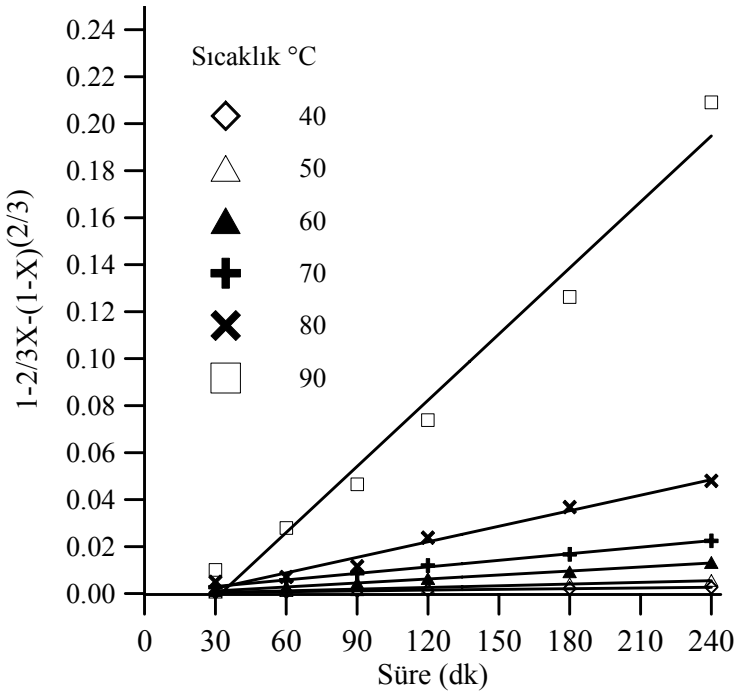
Şekil 6.30. Deneysel X değerlerine karşı ampirik X değerlerinin ilişkisi.

6.1.3. Çözünme kinetiği: Nitrik asit çalışmaları

Nitrik asit deneylerinden elde edilen sonuçlara ilgili modeller uygulanmış ve çözünme hızının sıcaklık ve asit derişimine bağımlılığı ortaya konmaya çalışılmıştır.

6.1.3.1. HNO_3 asit deneylerine uygulanan çözünme kinetiği: Sıcaklığın etkisi

Sıcaklığın Ni çözünmesine etkisinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlara eşitlik [2.14] uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.31'de gösterilmiştir.



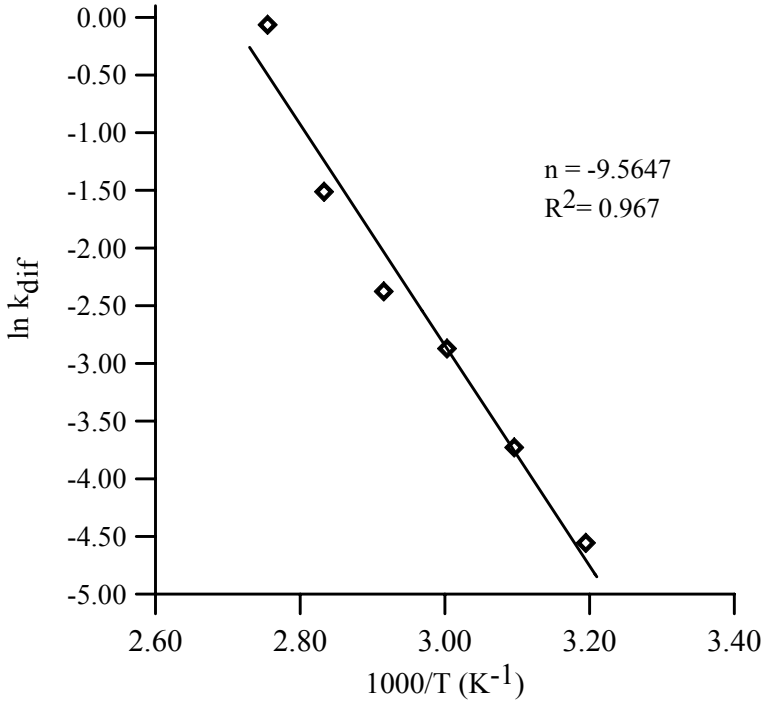
Şekil 6.31. Farklı sıcaklıklarda HNO_3 asit liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği.

Çeşitli sıcaklık değerlerinin, çözünme modeli için görünür hız sabitleri (k_{dif}) ve korelasyon katsayıları Çizelge 6.21'de verilmiştir.

Çizelge 6.21. Sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi: Difüzyon modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları.

Sıcaklık (°C)	Difüzyon Modeli $1-2/3X-(1-X)^{2/3}$	
	Görünür Hız Sabiti (k_{dif})x10^{-3}	Korelasyon Katsayısı (R^2)
40	0,0105	0,99
50	0,024	0,99
60	0,0566	0,99
70	0,0929	0,99
80	0,2203	0,96
90	0,9377	0,95

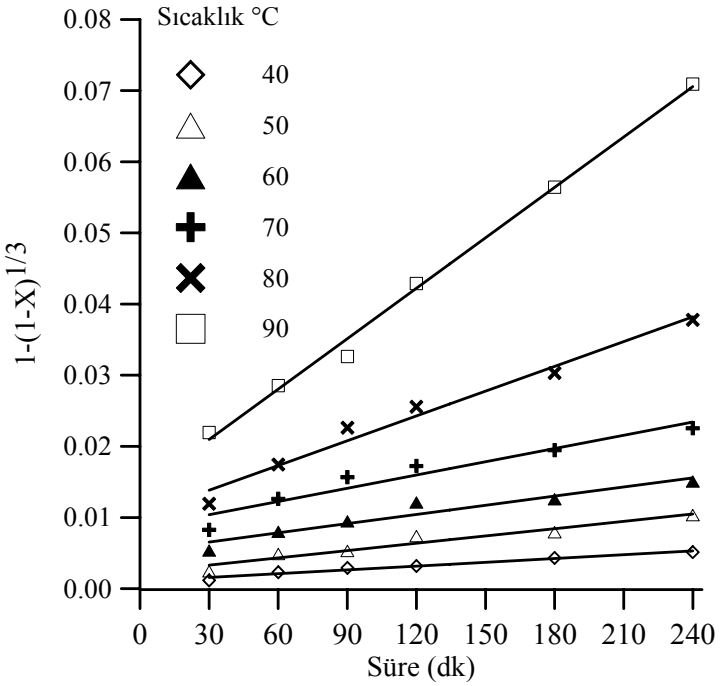
Farklı sıcaklıklarda HNO_3 asit liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için, elde edilen Arrhenius grafiği Şekil 6.32'de gösterilmiştir.



Şekil 6.32. HNO_3 asit ortamında Ni liçi için çizilen Arrhenius grafiği.

40-90 °C sıcaklık aralığında elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanan aktivasyon enerjisi 79,52 kJ/mol'dur.

Sıcaklığın Fe çözünmesine etkisini belirlemek amacıyla, deneylerden elde edilen sonuçlara eşitlik [2.12] uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.33'de gösterilmiştir.



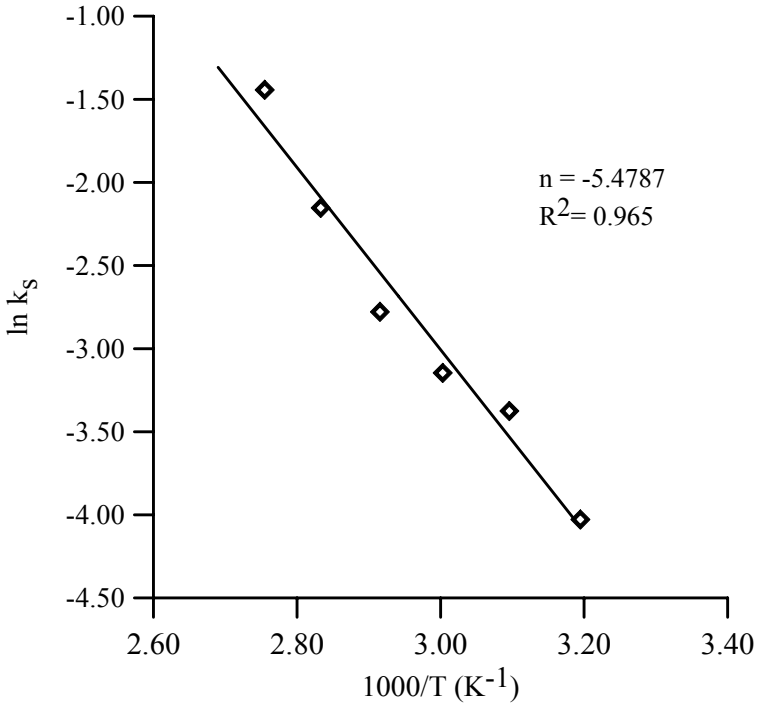
Şekil 6.33. Farklı sıcaklıklarda HNO_3 asit liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği.

Çeşitli sıcaklık değerlerinin, kimyasal çözünme modeli için görünür hız sabitleri (k_s) ve korelasyon katsayıları Çizelge 6.22'de verilmiştir.

Çizelge 6.22. Sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi: Kimyasal modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları.

Sıcaklık (°C)	Kimyasal Modeli $1-(1-X)^{1/3}$	
	Görünür Hız Sabiti (k_s)x10^{-3}	Korelasyon Katsayısı (R^2)
40	0,0178	0,99
50	0,0342	0,99
60	0,043	0,99
70	0,0621	0,93
80	0,1161	0,99
90	0,2362	0,99

Farklı sıcaklıklarda HNO_3 asit liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için, elde edilen Arrhenius grafiği Şekil 6.34'de gösterilmiştir.



Şekil 6.34. HNO_3 asit ortamında Fe liçi için çizilen Arrhenius grafiği.

40-90 °C sıcaklık aralığında elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanan aktivasyon enerjisi 45,55 kJ/mol'dur.

HNO_3 asit liçi çalışmalarından, sıcaklığa bağlı olarak elde edilen Fe ve Ni çözünme verimlerine bakıldığında, sülfürik asit ve hidroklorik asit liçinde olduğu gibi, Ni, Fe'e göre daha fazla çözünmektedir. Bu bağlamda, çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) oranları hesaplanmıştır. Değerler, Çizelge 6.23'de verilmiştir.

Çizelge 6.23. HNO_3 liçing şartlarında çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) değerleri.

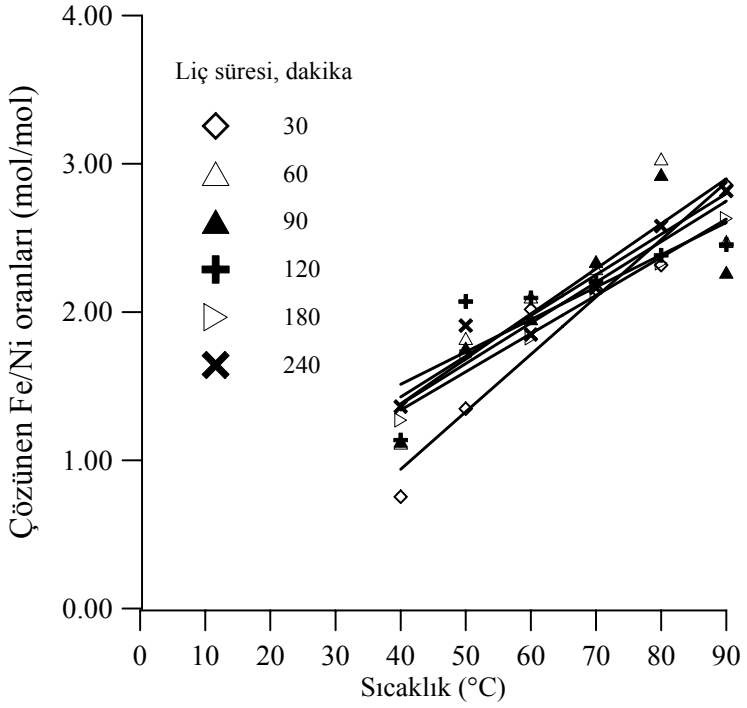
Süre (dk)	Fe/Ni (mol/mol)					
	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
30	0,753372	1,347472	2,017755	2,153119	2,316123	3,033249
60	1,114822	1,821638	2,101188	2,292623	2,855476	2,474895
90	1,128379	1,757723	1,953593	2,340017	2,928611	2,267772
120	1,136243	2,07093	2,094769	2,20924	2,382378	2,454768
180	1,270419	1,697902	1,824968	2,141063	2,329957	2,630756
240	1,361679	1,908468	1,848288	2,16344	2,579424	2,817124

Çizelge 6.23'de görüleceği gibi, liç süresi ve sıcaklığı arttıkça çözünen mol Fe/çözünen mol Ni değerleri artmaktadır (Fe/Ni, mol/mol).

Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı Fe/Ni (mol/mol) oranları hesaplanmış Çizelge 6.24 ve Şekil 6.35'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.24. HNO_3 liçing şartlarında sıcaklığa bağlı çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) değerleri.

Sıcaklık (°C)	Fe/Ni (mol/mol)					
	30 (dk)	60 (dk)	90 (dk)	120 (dk)	180 (dk)	240 (dk)
40	0,753372	1,114822	1,128379	1,136243	1,270419	1,361679
50	1,347472	1,821638	1,757723	2,07093	1,697902	1,908468
60	2,017755	2,101188	1,953593	2,094769	1,824968	1,848288
70	2,153119	2,292623	2,340017	2,20924	2,141063	2,16344
80	2,316123	3,033249	2,928611	2,382378	2,329957	2,579424
90	2,855476	2,474895	2,267772	2,454768	2,630756	2,817124



Şekil 6.35. Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı olarak çözünen Fe (mol)/çözünen Ni (mol) oranları.

Şekil 6.35'de elde edilen eğim değerleri her bir süreye bağlı olarak Çizelge 6.25'de verilmiştir.

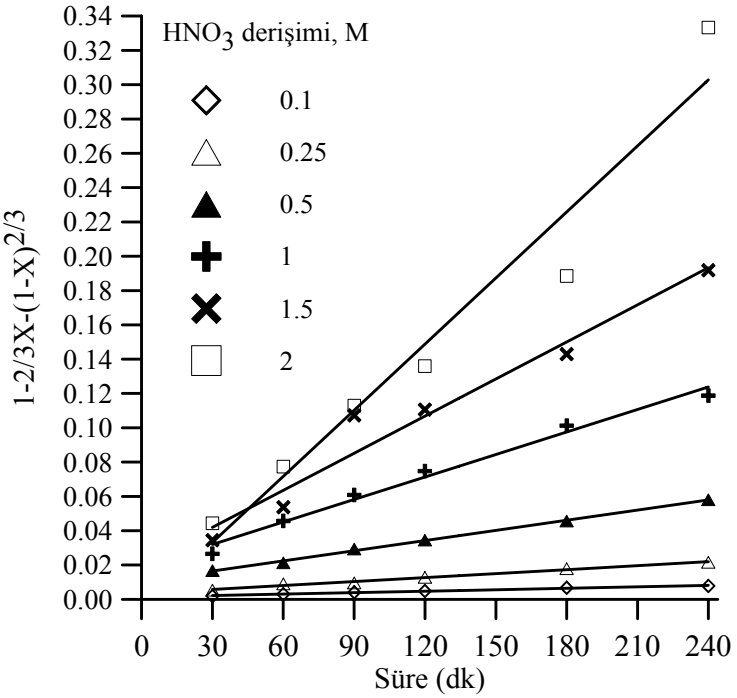
Çizelge 6.25. Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı çözünen Fe/Ni (mol/mol) oranlarının eğimleri ve korelasyon değerleri.

Süre (dk)	Eğim *(k)*	Korelasyon katsayısı (R^2)
30	0,039	0,94
60	0,030	0,77
90	0,027	0,71
120	0,022	0,73
180	0,026	0,99
240	0,027	0,95

Sülfürik asit liçi ve hidroklorik asit çalışmalarında olduğu gibi, nitrik asit liçinde sıcaklıklar arttıkça her bir süre için çözünen Fe miktarı, Ni çözünmesine göre artmakta ve oran yaklaşık olarak 0,026 civarındadır. Ancak, diğer asitlerin aksine sıcaklığın Ni çözünmesine etkisi Fe çözünmesine olan etkisinden daha fazladır.

6.1.3.2. HNO_3 asit deneylerine uygulanan çözünme kinetiği: Asit derişiminin etkisi

Nitrik asit derişiminin etkisinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlara eşitlik [2.14] uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.36'da gösterilmiştir.



Şekil 6.36. Farklı asit derişimlerinde HNO_3 liçi ile Ni'nin ekstraksiyonu için elde edilen difüzyon model grafiği.

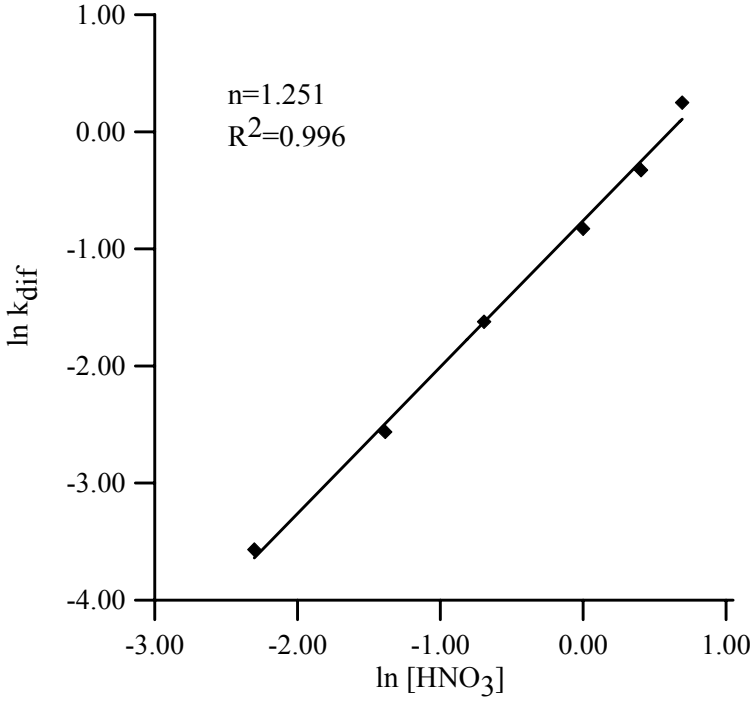
Çeşitli nitrik asit derişim değerlerinin, çözünme modeli için görünür hız sabitleri (k_{dif}) ve korelasyon katsayıları Çizelge 6.26'de verilmiştir.

Çizelge 6.26. Nitrik asit derişiminin Ni çözünmesine etkisi: Difüzyon modeline ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları.

Asit Derimi (M)	Difüzyon Modeli $1\text{-}2/3X\text{-}(1\text{-}X)^{2/3}$	
	Görünür Hız Sabiti (k_{dif})x10^{-3}	Korelasyon Katsayısı (R^2)
0,1	0,0282	0,99
0,25	0,077	0,99
0,5	0,1974	0,99
1	0,4369	0,99
1,5	0,7205	0,96
2	1,2839	0,95

Çizelge 6.26'da görüldüğü gibi, asit derişimi artıkça görünür hız sabiti (k_{dif}) değeride artmaktadır. Çizelge 6.26'da verilen hız sabitlerinden hareketle HNO_3 asit

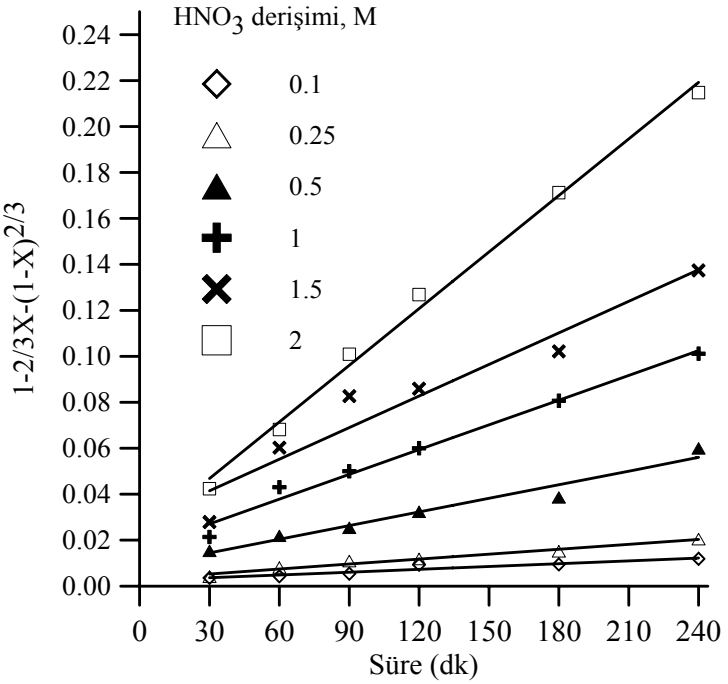
ortamında lateritik nikel cevherinden, Ni çözünmesinin HNO_3 asit derişimine bağımlılığı belirlenebilir. Bu amaçla; $\ln[HNO_3]$-$\ln k_{dif}$ grafiği Şekil 6.37'de çizilmiştir.



Şekil 6.37. Nitrik asit derişiminin etkisi: *ln [HNO_3]- lnk_{dif}* ilişkisi

Şekil 6.37'den elde edilen doğrunun eğimi 1,251 olarak belirlenmiştir. Çalışılan şartlarda, Ni çözünmesinin nitrik asit derişimine bağımlılığı $[HNO_3]^{1,251}$ olarak belirlenmiştir.

Nitrik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlara eşitlik [2.12] uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.38'de gösterilmiştir.



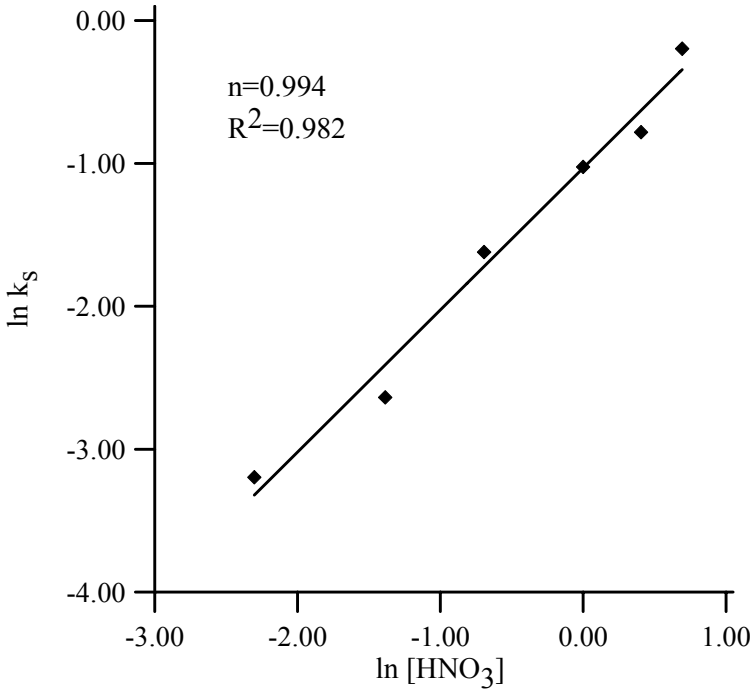
Şekil 6.38. Farklı asit derişimlerinde HNO_3 liçi ile Fe'nin ekstraksiyonu için elde edilen kimyasal model grafiği.

Çeşitli nitrik asit derişim değerlerinin, çözünme modeli için görünür hız sabitleri (k_s) ve korelasyon katsayıları Çizelge 6.27'de verilmiştir.

Çizelge 6.27. Nitrik asit derişiminin Fe çözünmesine etkisi: Kimyasal modele ait görünür hız sabitleri ve korelasyon katsayıları.

Asit Derimi (M)	Kimyasal Model $1-(1-X)^{1/3}$	
	Görünür Hız Sabiti (k_s)x10^{-3}	Korelasyon Katsayısı (R^2)
0,1	0,0409	0,91
0,25	0,0715	0,97
0,5	0,1977	0,96
1	0,3587	0,98
1,5	0,4579	0,93
2	0,821	0,99

Çizelge 6.27'de görüldüğü gibi, asit derişimi artıkça görünür hız sabiti (k_s) değeride artmaktadır. Çizelge 6.27'de verilen hız sabitlerinden hareketle HNO_3 asit ortamında lateritik nikel cevherinden, Fe çözünmesinin HNO_3 asit derişimine bağımlılığı belirlenebilir. Bu amaçla; ln[HNO_3]-ln k_s grafiği Şekil 6.39'da çizilmiştir.



Şekil 6.39. Nitrik asit derişiminin etkisi: *ln* [HNO_3]- *ln* k_s ilişkisi.

Şekil 6.39'dan elde edilen doğrunun eğimi 0,994 olarak belirlenmiştir. Çalışılan şartlarda, Fe çözünmesinin hidroklorik asit derişimine bağımlılığı $[HNO_3]^{0,994}$ olarak belirlenmiştir.

Karıştırma hızının sülfürik asit ortamında ve hidroklorik asit olduğu gibi nitrik asit ortamında da Ni ve Fe çözünmesine etkisinin olmadığı Bölüm 5.4.3.1 'de gösterilmiştir. Çalışmalarda kullanılan, lateritik nikel cevherinden Ni çözünmesi difüzyon ile gerçekleşirken; Fe çözünmesinin ise kimyasal olarak gerçekleşmiş ve yine bu bölümde gösterilmiştir.

Ni için eşitlik [2.14] kullanılarak yarı ampirik hız eşitliği oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, Çizelge 6.28'de difüzyon modeli için deneylerden elde edilen üssel değerler verilmiştir.

Çizelge 6.28. Difüzyon modeli için deneylerden elde edilen üssel değerler.

Parametre	Deney Aralığı	Üssel değerler
Karıştırma Hızı	100-600 dev/dk	0
Sıcaklık	40-90 °C	-
HNO_3 Derişimi	0,1-2 M	1,251

Çizelge 6.28'de verilen değerlerler ve aktivasyon enerjisinden hareketle Ni için aşağıdaki genel hız ifadesi,

$$1\text{-}2/3X\text{-}(1\text{-}X)^{2/3}=k_1[(n)^0.[\ HNO_3]^{1,251}.e^{-79520.(R.T)}].t \qquad [6.5]$$

olarak oluşturulmuştur.

Çizelge 6.29. Kimyasal model için deneylerden elde edilen üssel değerler.

Parametre	Deney Aralığı	Üssel değerler
Karıştırma Hızı	100-600 dev/dk	0
Sıcaklık	40-90 °C	-
HNO_3 Derişimi	0,1-2 M	0,994

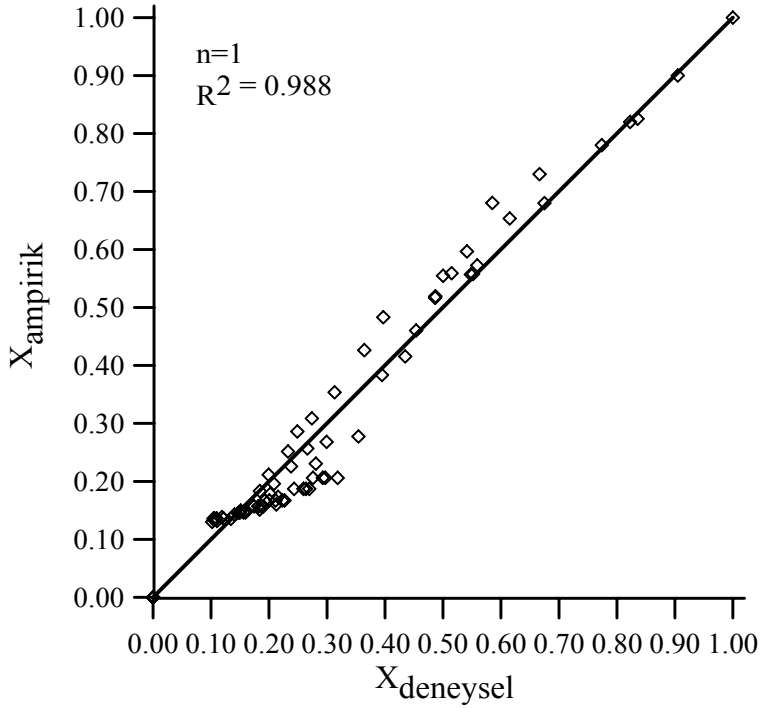
Fe için ise eşitlik [2.12] kullanılmış ve aynı şekilde Çizelge 6.29'daki kimyasal model için verilmiş olan üssel değerler ve aktivasyon enerjisi kullanılara

Fe için genel hız ifadesi,

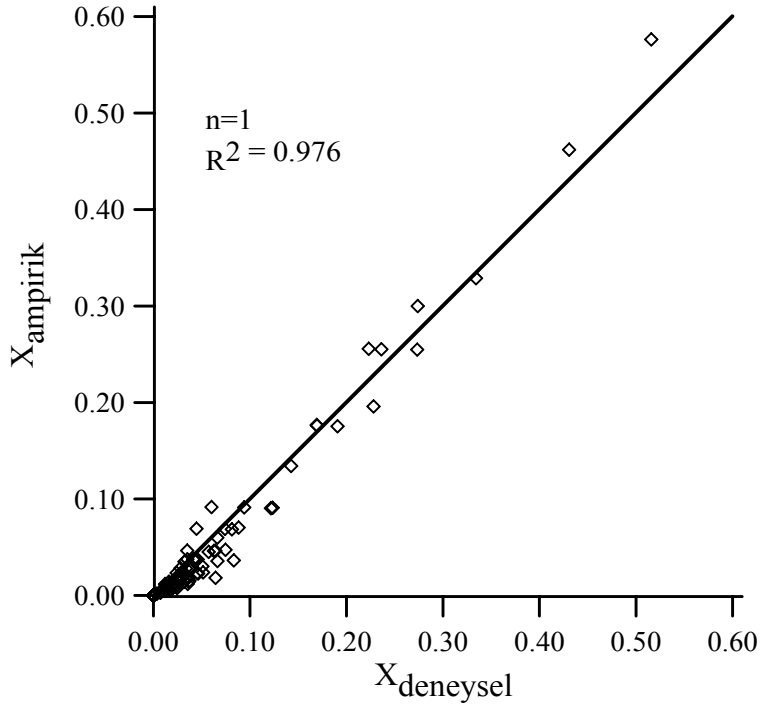
$$1\text{-}(1\text{-}X)^{1/3}=k_2[(n)^0.[\ HNO_3]^{0,994}.e^{-45550.(R.T)}].t \qquad [6.6]$$

olarak oluşturulmuştur.

Deneysel olarak hesaplanan değerler ile ampirik olarak hesaplanan değerleri birbirine bağlayan katsayılar; k_1 değeri 14282475,54 k_2 değeri ise 1459,24 olarak hesaplanmıştır. Nikel çözünmesinde, elde edilen deneysel X değerleri ile ampirik X değerleri birbirine karşı çizilmiştir (Şekil 6.40). Diğer bir yandan Fe çözünmesinde, elde edilen deneysel X değerleri ile ampirik X değerleri ise Şekil 6.41'de gösterilmiştir. Elde edilen doğruların eğimleri 1 ve korelasyon katsayıları birinci grafik için 0,988, ikinci grafik için ise 0,976 olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.40. Deneysel X değerlerine karşı ampirik X değerlerinin ilişkisi.



Şekil 6.41. Deneysel X değerlerine karşı ampirik X değerlerinin ilişkisi.

6.2. Çözünme Reaksiyonu

Lateritik nikel cevheri için yapılan XRD sonuçlarından cevher içerisinde demir minerali olarak, götit (FeO(OH)), hematit (Fe_2O_3) ve vustit (FeO), nikel minerali olarak, redgersit ($NiSO_4.6H_2O$) ve gaspeit ($NiCO_3$) ayrıca kil mineralleri olarak saponit ($Ca_{0,5}(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4(H_2O)$) ve montmorillonit ($Ca_{0,2}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4(H_2O)$), silikat olarak ise kuvars (SiO_2) belirlenmiştir.

Bölüm 5.4.9'da asitli ortamda NaF ile yapılan çalışmalarda çözünme hızının arttığı görülmektedir. Bu durum; F^- iyonlarının silikatı parçalamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Buna bağlı olarak çözünme reaksiyonları,

$$FeO(OH)+3H^+=Fe^{+++}+2H_2O \qquad [6.7]$$

$$NiCO_3+2H^+=Ni^{++}+H_2O+CO_2 \qquad [6.8]$$

$$(Mg_3,Ni)Si_3O_8(OH)_3+7H^+ +H_2O=3Mg^{++}+Ni^{++}+3H_4SiO_4 \qquad [6.9]$$

olarak ifade edilmiştir.

6.3. Asit Tüketimi ve Ekonomik Değeri

Boyalı 1984'e göre, bu maden yatağında, 2.150.000 ton lateritik nikel cevheri bulunmaktadır. Yatak yüzeye çok yakın ve açık ocak madenciliği ile kolaylıkla işletilebilecek konumda olup, cevher sülfürik asit ile liç edilebilecek özelliktedir.

Deneylerde kullanılan Ni tenörü % 1,84 olarak belirlenmiştir. Buna göre;

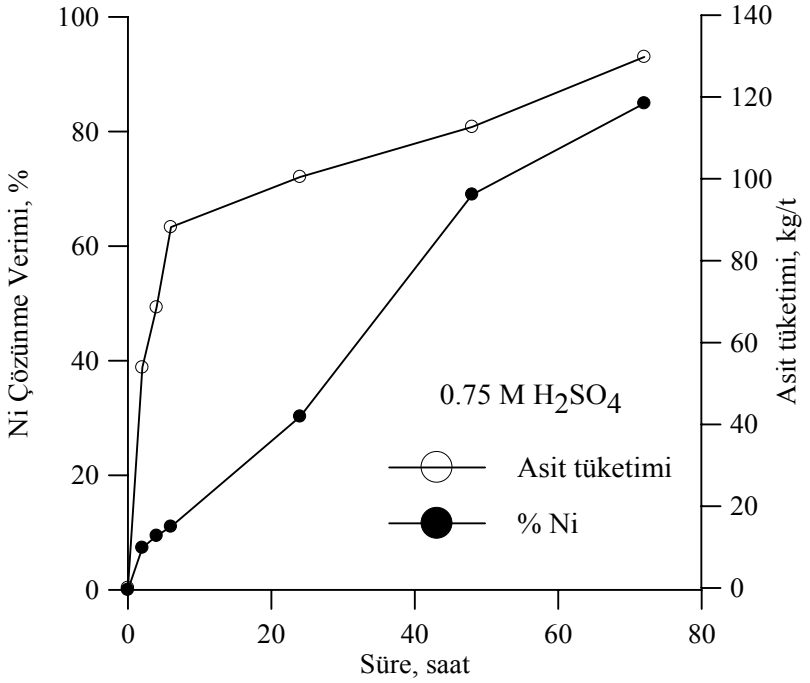
Madenin Ni miktarı: 2.150.000x1,84/100=39.560 ton nikel

Ni Parasal değeri : 27.400 $/ton x 39.560=1.083.944.000 $

Hesaplamalar sonucunda, Ni madeninin toplam parasal değeri 1.083.944.000 $ olmaktadır. Nikel geri kazanım oranının yaklaşık % 90 olarak alınırsa, madenden elde edilecek kazanç, % 1,84 Ni tenörlü cevher için: 975.549.600 $ olarak hesaplanmıştır.

Liçing işlemleri için yaklaşık 130 kg/t sülfürik asit kullanılmaktadır (Şekil 6.42). Süfürik asitin tonu yaklaşık 1000 $ olduğuna göre, 279.500.000 $'lık bir asit

gideri olacaktır. Buradan yola çıkılarak sadece liç işlemleri sonucunda, elde edilecek toplam kazanç yaklaşık 696.049.600 $ olmaktadır.



Şekil 6.42. Liç işlemi sonucunda asit tüketimi ve verim grafiği.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, Karaçam (ESKİŞEHİR) yöresinde bulunan Adatepe, Sarnıç Tepe ve Belek mevkii nikel içerikli lateritik cevherleri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere Belek cevheri tenör bakımından diğerlerinden daha yüksek olduğu için tercih edilmiştir. Fiziksel ve fizikokimyasal yöntemlerin uygulanması ve bond iş endeksinin belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bunun yanı sıra, sülfürik asit (H_2SO_4), hidroklorik asit (HCl), nitrik asit (HNO_3) ve amonyak (NH_3) ortamında farklı reaktifler kullanılarak Ni, Fe ve Mg çözündürülmesine olan etkisi ve solvent ekstraksiyon ile Ni kazanımı araştırılmıştır. Elde edilen veriler yardımıyla, çözünme mekanizmalarının ve her bir parametrenin incelenen koşullarda çözünme hızını nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Bütün bu çalışmalar sonucunda, Karaçam (ESKİŞEHİR) lateritik nikel cevherinin zenginleştirme yöntemleri ile değerlendirilmeye alınması ve ekonomik olarak bir prosesin ortaya konulması amaçlanmıştır. Yapılan tüm çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar ve yapılabilecek olan çalışmalara ilişkin öneriler verilmiştir

7.1. Sonuçlar

Temsili cevher numunesinin, kimyasal analiz sonuçları değerli metal içerikleri olarak; Ni içeriğinin % 1,84, Fe içeriğinin % 23,14, Mg içeriğinin % 1,58 ve Co içeriğinin ise % 0,03 olduğuğu tespit edilmiştir.

Cevher bileşiminde mineral oluşumunu belirlemek amacıyla yapılan XRD sonuçlarına göre, demir minerali olarak, götit (FeO(OH)), hematit (Fe_2O_3) ve vustit (FeO), nikel minerali olarak, redgersit ($NiSO_4.6H_2O$) ve gaspeit ($NiCO_3$) ayrıca kil mineralleri olarak saponit ($Ca_{0,5}(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4(H_2O)$) ve montmorillonit ($Ca_{0,2}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4(H_2O)$), silikat olarak ise kuvars (SiO_2) belirlenmiştir.

Cevherin öğütülebilirliği için, standart Bond değirmeni kullanılmış ve Bond İş İndeksi hesaplanmıştır. Cevher numunesi için Bond iş indeksi değeri W_i = 10,384 kWh/t olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, iş endeksinin düşük olduğu ve cevherin

kolay öğütülebildiği anlamına gelmektedir. İlgili cevherin öğütülebilirliğinin belirlenmesi işlemin ekonomikliliği etkileyeceğinden hesaplanma ihtiyacı duyulmuştur.

Fiziksel zenginleştirme yöntemlerinde, multi gravite seperatör ve yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar kullanılmıştır. MGS deneylerinde, 2° tambur eğiminde konsantredeki Ni içeriği % 2,55 ve artıkdaki Ni içeriği % 1,08 iken, 6° tambur eğiminde konsantredeki Ni içeriği % 2,45 ve artıkdaki Ni içeriği % 1,02 olarak belirlenmiştir.

Manyetik ayırma deneylerinde, 9,2 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki % Ni içeriği 2,02, 12,6 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki % Ni içeriği 2,08 iken, 17,4 tesla manyetik alan şiddetinde, konsantredeki % Ni içeriği 0,81 olarak belirlenmiştir.

Fizikokimyasal zenginleştirme yöntemlerinden sadece flotasyon uygulanmıştır. Flotasyon deneylerinde, pH'ın, toplayıcı cinsinin ve canlandırıcı miktarının Ni flotasyonuna etkisi araştırılmıştır. En uygun pH 8, toplayıcı Na-oleat ve canlandırıcı miktarı ise 10 g/t olarak tespit edilmiştir.

Fiziksel ve fizikokimyasal yöntemlerin Ni kazanımı için fazla etkili olmayışından dolayı, sülfürik asit (H_2SO_4), hidroklorik asit (HCl) nitrik asit (HNO_3) ve amonyak (NH_3) ortamında farklı reaktifler kullanılarak Ni, Fe ve Mg çözündürülmesine olan etkisi üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Sülfürik asit deneylerinde, karıştırma hızının, asit derişiminin, sıcaklığın, tane boyutunun ve katı/sıvı oranının Ni ve Fe çözünmesine etkisi araştırılmıştır.

Karıştırma hızının Ni ve Fe çözünmesine etkisini incelemek için yapılan liç deneylerinde, -106 μm tane boyutunda cevher, katı/sıvı oranı 10/500 g/ml, 60 ^oC sıcaklığında ve 0,5 M H_2SO_4 çözeltisi kullanılmıştır. Deneyler, 100, 200, 400 ve 600 dev/dk karıştırma hızlarında ve 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarından, karıştırma hızının çözünmeye etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Karıştırma hızının Ni ve Fe çözünmesine etkisinin olmaması çözünme reaksiyonunun bir nötralizasyon reaksiyonu olabileceğini göstermektedir. Diğer parametrelerin incelenmesinde karıştırma hızı 200 dev/dk olarak seçilmiştir.

H_2SO_4 derişiminin Ni ve Fe çözünmesine etkisini incelemek için yapılan liç deneyleri sonuçlarına göre; 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,1 M H_2SO_4

derişiminde % 23,80 nikel, % 3,99 demir çözünürken, 2 M H_2SO_4 derişiminde ise % 65,27 nikel, % 31,79 demir çözünmektedir. Sülfürik asit derişiminin artması ile Ni ve Fe çözünmesinin arttığı gözlemlenmiştir. Sülfürik asit 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 40 °C'de % 36,41 nikel, %10,17 demir çözünürken, 80 °C'de nikel % 100, kaynama sıcaklığında ise demir %100 çözünmektedir. Sonuç olarak, artan sıcaklıkla Ni ve Fe çözünme hızı ve verimi artmaktadır.

H_2SO_4 ortamında tane boyutunun etkisini incelemek için yapılan liç deneyleri sonuçlarına göre, -106+75 µm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda nikel çözünmesi % 57,27, demir çözünmesi % 73,93 iken; -38 µm tane boyutunda nikel çözünmesi % 100, demir çözünmesi ise ulaşmaktadır. Bu sonuçlara göre; tane boyutu küçüldükçe nikel ve demir kazanma verimi artmaktadır.

H_2SO_4 ortamında, katı/sıvı oranının etkisini incelemek için yapılan liç deneyleri sonuçlarına göre; 10/500 katı/sıvı oranında 240 dakikanın sonunda nikel çözünmesi % 100, demir çözünmesi % 79,48 iken, 100/500 katı/sıvı oranında nikel çözünmesi % 96,07'ye ulaşırken Fe çözünmesi % 4,37'ye düşmektedir. Buradan anlaşılacağı gibi, katı sıvı oranı arttıkça nikel çözünmesi azda olsa azalmaktadır. Fe çözünmesinde ise katı/sıvı oranı arttıkça Fe çözünmesi bariz şekilde azalmaktadır.

Hidroklorik asit deneylerinde, karıştırma hızının, asit derişiminin, sıcaklığın, tane boyutunun Ni ve Fe çözünmesine etkisi araştırılmıştır.

Sülfürik asit liçi için belirlenmiş olan deney şartları uygulanmıştır. Aynı şekilde karıştırma hızının etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

HCl derişiminin Ni ve Fe çözünmesinde, sülfürik asitte olduğu gibi asit derişiminin artmasıyla çözünme hızınında arttığı gözlemlenmiştir. Örneğin, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,1 M HCl derişiminde % 13,19 nikel, % 0,58 demir çözünürken, 2 M HCl derişiminde ise % 74,46 nikel, % 43,11 demir çözünmektedir.

HCl ortamında sıcaklık arttıkça Ni ve Fe çözünmesinde artış olduğu tespit edilmiş olup, 240 dakikalık liç işlemi sonunda 40 °C'de % 32,85 nikel, % 2,14 demir çözünürken, nikel 80 °C'de, demir ise 90°C'de %100'ü çözünmektedir.

HCl ortamında tane boyutu arttıkça Ni ve Fe çözünmesinde bir azalma olduğu tespit edilmiş olup, -106+75 µm tane boyutunda 240 dakikanın sonunda nikel çözünmesi % 35,50, demir çözünmesi % 15,21 iken, -38 µm tane boyutunda nikel çözünmesi % 58,12, demir çözünmesi ise % 26,06'dır.

Nitrik asit deneylerinde, karıştırma hızının, asit derişiminin, sıcaklığın, tane boyutunun Ni ve Fe çözünmesine etkisi araştırılmıştır. Yine diğer 2 deneyde olduğu gibi karıştırma hızının liç üzerine hiçbir etkisi olmamıştır.

HNO_3 ortamında sıcaklık arttıkça Ni ve Fe çözünmesinde diğer asitlerde olduğu gibi, artış tespit edilmiştir. 240 dakikalık liç işlemi sonunda 40 °C'de % 14,85 nikel, % 1,53 demir çözünürken, kaynama sıcaklığında (96 °C) ise % 100 nikel, % 34,51 demir çözünmektedir.

HNO_3 derişiminin Ni ve Fe çözünmesinde, diğer asitlerde olduğu gibi asit derişiminin artmasıyla çözünme hızının da arttığı gözlemlenmiştir. 240 dakikalık liç işlemi sonunda 0,1 M HNO_3 derişiminde % 24,88 nikel, % 3,51 demir çözünürken, 2 M HNO_3 derişiminde ise % 100 nikel, % 51,59 demir çözünmektedir.

Çalışma sonuçlarından; asit liçinin en uygun çözündürme yöntemi olduğu görülmüştür. Asit liçi çalışmalarında ortama eklenen yükseltgen reaktiflerin hiçbir etkisinin olmayışı, çözünme reaksiyonunun bir nötralizasyon reaksiyonu olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra, ortama Sodyum Florür (NaF) eklenmiş ve çözünme hızının oldukça arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle; NaF ile yapılan deneyler üzerine yoğunlaşılmış ve H_2SO_4 ortamında sodyum florür derişiminin**,** Sodyum florür etkisinde sülfürik asit derişiminin, Sodyum florür (NaF) etkisinde sülfürik asit ortamında sıcaklığın Ni, Fe ve Mg çözünmesine etkisi araştırılmıştır. En iyi sonuçlar, 0,5 M H_2SO_4 ortamında 0,5 M NaF etkisinde 60 °C'de elde edilmiştir.

Ayrıca cevher numunesi kavrulmuş, asitli ve amonyak ortamında liç işlemine tabi tutulmuştur. Kavurmanın ve amonyak liçinin Ni kazanımına etkisi olmamıştır.

Solvent ekstraksiyon deneylerinde, sülfürik asit liçinden elde edilen sülfatlı çözeltiler kullanılmıştır. Çözelti içerisinde bulunan nikelin solvent ekstraksiyon ile çözeltiden selektif olarak ayrılması amaçlanmıştır. Sonuç olarak, Denge pH'ı arttıkça Ni'nin organiğe alınma miktarıda artmaktadır. Örneğin, pH 3,09 iken % 0,04 nikel organik faza alınırken, pH 9,24 değerinde % 99,96 nikel organik faza alınmaktadır.

Asit liçi deneylerinden elde edilen sonuçlara, reaksiyonun kimyasal olarak kontrol edildiği durum için, $(1-(1-X)^{1/3} = k_s t)$ reaksiyonun film difüzyonu olarak kontrol edildiği durum için, $(1-(1-X)^{2/3} = k_d t)$, reaksiyonun difüzyonla kontrol edildiği durum için ise, $1-2/3X-(1-X)^{2/3} = k_{dif} t$ modelleri uygulanmış ve çözünme hızının sıcaklık ve asit derişimine bağımlılığı ortaya konmaya çalışılmıştır.

Ni çözünmesi için difüzyon modelinin Fe çözünmesi için ise kimyasal reaksiyonun uygun olduğu tespit edilmiştir.

Asitli ortamda, Ni ve Fe çözündürülmesine ait kinetik model sonuçları aşağıdaki gibi verilmiştir.

Yapılan çalışmalarda, asitli ortamda karıştırma hızının Ni ve demir çözünmesine etkisi olmadığından, Ni ve Fe çözünmesinin karıştırma hızına bağımlılığı $[\text{Karıştırma hızı}]^0$ olarak verilmiştir.

H_2SO_4 ortamında, 40-90 °C sıcaklık aralığında elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanan aktivasyon enerjisi Ni çözünmesi için 68,66 kJ/mol, Fe çözünmesi için ise 52,74 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

0,1-2 M H2SO4 derişimi aralığında Ni ve Fe çözünmesinin sülfürik asit derişimine bağımlılığı, Ni için $[H_2SO_4]^{0,823}$ Fe için ise $[H_2SO_4]^{0,918}$ olarak belirlenmiştir.

H_2SO_4 ortamında, 10/500-100/500 g/ml katı-sıvı oranı aralığında Ni ve Fe çözünmesinin katı/sıvı oranına bağımlılığı, Ni için $[k/s]^{-0,143}$ Fe için ise $[k/s]^{-1,456}$ olarak belirlenmiştir.

HCl ortamında, 40-90 °C sıcaklık aralığında elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanan aktivasyon enerjisi Ni çözünmesi için 74,52 kJ/mol, Fe çözünmesi için ise 68,89 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

0,1-2 M HCl derişimi aralığında Ni ve Fe çözünmesinin sülfürik asit derişimine bağımlılığı, Ni için $[HCl]^{1,377}$ Fe için ise $[HCL]^{1,424}$ olarak belirlenmiştir.

HNO_3 ortamında, 40-90 °C sıcaklık aralığında elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanan aktivasyon enerjisi Ni çözünmesi için, 79,52 kJ/mol, Fe çözünmesi için ise 45,55 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

0,1-2 M HNO_3 derişimi aralığında Ni ve Fe çözünmesinin sülfürik asit derişimine bağımlılığı, Ni için $[HNO_3]^{1,251}$ Fe için ise $[HNO_3]^{0,994}$ olarak belirlenmiştir

Elde edilen değerler ve aktivasyon enerjisinden hareketle [6.1], [6.2], [6.3], [6.4], [6.5] ve [6.6] eşitliklerindeki'deki genel hız ifadeleri verilmiştir.

Her bir liç süresi için sıcaklığa bağlı çözünen Fe/Ni (mol/mol) oranlarının eğimleri ve korelasyon değerleri herbir asit liçi için hesaplanmıştır.

Bu durumda, her bir asit için sıcaklıklar arttıkça her bir süre için çözünen Fe miktarının, Ni çözünmesine göre artmakta olduğu ve oranların yaklaşık olarak sırasıyla 0,161, 0,201 ve 0,026 olduğu hesaplanmıştır. Başka bir deyişle, Fe çözündükçe nikelde çözünmektedir. Ancak, sıcaklığın Fe çözünmesine etkisi Ni çözünmesine olan etkisinden daha fazladır.

7.2. Öneriler

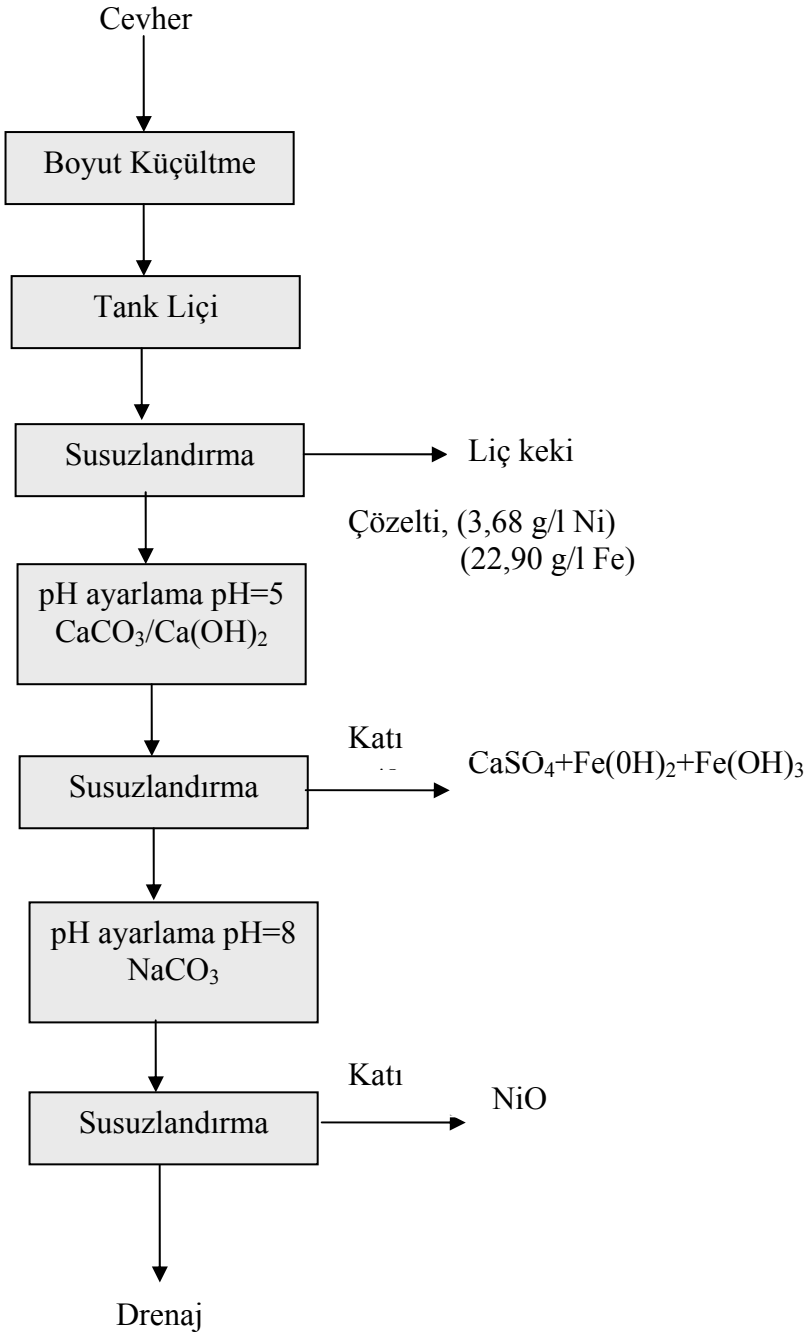
Yapılan çalışmalarda, asit liçinin en uygun çözündürme yöntemi olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak, atmosferik şartlar altında deneyler yapılmıştır. Bunun yanı sıra, Yüksek basınç ve sıcaklık altında otoklav ile asit liçi çalışmalarının yapılması çalışmanın kapsamı açısından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, Yüksek basınç altında 230-280 °C sıcaklıkları arasında direkt sülfürik asit liçi uygulanmalıdır.

Yapılan fiziksel ve fizikokimyasal yöntemler ayrıca bir çalışma konusu olarak geniş bir şekilde incelenebilir.

Ayrıca, cevher numuneleri üzerinde farklı reaktifler kullanılarak mekanik ve kimyasal aktivasyon çalışmalarının yapılması düşünülebilir.

Solvent ekstraksiyon çalışmalarında, farklı deney şartlarında farklı organikler kullanılabilir. Örneğin, D2EPHA, DEHPA, Cyanex 302, PC88A, Cyanex 304, Dekanoik asit, versatik 10 ve Naftanik asit gibi.

Bütün yapılmış olan çalışmalar ışığında, ekonomik açıdan uygun olan endüstriyel alanda kullanılmak üzere Şekil 7.1'deki akım şeması önerilmiştir.



Şekil 7.1. Karaçam (ESKİŞEHİR) lateritik nikel cevheri için önerilen zenginleştirme akım şeması

KAYNAKLAR

Abbruzzese, C., 1990, "Percolation leaching of manganese ore by aqueous sulfur dioxide",Hydrometallurgy, 25, pp: 85 – 97.

Agatzini-Leonardou S., Zafiratos J.G. and Spathis D., 2004 "Beneficiation of a Greek serpentinic nickeliferous ore - Part I: Mineral Processing". Hydrometallurgy, 74 (3-4), pp:259-265.

Agatzini-Leonardou S., Zafiratos J.G., 2004 "Beneficiation of a Greek serpentinic nickeliferous ore- Part II. Sulphuric acid heap and agitation leaching". Hydrometallurgy, 74 (3-4), , pp:267-275

Akçil, A. Ve Çiftçi, H., 2006, "Metal Kazanımında Bakteriyel Liç Mekanizmaları" Madencilik, Cilt 45, Sayı 4, s:19-27.

Akçil, A. ve Çiftçi, H., 2003a; "Küre Bakır Cevherinin Bakteriyel Liçi", Madencilik Dergisi, 42, (4), s:15-25.

Amil, MM, Kangal, O. and Güney, A., 2006,"Nickel recovery from chromite ore", XXIII . International Mineral Processing Congress, 2, pp:1410 - 1414

Arslan F., Perek K.T., Önal G., 2006. "Acidic Leaching of Turkish Lateritic Nickel Ore", Sohn International Symposium on Advanced Processing of Metals and Materials, Thermo and physicochemical principles: special materials, aqueous and electrochemical processing, Volume 3, Eds. F. Kongoli, R.G. Reddy, San Diego, USA, pp:339-345.

Aslaner M., 1979, Nikel Yatakları ve Türkiye Nikel Olanaklarına Toplu ve Yeni Bir Bakış Jeoloji Mühendisliği,K.T.Ü, Trabzon, s: 25-36

Byerley, J.J., Rempel, G.L., Garrido, G.F., 1979, "Copper catalysed leaching of magnetite in aqueous sulfur dioxide", Hydrometallurgy 4, pp: 317– 336.

Bourget, C., Cox M. and Flett, D.S. 1997 "Cobalt/Nickel Separation from Acidic Leach Liquors", Nickel-Cobalt 97 International Symposium Laurentian University, Sudbury, Ontario, Canada.

Boyalı, 1984, "Yunusemre-Karaçam-Doğray-Karkın-Karaburhan-Dümrek (Mihalıççık, Sivrihisar ESKİŞEHİR) Yöresi Nikel –Kobalt Prospeksiyon Raporu, MTA Genel Müd.,Ankara.

Çağatay, M.N 1987, "The Pancarli nickel-copper sulfide mineralization, eastern Turkey", Mineralium Deposita, 22, 3, pp:163-171.

Canbazoğlu, M, 2001, Çözelti Madenciliği Ders Notları, Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fak. Maden Müh. Böl. s:18-24, Sivas.

Canbazoğlu M., 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

Caron M.H., 1950, "Fundamental and Practical Factors in Ammonia Leaching of Nickel and Cobalt Ores", *J. Metals Trans*. AIME, 188, pp: 67-90.

Chalkey M.E. and Toirac, I.L., 1997, "The acid pressure leach process for nickel and cobalt laterite. Part I: Review of operations at Moa, in: W.C. Cooper, I. Mihaylov_Eds.., Hydrometallurgy and Refining of Nickel and Cobalt, CIM, Montreal, PQ, pp: 341–353.

Chou, E.C., Queneau, P.B., Rickard, R.S., 1977, "Sulfuric acid pressure leaching of nickeliferous limonites" Metall. Trans., pp: 547– 554.

Çiftçi, H. ve Akçıl, H., 2003; "Piritli Bakır Cevherinin Mezofilik Bakterilerle Çözündürülmesinde Demir Oksidasyonu ÜzerineBir Çalışma", Geosound, (43), pp: 63-75.

Çilingir, Y., 1990, "Metalik cevherler ve zenginleştirme yöntemleri, Cilt1. s: 5-10, 5-16. DEÜ. Müh. Yayınları, İzmir.

Dalvi, A. D., Bacon W.G., Osborne, R.C., 2004, "The Past and the Future of Nickel Laterites", PDAC 2004 International Convention, Trade Show & Investors Exchange March 7-10, 2004, pp:27

Das, G.K., Anand, S., Das, R.P., Muir, D.M., Senanayake, G., Singh, P., Hefter, G., 1997. Acid leaching of nickel laterites in the presence of sulfur dioxide at atmospheric pressure. In: Cooper, W.C., Mihaylov, I. (Eds.), Hydrometallurgy and Refining of Nickel and Cobalt, vol. 1. Canadian Inst. Min. Metall. And Petrolium, Montreal, pp: 471–488.

DPT, 2001, "Madencilik özel ihtisas Komisyonu, metal madenler alt komisyonu diğer metal madenler çalışma grubu raporu" Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, DPT, Ankara.

DPT, 2006, " Dokuzuncu kalkınma planı (2007-2013)" metal madenler alt komisyonu raporu, Nikel-Kobalt2006.

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-Dashan M.E. 1996, "Fundementals of extractive metallurgy" King Saud University, 362, pp:13-21.

Georgiou, D,1995 "Kınetics of nickel dissolution during sulphiric acid pressure leaching of a limonitic laterite" Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry University of Toronto, Msc. Thesis.

Georgiou, D. V. Papangelakis G. 1998, "Sulphuric acid pressure leaching of a limonitic laterite: chemistry and kinetics" Hydrometallurgy, 49, pp: 23-46.

Gibson R.W. and Rice, N.M. 1997, "A Hydrochloric Acid Process for Nickeliferous Laterites", Nickel-Cobalt 97 International Symposium Laurentian University, Sudbury, Ontario, Canada.

Girgin, 1989, "Düşük Tenörlü Cevherlerden Yığın Liçi Yöntemiyle Altın ve Gümüş Kazanımı" Madencilik Mart-1989, Cilt 28, Sayı No : 1

Gökçe, A., 1995 "Maden Yatakları", Cumhuriyet Üniversitesi yayınları, no:59, s:246-247., Sivas.

Göktaş, M., Manisa-Turgutlu-Çaldağ Nikel Ham Cevherinin Yapısal Özelliklerinin ve Bunlara Dayalı Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması" DEÜ Fen bilimleri Enst., Yüksek lisans Tezi, s:97, İzmir.

Grimanelis, D., Neou-Syngouna, P., Vazarlis, H., 1992. Leaching of a rich Greek manganese ore by aqueous solution of sulphur dioxide. Hydrometallurgy 31, 139– 146.

Gümüş A., 1979, "Metalik Maden Yatakları", Ege Üniv. Yer Bilimleri Fak. Çağlayan Basımevi, İstanbul.

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.

Habashi, F., 1982, "Chemical and Eng. News, Faculty of Min. and Met., Laval University of Kanada.

Han, K.N., Meng X., 1993 "The leaching behavior of nickel and cobalt from metals and ores"A Review, The Paul Queneau International Symp. Extractive Metallurgy of Copper, Nickel and Cobalt, Volume I: Fundamental Aspects, Eds. R.G. Reddy & R.N. Weizenbach, (TMS), pp: 709-731.

http://atlas.cc.itu.edu.tr/~gultekin/Kalinti.htm

(http://patents1.ic.gc.ca) Canadian Intellectual Property Office, Flotation of laterite nickel ores (CA874700) June, 29,1971.

http://www.enickel.co.uk

http://www.metamaden.com

INGS, 2007, "International Nickel Study Group" (http://www.insg.org/).

Jansen, M., 1997, "Technical Aspects of Ammonia Leaching of Ores & Concentrates", Ni/Co ALTA 97 Pressure Leaching & Hydrometallurgy Forum, ALTA metallurgical services, Melbourne, Perth, Australia.

Jensen, M.L. and Beteman, A.M. 1981 "Economic Mineral deposits", John Wiley&Sons, 593 s.

Johnson J.A. , McDonald R.G., Muir D.M., Tranne J.P. 2005, " Pressure acid leaching of arid-region nickel laterite ore Part IV: Effect of acid loading and additives with nontronite ores" Hydrometallurgy 78, pp: 264– 270

Johnson, J.A., Whittington, B.I., 2004. "Effect of ammonium, sodium and potassium sulphates and chlorides in the pressure acid leaching of western Australian nickel laterite ore", In: Collins, M.J., Papangelakis, V.G. (Eds.), Pressure Hydrometallurgy, 2004. CIM, Montreal, pp: 199– 214.

Karaaslan, N., 1978, "Eskişehir- Mihalıççık Karaçam Demir-Nikel cevherleşmesi Jeoloji raporu Maden etüd rapor no:347.

Krause, E., B.C. Blakey and V.G. Papangelakis, 1998, "Pressure Leaching of Nickeliferous Laterite Ores", in ALTA 1998: Nickel/Cobalt Pressure Leaching and Hydrometallurgy Forum, ALTA Metallurgical Services, Melbourne, Australia

Kuck, P.H., 2001. Mineral Commodity Summaries. U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior, Washington, DC, p:113.

Kumar, R., Das, S., Ray, R.K., Biswas, A.K., 1993. Leaching of pure and cobalt bearing goethites in sulphurous acid: kinetics and mechanism. Hydrometallurgy 32, pp: 39–59.

Kyle, J.H., 1996, "Presure acid leaching of Australian nickel/cobalt laterites", In: Grimsey, E.J., Neuss, I. (Eds.), Nickel'96 Mineral to Market, Kalgoorlie, W.A., 27– 29 Nov. Australas. Inst. Min. Metall., AUSIMM, Melbourne, pp: 245–250.

Lanagan, M.G., 2002, "The solvent extraction behavior of chromium with Bis (2, 4, 4-trimethylpentyl) Phosphinic Acid", Phd thesis, Curtin University of Technology, p:178.

Levenspiel, O., 1974. Chemical Reaction Engineering. John Wiley and Sons, NewYork.

Miller, J.D., Wan, R..Y., 1983, "Reaction kinetics for the leaching of MnO_2 by sulfur dioxide" , Hydrometallurgy 10, pp: 219– 242.

Monhemius, A.J., 1987, "Treatment of laterite ores of nickel to produce ferronickel,. matte or precipitated sulphide" In: A.R. Burkin (Editor), Extractive Metallurgy of Nickel, John Wiley & Sons, Inc., Chichester, pp:51-57.

Moskalyk R.R., Alfantazi A.M., 2002, "Nickel Laterite Processing and Electrowinning Practice", *Minerals Eng*., 15, pp:593-605.

MTA., 2000, "Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü Bursa İli Maden ve Enerji Kaynakları" Ankara.

Nicol, M.J. and Zaimawati Z., 2003 "The development of a resin-in-pulp process for the recovery of nickel and cobalt from laterite leach slurries", Int. J. Miner. Process. 72, pp: 407-415.

Oğuz, M., 1967, Çaldağ'da (Manisa) jeolojik bir araştırma: Maden Tetkik ve Arama Enst. Derg., 68, pp: 102-105, Ankara.

Önal, G., 1985, "Cevher hazırlamada flotasyon dışındaki zenginleştirme yöntemleri" İTÜ. Maden Fak. s:227, Maçka.

Özcan, H.İ., 2006, "Nikel yatakları semineri" Selçuk Üniv. Jeoloji Müh. Böl. Konya s.13.

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.

Reid, J.G.,1996, "Laterite ores - nickel and cobalt resources for the future. In: "Nickel '96 Mineral to Market", Kalgoorlie.

Reimann, M A, O'Kane, P T, and Cruz, E D., 1999, "Nickel Laterites, An Increasingly Economic Resource", Geostar Metals Inc. http://www.geostarmetals.com/nickel.html

Roorda, H.J. and Queneau, P.E. 1973, "Recovery of nickel and cobalt from ilmenites aqueous chlorination in sea water", Trans Inst. Min. Metal., Vol:82, pp:79-87.

Rubisov, D.H. Papangelakis V.G. 2000, "Sulphuric acid pressure leaching of laterites-speciation and prediction of metal solubilities at temperature", Hydrometallurgy, 58, pp:13–26.

Seifelnassr, A.A.S. ve Abouzeid, A.Z.M., 2000; "Cevher Hazırlamada Yeni Eğilimler: Bakteriyel Aktivitelerin Kullanımı", Ore Dressing, 4, s:17-41.

Senanayake G., Das G.K. 2004, "A comparative study of leaching kinetics of limonitic laterite and synthetic iron oxides in sulfuric acid containing sulfur dioxide"Hydrometallurgy 72, pp: 59–72.

Sirkeci A. A., Gul A., Bulut G., Arslan F., Onal G. and Yuce, A. E., 2006, "Recovery of Co, Ni, And Cu From The Tailings Of Divrigi Iron Ore Concentrator" Mineral Processing & Extractive Metall. Rev., 27, pp: 131–141.

Taylor, A., 1997, "Process selection, Nickel/Cobalt pressure acid leaching and Hydrometallurgy forum, ALTA metallurgical services, Melbeurne, Perth, Australia.

Toguri J.M., 1975 "A review on the methods of treating nickel bearing pyrrhotite with special reference to the Sudbury Area pyrrhotite" Canadian, Metallurgical Quarterly,14-4, pp:323-338.

Turekian, K.K. ve Wedepohl., K.H., 1961, Distribution of the elements in some major units of the eart's crust:Bull. Geol. Soc. America, 72, pp: 175-192.

USGS, 2006, "Mineral Commodity Summaries" http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/nickemcs06.pdf

USGS, 2007, "Mineral Commodity Summaries" http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/nickemcs07.pdf

Wen, C. Y., 1968, "Noncatalytic Heterogeneous Solid-Fluid Reaction Models" Ind. Eng. Chem.; 60(9), pp: 34-54.

Whittington B.I. , McDonald R.G., Johnson J.A., and Muir D.M., 2003, "Pressure acid leaching of arid-region nickel laterite ore Part I: effect of water quality", Hydrometallurgy, 70, pp: 31-46.

Whittington B.I. and Johnson J.A., 2005, "Pressure acid leaching of arid-region nickel laterite ore. Part III: Effect of process water on nickel losses in the residue" Hydrometallurgy 78, pp: 256– 263

Whittington, B., Johnson, J., Quan, L., McDonald, R., Muir, D.M., 2003, "Pressure acid leaching of Bulong nickel laterite ore: Part II. Effect of ore type" Hydrometallurgy 70, pp: 47–62.

Woods R., 2004, Extractıng Metals From Sulfide Ores Electrochemistry Encyclopedia (http://electrochem.cwru.edu/ed/encycl/)

Vinogradov, A.P., 1961, "Average contents of Chemical elements in the principal types of igneous rocks of the earth's crust: Geochemistry", 7, 555-571.

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.

Zedef, V, 2005, "Maden Yatakları, Ders Notları", S.Ü. Müh. Mim. Fak., Yayın no: 58, Konya.