İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURSA ORHANELİ NİKEL CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSAN TEZİ

Mad. Müh. Barış ONUR

Anabilim Dalı: Maden Mühendisliği
Programı: Cevher ve Kömür Hazırlama

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. A. Ekrem YÜCE

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Tezim süresince okulumuzun kaynaklarını kullanmamı sağlayan Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Neşet Acarkan'a, İ.T.Ü.'deki yüksek lisans programına başlamam için beni yüreklendiren ve çalışmalarımın her kademesinde her türlü desteğini ve sevgisini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. A. Ekrem Yüce'ye sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, bu tez konusu üzerinde çalışmalarıma yardımcı olan Prof. Dr. Fatma Arslan'a, Dr. Vecihi Gürkan'a, Arş. Gör. Dr. Kudret Tahsin Perek'e, Yük. Müh. Mustafa Özer'e ve Kim.Müh. Sezin Bakan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Üniversite içinde ve dışında tecrübelerini ve daha da önemlisi dostluklarını paylaşma fırsatı bulduğum Arş.Gör.Ozan Kökkılıç ve Arş.Gör.Fırat Burat'a teşekkür ederim.

Tüm öğrencilik hayatım boyunca maddi ve manevi olarak desteğini gördüğüm aileme teşekkür ederim.

Mayıs 2005 Barış Onur

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
ÖZET **viii**
SUMMARY **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. GENEL BİLGİLER **2**
2.1. Nikel Yataklarının Oluşumu 3
2.1.1. Sülfid nikel yatakları 4
2.1.2. Hidortermal nikel yatakları 4
2.1.3. Kalıntı nikel yatakları 4
2.2. Dünya Nikel Rezervleri ve Tüketim 5
2.2.1. Dünya nikel rezervleri ve üretimi 6
2.2.2. Dünya nikel tüketimi 9
2.2.3. Dünya nikel fiyatları 9
2.2.4. Dünyada nikelin kullanım alanları 10
2.3. Türkiye Nikel Rezervleri ve Tüketim 11
2.3.1. Türkiye nikel rezervleri ve üretimi 11
2.3.2. Türkiye nikel tüketimi 12
2.3.3. Türkiye'de nikelin kullanım alanları 13
2.4. Nikel Cevherlerinin Zenginleştirilmesi 13
2.4.1. Falconbridge Ltd. (Kanada-Sudburry) 13
2.4.2. Rio Narcea Gold Mines Ltd.(İspanya-Aguablanca) 15
2.4.3. European Nickel PLC. (Türkiye-Manisa-Çaldağ) 16
2.4.4 Sherrit Gordon Ltd., Fort Saskatchewan, Alberta, Kanada 17

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR **19**
3.1. Amaç 19
3.2. Malzeme 19
3.2.1. Numunenin fiziksel özellikleri 19
3.2.2. Numunenin kimyasal özellikleri 20
3.2.3. Numunenin minerolojik özellikleri 20
3.3. Fiziksel ve Fizikokimyasal Zenginleştirme 21
3.3.1. Yüzdürme batırma deneyi 23
3.3.2. Manyetik ayırma 23
3.3.3. Sarsıntılı masa deneyi 24
3.3.4. Flotasyon 25

3.4. Kimyasal Zenginleştirme Deneyleri 24
3.4.1. Oda sıcaklığında yapılan çözündürme deneyleri 26
3.4.2. 60 ^{o}C'de yapılan çözündürme deneyleri 28
3.4.3. 90 ^{o}C'de yapılan çözündürme deneyleri 31
3.5. Farklı boyutlarda yapılan çözündürme deneyleri 35

4. SONUÇLAR 38

KAYNAKLAR 40

ÖZGEÇMİŞ 41

KISALTMALAR

MTA **:** Maden Tetkik Arama
LME **:** London Metal Exchange
DİE **:** Devlet İstatistik Enstitüsü
MKE **:** Makine Kimya Enstitüsü

TABLO LİSTESİ **Sayfa No**

Tablo 2.1:	Yaygın nikel minerallerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri….....	**3**
Tablo 2.2:	Dünya nikel rezervleri……	**6**
Tablo 2.3:	Nikel maden üretimi……..	**7**
Tablo 2.4:	Dünya birincil nikel üretimi ve üretim kapasiteleri……...	**8**
Tablo 2.5:	İkincil kaynaklardan nikel üretimi…….....	**8**
Tablo 2.6:	Dünya nikel tüketimi ve talep artışı……...	**9**
Tablo 2.7:	Dünya nikel fiyatları……..	**9**
Tablo 2.8:	Nikelin kullanım alanları……...	**10**
Tablo 2.9:	Türkiye nikel rezervleri……..	**11**
Tablo 2.10:	Nikel ithalatı……...	**13**
Tablo 2.11:	Falconbridge Limited, Sudbury rezervleri……	**15**
Tablo 2.12:	Rio Narcea Gold Mines Ltd Aguablanca rezervleri……...	**15**
Tablo 3.1:	Tamamı 19mm'nin altına indirilmiş cevherin boyut dağılımı…..	**19**
Tablo 3.2:	Tuvenan cevherin kimyasal analizi……	**20**
Tablo 3.3:	Yüzdürme/batırma + manyetik ayırma deneyi sonuçları……...	**23**
Tablo 3.4:	Franz manyetik ayırma deneyi sonuçları……...	**24**
Tablo 3.5:	Sarsıntılı masa deneyi sonuçları…….	**25**
Tablo 3.6:	Yoğunlaştırılmış koşullarda elde edilen nikel çözünme verimleri.	**26**
Tablo 3.7:	Oda sıcaklığında Ni-Co çözünme verimleri ve asit tüketimleri….	**27**
Tablo 3.8:	60° C'de Ni-Co çözünme verimleri ve asit tüketimleri…….	**29**
Tablo 3.9:	90° C'de Ni-Co çözünme verimleri ve asit tüketimleri…….	**31**
Tablo 3.10:	Farklı tane boyutlarında Ni-Co çözünme verimleri……...	**34**

ŞEKİL TABLOSU **Sayfa No**

Şekil 2.1:	Falconbridge Limited, Sudbury Madeni akım şeması (Kanada-Ontario)…….	**14**
Şekil 2.2:	Rio Narcea Gold Mines Ltd., Aguablanca nikel zenginleştirme tesisi akım şeması…….	**16**
Şekil 2.3:	Sülfürlü cevherlerden nikel ve kobalt metallerinin üretimi için Sherritt Gordon sürecinin akış şeması……..	**18**
Şekil 3.1:	Tamamı 19mm altına indirilmiş cevherin boyut dağılım eğrisi...	**20**
Şekil 3.2:	Tuvenan cevhere uygulanan XRD analizi sonuçları…….	**22**
Şekil 3.3:	Oda sıcaklığında yapılan deneylerde Ni çözünme verimi değişimi…….	**28**
Şekil 3.4:	Oda sıcaklığında yapılan deneylerde Co çözünme verimi değişimi…….	**28**
Şekil 3.5:	60°C ‘de yapılan deneylerde Ni çözünme verimi değişimi……..	**30**
Şekil 3.6:	60°C ‘de yapılan deneylerde Co çözünme verimi değişimi…….	**30**
Şekil 3.7:	90°C ‘de yapılan deneylerde Ni çözünme verimi değişimi……..	**32**
Şekil 3.8:	90°C ‘de yapılan deneylerde Co çözünme verimi değişimi…….	**32**
Şekil 3.9:	Farklı sıcaklıklarda süre– Ni çözünme verimi karşılaştırması…..	**33**
Şekil 3.10:	Farklı sıcaklıklarda süre– Co çözünme verimi karşılaştırması….	**33**
Şekil 3.11:	Farklı tane boyutlarında yapılan çözündürme deneylerinde süre-Ni çözünme verimi karşılaştırması……...	**35**
Şekil 3.12:	Farklı tane boyutlarında yapılan çözündürme deneylerinde süre Co çözünme verimi karşılaştırması……...	**35**

BURSA ORHANELİ NİKEL CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Nikel sahip olduğu üstün nitelikler nedeniyle kullanım alanı geniş, başta çelik sanayi olmak üzere birçok üretim alanında kullanılan bir metaldir. Günümüzde ülkemizin ihtiyaç duyduğu miktarın tamamı ithalat yoluyla yurt dışından sağlanmaktadır.

Ülkemizin ikinci büyük nikel cevher oluşumu olan Bursa-Orhaneli yatağından alınmış bir örnek üzerinde zenginleştirme olanakları araştırılmıştır. Üzerinde deneysel çalışmaların yürütüldüğü temsili cevherin nikel içeriği %0,96, kobalt içeriği ise %0,06 olarak belirlenmiştir.

Cevher üzerinde özgül ağırlık farkına dayalı zenginleştirme yöntemleri denenmiştir. Yüzdürme batırma deneyleri ve sarsıntılı masa deneyleri herhangi bir zenginleşmenin olmadığını göstermiştir. Manyetik ayırma deneyleri Franz manyetik ayırıcısında yapılmış ama zenginleşme sağlanamamıştır. Flotasyon deneylerinde de bir zenginleşme olmaması sonucu fiziksel ve fizikokimyasal yöntemlerin bu cevher yapısı için etkin olmadığı anlaşılmıştır.

Kimyasal zenginleştirme deneyleri kapsamında en uygun liç parametrelerinin saptanması için 4 ayrı asit konsantrasyonunda (30, 60, 120 ve 180g/L), 3 farklı sıcaklıkta (30, 60 ve 90ºC), 4 farklı sürede (1, 2, 4 ve 8 saat) ve 3 farklı boyutta karıştırmalı asit liçi deneyleri yapılmıştır.

Optimum çözündürme koşullarında (120g/L H_2SO_4, 60°C ortam sıcaklığı ve 8 saatlik çözündürme); %86,9 Ni ve %81,3 Co çözünme verimlerine ulaşılmış ve 623,4 kg/t asit tüketimi bulunmuştur.

RESEARCH ON ENRICHMENT POSSIBILITIES OF BURSA ORHANELI NICKEL ORES

SUMMARY

Because of the superior properties of nickel metal, it is widely used in many branches of industry especially in steel industry. The total amount of nickel consumed in Turkey is supplied by export.

Bursa-Orhaneli region nickel ore which is the second largest in Turkey was studied in this thesis. Nickel and kobalt content of the ore is 0,96% and 0,06% respectively.

First, gravitaty concentration methods were applied to the ore. The results of float and sink experiment and shaking table experiment were not satisfactory. Magnetic separation applied using Franz Magnetic Separator results were not good. After having unsuccessful results in flotation process it is agreed that physical and physicochemical concentration processes were not suitable for concentration of this ore.

By using 3 different acid concentrations in preliminary tests of chemical concentration showed beter results. In the following leaching experiments 4 different acid concentrations (30, 60, 120 and 180g\L) at 3 different temperatures (30, 60 and 90ºC) for 4 different leaching times (1, 2, 4 and 8 hours) and 3 different particle sizes were tested.

Optimum leaching conditions were found as 120g/L H_2SO_4, 60ºC temperature and 8 hours of leaching time. At these conditions 86,9%Ni and 81,3%Co were exracted while 623,4kg acid/t ore was consumed.

1. GİRİŞ

Nikel sahip olduğu üstün nitelikler nedeniyle kullanım alanı geniş, başta çelik sanayi olmak üzere birçok üretim alanında kullanılan bir metaldir. Günümüzde ülkemizin ihtiyaç duyduğu miktarın tamamı ithalat yoluyla yurt dışından sağlanmaktadır.

Nikel rezervlerimizin, MTA'nın geçen yüzyılın son çeyreğinde yaptığı çalışmalar sonucu saptanmış olmasına karşın henüz yurt içi üretimi başlamamıştır. Türkiye'nin en büyük nikel rezervi olan Manisa-Çaldağ rezervinin üretime geçmesi için geçtiğimiz sene pilot çalışmalara başlanılmasına karşın, tezin konusu olan Bursa-Orhaneli yataklarından nikel kazanımına yönelik çalışmalar çok azdır [1].

Nikel konusunda yurt dışına bağımlılığın azaltılması, ülke kaynaklarının üretime açılmasına bağlıdır. Bu yolla dışa bağımlılık azalacağı gibi, atıl halde bulunan yer altı kaynaklarının ekonomiye kazandırılması ile ekonomik gelişme, bölgesel istihdam ile kalkınma ve ihracat genel bir madencilik politikası olmalıdır.

Tezin amacı; yukarda özetlenen duruma paralel olarak ülkemizin ikinci büyük nikel cevher yatağı olan Bursa-Orhaneli nikel yataklarının zenginleştirme olanaklarının araştırılmasıdır. Bu kapsamda; cevherin fiziksel ve fizikokimyasal özelliklerine dayalı zenginleştirme yöntemleri denenmiş ancak, en uygun yöntem olarak kimyasal zenginleştirme üzerinde çalışmalar sürdürülmüştür.

2. GENEL BİLGİLER

Nikel yer kabuğundaki belli başlı elementlerden olup, yüzyılı aşkın bir süredir endüstride kullanılmaktadır. Atom numarası 28, atom ağırlığı 58,71 olan nikel periodik cetvelde kobalt ile bakırın arasında yer alır. Bu durum nikelin tabiatta en çok bu iki elementle ilişkili olarak bulunmasının bir açıklamasıdır. Doğada çoğunlukla demirle birlikte olmak üzere sülfürler, arsenürler ve silikatlar (lateritik kökenli) şeklinde bulunur [2]. Yerkabuğundaki 75 ppm'lik ortalama miktarı ile elementler arasında bolluk yönünden 23. sırayı almaktadır. Ultramafik kayaçlarda ortalama 1.450 ppm, bazaltlarda 130 ppm, andezitlerde 18ppm, granitlerde 10 ppm, Pasifik mangan nodüllerinde 3.120 ppm, şeyillerde 70 ppm ve deniz suyunda 0,0005 ppm oranında nikel bulunmaktadır [3]. Dünyadaki en önemli nikel yatakları Kanada, Yeni Kaledonya, Küba, ABD, Avustralya, Endonezya ve Eski Sovyetler Birliği'nde bulunmaktadır [4].

Milattan 200 yıl öncesinden beri nikel ve nikel alaşımlarının madeni paralarda kullanıldığı ortaya çıkartılmıştır. 18. yüzyıla kadar ayrı bir metal olduğu bilinmeyen nikel, ilk kez 1751 yılında İsveçli bilgin Axel Cronstedt tarafından bakır nikel cevherlerinden ayrı bir metal olarak elde edilmiştir. İlk metalurjik tesis 1824 yılında Avustralyalı Gersdorff tarafından kurulmuştur [3].

Nikel sahip olduğu üstün nitelikler nedeniyle endüstride en çok kullanılan metallerden biridir. Gerek metal ve alaşımları, gerekse paslanmaz çelik olarak geniş kullanım alanları olan bir metaldir. Ticari olarak saf olan (%99,5) dövülmüş ve dökülmüş haldeki nikelin endüstri bakımından geniş ve önemli kullanım alanları vardır. Bunun nedeni nikelin sahip olduğu iyi mekanik ve fiziksel özelliklerin yanı sıra korozyona karşı gösterdiği yüksek dirençtir. Bir çok ticari şekilde bulunan nikel kolaylıkla soğuk ve sıcak işlenebilir, kaynak edilebilir ve tornadan geçirilebilir, yüksek sıcaklıklarda mukavemetini ve sıfırın altındaki sıcaklıklarda ise sünekliğini ve tokluğunu olduğu kadar mukavemetini de mükemmel derecede korur. İşlenmiş nikel, mekanik özelliklerinin çoğu bakımından yumuşak çeliğe benzer fakat çeliğin aksine korozyona karşı yüksek bir mukavemet gösterir. Nikelin korozyona karşı dayanıklı bir metal olarak en fazla göze çarpan özelliklerinden biri de alüminyumun

aksine alkalilerin etkisine karşın tam bir mukavemete sahip olmasıdır. Nikel yüksek sıcaklıklarda kırılgan hale gelmez. Soğukta ferromanyetik olan nikel 370° C'de bu özelliğini kaybeder. Tel ve levha haline getirilebilir. Toz halindeki nikel önemli bir indirgeme katalizörüdür. Örneğin sıvı yağların katılaştırılmasında bu özelliğinden yararlanılır.

Nikelin alternatiflerinin kullanılması maliyetleri arttırmaktadır. İkame ürünleri nikele oranla, daha düşük kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olup, performansları da düşüktür. Bu nedenle, nikelin gerçek anlamda alternatifi, günümüz şartlarında, söz konusu değildir [4].

2.1. Nikel Yataklarının Oluşumu

Nikel mineralleri birçok jeolojik ortamda yatak ve kayaçların bileşimine girmektedir. Ancak ekonomik nikel yatakları başlıca erken magmatik evre sülfür cevherleşmeleri, hidrotermal nikel yatakları ve nikelli lateritler olmak üzere üç şekilde bulunmaktadır. Ayrıca 2.000 ppm kadar yüksek konsantrasyonlarda nikel bulundurduğu için ultramafik kayaçlar 7 milyon ton metalik nikel eşdeğeri potansiyel olarak düşünülmektedir [2].

Ayrıca bu 3 tür nikel kaynağına, %0,1 - %1,5 nikel içerikleriyle derin deniz manganez nodülleri eklenebilir. Nikel içerikleri yer yer %3,5'e kadar çıkan mangan nödülleri, geleceğin önemli nikel hammadde kaynağı olarak gösterilmektedir [3].

Önemli nikel minerallerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo2.1'de verilmektedir.

Tablo 2.1: Yaygın Nikel Minerallerinin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Mineral Adı	Kimyasal Bileşimi	Renk
Nikkolit- Nikelin	NiAs	Bakır Kırmızısı, gümüş beyazı
Pentlandit	$(Fe,Ni)_9S_8$	Kahvemsi bronz
Bravoyit	$(Fe,Ni)S_2$	
Millerit	NiS	Tunç sarısı
Ulmannit	NiSbS	
Skutterudit	$(Ni,Co,Fe)As_3$	Gümüş beyazı
Gersdorfit	NiAsS	Gümüş beyazı
Garniyerit	$4(Mg,Ni).3SiO_2.4H2O(OH)_4$	Grimsi beyaz
Asbolan	$Mn(Co,Ni)(OH)_2$	
Nikelli antigorit	$(Mg,Ni).2Si_2O_5.(OH)_5$	Grimsi yeşil

2.1.1. Sülfürlü Nikel Yatakları

Bütün nikel sülfid yatakları ultrabazik ve bazik magmatik kayaçların içinde yeralmaktadır. Ultrabazik ve bazik magmalar demir ve tali olarak bakır, nikel ve platin grubu metaller bakımından zengindir. Magmanın soğuması sırasında bu metaller kükürtle birleşerek sülfid damlacıkları meydana getirirler. Magmanın içinde zenginleşen sülfid damlacıklar sıvı içinde karışmazlık süreçleri ile silikatlı kısımdan ayrılarak dibe çökerler. Böylece nikel, bakır ve platinoid metallerinin sülfid mineralleri ince seviyeler halinde yatak oluştururlar. Bu ortamda çinko ve kurşun gibi kalkofil metaller sülfid damlacıkları halinde toplanamadığından yatak oluşturamazlar.

Tenörü %0,8'den yüksek olan dünya rezervlerinin yataklara göre dağılımında birinci sırayı mafik ve ultramafik komplekslerle ilişkili yataklar, ikinci sırayı Sudbury Kompleksi veya benzer komplekslerle ilişkili yataklar, üçüncü sırayı dunit – periyodit sınıfı almaktadır. Tenörü %0,8'den düşük olan rezervler ise daha çok geniş yayılımlı ve yalancı tabakalı sokulumlarla ilişkili yataklarda bulunmaktadır [2].

2.1.2. Hidrotermal Nikel Yatakları

Ultramafik kayaçları kesen genç plütonik ve volkanik kayaçlardan kaynaklanan veya bunların kontaklarına kadar inerek ısınan yer altı sularının oluşturduğu hidrotermal çözeltiler ultramafik kayaçların içinde hareket ederken bol miktarda nikel çözmektedir. Daha sonra sıcaklığın düşmesi veya diğer jeokimyasal şartların değişmesi ile çatlaklar boyunca nikel çökelerek yatak oluşturmaktadır. Bu tip yataklar genellikle damar tipi, küçük rezervli ve yüksek tenörlüdürler. Benzer şekilde, metamorfik sahalarda da metamorfizma sırasında açığa çıkan hidrotermal çözeltilerin çevredeki ultramafik kayaçların içinde veya kenarlarında nikel damarlarının oluşmasını sağlayabilmektedir [2].

2.1.3. Kalıntı Nikel Yatakları

Nikel yüzey şartlarında az hareketli bir metaldir. Eser miktarlarda nikel bulunduran ultrabazik ve bazik kayaçların (peridotit, piroksenit, dunit, harzburgit, gabro vs.) veya bunların serpantinitlerinin sıcak ve bol yağışlı iklimlerde ayrışmaları sonucu bunları oluşturan ana minerallerin yapısında bulunan Fe, Mg, SiO_2 ve diğer eser elementler açığa çıkmaktadır. Yüzey şartlarında stabil olan ve Fe yerinde birikerek

demirli lateritleri oluşturmaktadır. Çok hareketli olan Mg ise sularla taşınarak ortamdan uzaklaştırılmaktadır. SiO_2 ise demire göre daha hareketli olup, derin kısımlarda veya alterasyon kesiminin kenarlarında birikmektedir.

Ana kayaç içinde %0,1'den daha düşük konsantrasyonlarda bulunan nikel lateritleşme sırasında çözeltilerin içine katılarak bir miktar taşınmaktadır. Bu tip lateritleşmede topografya genellikle peneplenize olduğundan nikelin taşınması yanal hareketten çok düşey yönde gelişmektedir. Böylece lateritik zonun alt kesimlerindeki demir hidroksitlerin içinde veya lateritin tabanındaki kısmen ayrışmış kayaçların çatlaklarında konsantre olarak kalıntı nikel yataklarını meydana getirmektedir. Nikel ya demir minerallerinin üzerine absorblanarak veya yeşil renkli garniyerit ve diğer nikelli fillosilikatlar şeklinde ya da bir serpantin minerali olan antigoritin kristal kafesinde Mg'un yerini alrak nikelli antigorit halinde depolanmaktadır.

Kalıntı nikel yataklarının tip kesitlerinde en üstte demirce zengin bir örtü, bunun altında gözenekli laterit, kısmen bozunmuş peridotit ve en altta bozunmamış peridotit bulunduğu ve nikelin bu zonlanmada kısmen bozunmuş peridotit zonunda konsantre olduğu görünmektedir. Nikelli kısımlar daha çok ince bantlar, ender olarak da peridotitlerin içinde kılcal damarlar veya cepler şeklinde bulunmaktadır.

Lateritleşmenin gerçekleştiği ortamın yakınlarında göl veya deniz kıyısı gibi sulu ortamların bulunması durumunda taşınmış lateritlerin içinde deritik veya kimyasal çökelmeyle zenginleşmiş nikel oluşumlarını da bulmak mümkündür.

Lateritik nikel yataklarının tipik örnekleri Güney Amerika'nın doğu kesiminde, Afrika kıtasının orta ve güney kesimlerinde ve Yeni Kaledonya'da yer almaktadır [2].

2.2. Dünya Nikel Rezervleri ve Tüketim

Ortalama % 1 ve daha fazla nikel içeren Dünya nikel kaynaklarının 140 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu kaynakların %60'ı lateritik, %40'ı ise sülfit kökenlidir. Ayrıca okyanus tabanlarındaki, manganlı-nikelli-demirli yumru nodüllerle okyanusların magnezyumlu kabuklar Dünyanın potansiyel nikel kaynakları olarak değerlendirilebilir [4].

2.2.1. Nikel Rezervleri ve Üretimi

Dünya nikel rezervleri Tablo 2.2'de verilmiştir. Tabloda Kanada Newfoundland, Labrador'da yeni keşfedilen önemli nikel yatakları rezervlere dahil edilmemiştir. Bilinen nikel yatakları bugünkü talep bazında 38.5 yıl ihtiyacı karşılayabilecek düzeydir. Mevcut işletilebilir rezervin % 40,4'ü Küba, Çin ve Eski Sovyetler Biriliği'nde bulunmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerin sahip olduğu oran ise %28,6'dır [4].

Tablo 2.2: Dünya Nikel Rezervleri [5]

Ülkeler	Rezerv(Bin ton)	Toplamda Oranı (%)
AFRİKA		
Botswana	783	2,0
Güney Afrika	2.540	6,4
Zimbabve	243	0,6
ASYA		
Çin	3.700	9,3
Endonezya	3.200	8,1
Filipinler	410	1,0
Diğerleri	100	0,3
AVRUPA		
Finlandiya	80	0,2
Yunanistan	454	1,1
Norveç	123	0,3
Rusya	6.600	16,6
Yugoslavya	60	0,2
Ukrayna	90	0,2
KUZEY AMERİKA		
Kanada	5.334	13,4
ABD	43	0,1
ORTA-GÜNEY AMERİKA		
Brezilya	670	1,7
Kolombiya	558	1,4
Küba	5.549	14,0
Dominik Cumhuriyeti	1.002	2,5
OKYANUSYA		
Avustralya	3.700	9,3
Yeni Kaledonya	4.500	11,3
TOPLAM	**39.739**	**100**

Dünya nikel maden üretimi Tablo 2.3'te verilmiştir. Dünya nikel maden üretimi, nikel içeriği olarak 1995'de 1.000.700 ton, 1996'da 1.033.100 ton olarak gerçekleşmiştir. Maden üretiminin %36'sını gelişmiş ülkeler, %32'sini gelişmekte olan ülkeler ve geri kalan %32'sini Küba, Çin ve Eski Sovyetler Birliğinin

gerçekleştirdiği görülmektedir. 1997 yılı LME fiyatlarıyla maden üretimi değeri, nikel metali bazında, 7,14 milyar US $'dır [4].

Tablo 2.3: Nikel Maden Üretimi [5]

Ülkeler	**Maden Üretimi**		
	(Ton Nikel)		**Oran %**
	1995	**1996**	**1996**
AFRİKA			
Botswana	18.100	22.900	2,2
Güney Afrika	29.800	33.600	3,3
Zimbabve	11.700	11.600	1,1
ASYA			
Çin	41.800	43.800	4,2
Endonezya	86.600	87.900	8,5
Filipinler	1.200	1.200	0,1
Diğerleri	17.200	14.700	1,4
AVRUPA			
Finlandiya	4.400	3.900	0,4
Yunanistan	17.200	17.800	1,7
Norveç	3.600	3.500	0,3
Makedonya	1.500	3.000	0,3
Rusya	251.000	230.000	22,3
Yugoslavya	1.200	2.500	0,2
Ukrayna	1.200	1.100	0,1
KUZEY AMERİKA			
Kanada	181.800	193.100	18,7
ABD	1.600	1.300	0,1
ORTA-GÜNEY AMERİKA			
Brezilya	15.700	16.400	1,6
Kolombiya	24.600	22.900	2,2
Küba	41.200	53.600	5,2
Dominik Cumhuriyeti	30.900	30.400	2,9
OKYANUSYA			
Avustralya	98.500	113.100	10,9
Yeni Kaledonya	119.900	124.800	12,1
TOPLAM	**1.000.700**	**1.033.100**	**100,0**

Dünya birincil nikel üretimi ve üretim kapasiteleri aşağıdaki Tablo 2.4'te verilmiştir. 1995 yılında 918.800 ton nikel, 1996 yılında 954.900 ton nikel üretilmiştir. Dünya birincil nikel üretim kapasitesi 1.165.400 tondur. Bu kapasitenin % 57,9'u gelişmiş ülkelerde, % 14,5'i gelişmekte olan ülkelerde ve % 27,6'sı Küba, Çin ve Eski Sovyetler Birliği'nde bulunmaktadır [4].

Tablo 2.4: Dünya Birincil Nikel Üretimi ve Üretim Kapasiteleri [5]

Ülkeler	Maden Üretimi			
	(Ton Nikel)		Oran (%)	Kapasite(ton)
	1995	**1996**	**1996**	**1996**
AFRİKA				
Güney Afrika	29.800	33.600	3,5	35.000
Zimbabve	16.500	17.100	1,8	21.500
ASYA				
Çin	38.900	44.600	4,7	45.000
Endonezya	10.700	9.600	1	11.000
Japonya	135.000	130.100	13,6	135.500
AVRUPA				
Avusturya	2.500	2.000	0,2	4.000
Finlandiya	21.300	33.300	3,5	35.000
Fransa	10.400	11.200	1,2	13.000
Yunanistan	17.200	17.800	1,9	25.000
Makedonya	2.000	3.000	0,3	28.000
Norveç	53.200	61.600	6,5	67.000
Rusya	201.900	190.500	19,9	334.000
Yugoslavya	1.000	2.600	0,3	7.000
Ukrayna	1.200	1.200	0,1	6.600
İngiltere	35.100	42.000	4,4	40.000
KUZEY AMERİKA				
Kanada	121.500	126.500	13,3	139.000
ABD	8.300	15.100	1,6	16.000
ORTA-GÜNEY AMERİKA				
Brezilya	15.700	16.400	1,7	18.800
Kolombiya	24.600	22.900	2,4	25.000
Küba	21.600	27.000	2,8	52.000
Dominik Cumhuriyeti	30.900	30.400	3,2	32.000
OKYANUSYA				
Avustralya	77.300	74.000	7,7	75.000
Yeni Kaledonya	42.200	42.200	4,4	50.000
TOPLAM	**918.800**	**954.900**	**100,0**	**1.165.400**

İkincil kaynaklardan nikel üretimi Tablo 2.5'te verilmiştir. Tabloda hurdalardan paslanmaz çelik üretiminde kullanılmak üzere yapılan nikel üretimi ile birlikte Avrupa Birliği, Japonya ve ABD'de yapılan nikel üretimi yer almaktadır [4].

Tablo 2.5: İkincil Kaynaklardan Nikel Üretimi [5]

Ülkeler	Nikel İçeriği (ton)	
	1995	**1996**
Avrupa Birliği	122.000	117.000
Japonya	87.200	88.500
A.B.D.	50.800	45.300

2.2.2. Nikel Tüketimi

Dünya nikel üretimi ve talep artışı Tablo 2.6'da verilmiştir. 1995'de 978.200 ton olan tüketim, 1996'da 932.600 tona gerilemiştir. Tüketime talep 1960'larda %6,9, 1970'lerde %3,6, 1980'lerde %1,9, 1990'larda %2,6 olmuştur. 1996 yılı itibariyle Avrupa Birliği 313.400 tonluk taleple ilk sırada yer almakta olup, ikinci sıradaki Japonya'nın talebi 187.100 ton olmuştur [4].

Tablo 2.6: Dünya Nikel Tüketimi ve Talep Artışı [5]

Ülkeler	**Tüketim**					
	Ton		**Büyüme Oranı (%)**			
	1995	**1996**	**1960'lar**	**1970'ler**	**1980'ler**	**1990'ler**
Avrupa Birliği	352.800	313.400	5,9	3,4	3,5	2,9
Japonya	205.100	187.100	18,9	4,3	2,9	3,2
A.B.D.	155.200	153.100	3,2	1,8	-1,1	3,2
Diğer	180.800	193.800	11,0	5,7	5,3	12,9
Toplam Batı Dünyası	893.900	874.400	7,0	3,4	2,6	4,9
Dünya Toplamı	**978.200**	**932.600**	**6,9**	**3,6**	**1,9**	**2,6**

2.2.3. Nikel Fiyatları

Dünya katot nikel fiyatları Tablo 2.7' de verilmiştir.

Tablo 2.7: Dünya Nikel Fiyatları [6]

Yıllar	**LME**	
	US$/t	**US$/lb**
1990	8864,0	4,02
1994	6344,0	2,88
1997	6916,0	3,14
2002	6514,0	3,21
2003	9034,0	4,05
2004	15000,0	6,75
2005	15852,0	7,35

2.2.4. Nikelin Kullanım Alanları

Nikelin esas kullanım alanı, diğer metallerle alaşımlar oluşturarak istenilen özelliklerde ürünler elde edilmesidir. ABD, Japonya ve Almanya'da nikelin kullanım alanları Tablo 2.8'de görülmektedir [4].

Tablo 2.8: Nikelin Kullanım Alanları [5]

Kullanım Alanları	A.B.D. (%)	Japonya (%)	Almanya (%)
Paslanmaz çelik ve alaşım çelikleri	49	87	63
Demir dışı alaşımlar	29	2	24
Elektro kaplama	15	3	4
Diğerleri	7	8	9

Metalurji dışında nikelin kullanım alanları şöyle sınıflandırılabilir:

- Kimya endüstrisinde: Nikel alaşımları olarak metal korozyonuna maruz yerlerde, kostik solüsyonların taşınması ve muhafazasında, petrol endüstrisinde.
- Fabrikasyon ürünlerde: Çatal, bıçak takımları, çekiç, pense gibi aletlerle diğer birçok ev ve hastane aletlerinin yapımında.
- Uçak ve gemi endüstrisinde: Nikel süper alaşımları yüksek ısıda basınç ve korozyona dayanıklı olduğundan uçakların gaz türbinlerinde, jet motorlarının yapımında, ayrıca uçakların elektrolizle kaplanan bölgelerinde ve gemi yapımında tuz korozyonuna karşı engelleyici olarak.
- Motorlu araçlar ve parçalarında.
- Elektrikli makinalar ve parçalarında.
- Yapı malzemelerine, sıvı ve katı yağlarda hidrojenasyonu sağlamak üzere; batarya ve yakıt hücrelerinde ve seramik malzemelerde emaye ile demir arasında bağlayıcı olarak kullanılır.
- Dayanıklı ve yeniden doldurulabilir pil yapımında.
- Seramik sanayinde: Renk verici olarak

2.3. Türkiye Nikel Rezervleri ve Tüketim

Türkiye'de lateritik ve sülfit tipi nikel mineralizasyonları bulunmaktadır [3]. Bilinen başlıca yataklar;

- Manisa – Turgutlu - Çaldağ'da lateritik
- Eskişehir - Mihallıççık- Yunusemre'de lateritik
- Bitlis - Pancarlı'da nikel-bakır sülfür
- Bursa - Orhaneli- Yapköydere'de sülfür
- Sivas – Divriği - Güneş'te hidrotermal nikel sülfür cevherleşmeleridir.

2.3.1. Türkiye Nikel Rezervleri ve Üretimi

Türkiye nikel cevherleşmeleri ve rezervlerine ilişkin son yıllarda yapılmış çalışmalar bulunmamaktadır. Bilinen rezervlere ait çalışma MTA tarafından yapılmış olup, rezerv değerleri Tablo 2.9'da verilmektedir.

Tablo 2.9: Türkiye Nikel Rezervleri (bin ton) [5]

Yeri	Tipi	Tenör %	Görünen+Muhtemel	Mümkün	Toplam
Manisa Çaldağ	Laterit	0,93 Ni 0,042 Co	65.600		65.600
		1,21 Ni 0,048 Co	39.400		39.400
		1,37 Ni 0,053 Co	35.400		35.400
		1,43 Ni 0,053 Co	34.400		34.400
		1,59 Ni 0,060 Co	21.000		21.000
		1,95 Ni 0,060 Co	4.400		4.400
Bursa Yapköy	Sülfit	1-4 Ni	82	81	163
Bitlis Pancarlı	Sülfit	1,41 Ni		15,5	15,5
Toplam			**39.482**	**96,5**	**39.578,5**

Manisa-Çaldağ Sahasında M.T.A. tarafından ayrıntılı Jeolojik etüdler ile 82'si kırıntılı, 5'i karotlu olmak üzere 97 lokasyonda toplam 8.253 m sondaj yapılmış, 10 lokasyonda toplam 275 m arama kuyusu ve 80'den fazla yarma açılmıştır.

Bursa-Yapköydere Sahasında, 1974-1982 tarihleri arasında M.T.A. tarafından çeşitli zamanlarda etüdler gerçekleştirilmiştir. Bunlar jeolojik ve jeofizik etüdler (IP ve

Elektromanyetik/Turam), 20'ye yakın yarma ve 2 lokasyonda toplam 121 m'lik sondaj çalışmalarıdır. Bunların rezervin çok küçük bir yatak olmasına karşın ucuz işletme yöntemleri ile işlenebileceği belirtilmektedir.

Bitlis-Pancarlı Sahasında M.T.A. tarafından ayrıntılı jeolojik etütler yapılmış, 15 500 ton %1,4 Ni tenörlü mümkün rezerv belirlenmiş ancak bunun tek başına ekonomik olmayacağı belirtilmiştir. Tablo 2.9'da verilen cevherleşmeler dışında, Eskişehir-Mihallıççık-Yunusemre'de lateritik tip Sivas-Divriği-Güneş'te ve Bolu-Mudurnu-Akçaalan'da sülfitik tip nikel cevherleşmeleri bulunduğu belirtilmektedir [4].

2.3.2. Türkiye Nikel Tüketimi

Nikel ihtiyacı ithalat yoluyla karşılanmaktadır. DİE 1999 verilerine göre 1996 yılında 2.542 $ karşılığı 1.800 kg nikel ithal edilmiştir. Türkiye nikel tüketimlerine ilişkin son verilere ulaşmak olanaklı olmamaktadır. Bu nedenle mevcut durumun ortaya konulabilmesi için VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK raporunda yer alan verilerden hareket ederek bazı yaklaşımlar yapılabilir. Buna göre;

- Türkiye'de faaliyet gösteren bazı önemli kuruluşlar şunlardır: MKE-Çeliksan, Asil Çelik, Silvan A.Ş., Anadolu Döküm, Emaş Endüstri A.Ş., Hisar Çelik, Erganakon Çelik, Yakacık Mak. Fab., Kayalar Bakır Al., İral Çelik, Altun Döküm, Özdemir Döküm, Bur Çelik Döküm, Kızılırmak Döküm, Özgümüş Döküm v.b. gibi. Bu firmalar çeşitli alaşımlı çelik döküm, paslanmaz makine parçaları üretimi, yüke dayanımlı alaşımlar vb. alanlarda faaliyet göstermektedir. Demir ve çelik sektörünün nikel hammadde ihtiyacı yıllık 180-200 ton/yıl civarında verilmiştir. İhtiyaç duyulan nikel hammaddeleri, mond-katot nikel, ferronikel, pelet nikel, nikel tozu, diğer alaşımsız nikel, nikel matları ve nikel metalurjisinin ara ürünleri ithal edilerek karşılanmaktadır.
- 1989-1992 yılları nikel ürünleri toplam ithalatı ve mond-nikel ithalatı Tablo 2.10'da verilmiştir. Buna göre; 1992'de nikel ürünleri toplam ithalatının 1.305 tona, mond-katot nikel ithalatının ise 711 kg'a ulaştığı görülmektedir.
- Diğer alaşımsız nikel, nikel matları, küller, mond-katot nikel, döküntü ve hurda kalemlerinde 1989-1993 yılları arasında Türkiye'nin ihracatı da söz konusudur. İhracat yıllar itibariyle değişiklikler göstermektedir. Bu ihracatın 1990 yılında ki değeri 776.134 $, 1992'deki değeri ise 130.243 $'dır.

- Nikel tüketimi ve ithalatı verilerinden hareketle sağlıklı bir projeksiyon yapılması mümkün olmamakla birlikte, Türkiye nikel metali ithalatının 1.500-2.000 ton/yıl dolayında olduğu kestirilmektedir.

Tablo 2.10: Nikel İthalatı [5]

Yıl	Nikel Ürünleri Toplam İthalatı		Mont-Katot Nikel İthalatı	
	Miktar (kg)	Değer ($)	Miktar (kg)	Değer ($)
1989	801.280	11.736.807	751	11.048.994
1990	1.012.590	9.957.534	849	8.452.970
1991	1.059.797	8.353.585	802	7.005.354
1992	1.305.068	6.601.194	711	5.501.124
1993(8 aylık)	1.086.537	4.942.439	690	4.334.303

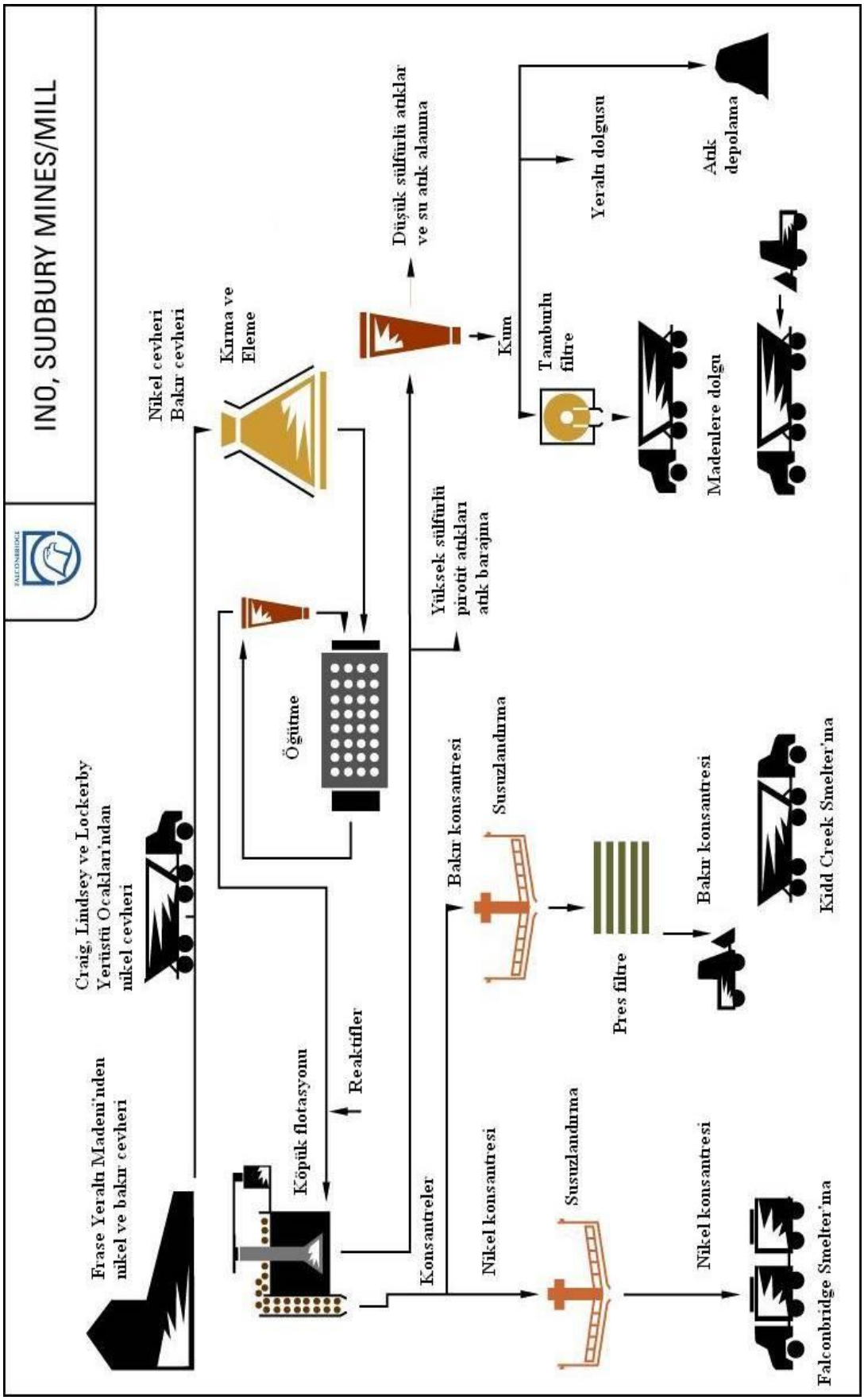
2.3.3. Türkiye Nikel Kullanım Alanları

Türkiye'de nikel üretimi yeni üretime geçmiş bir ocakta yapıldığından nikel ihtiyacı ithalatla karşılanmaktadır. Yurtiçi nikel tüketiminde mond-katot nikel önemli yer tutmaktadır. Bu ürünün Türkiye'de tüketildiği en önemli alan kaplama sanayi ve az miktarda alaşımlı çelik dökümüdür. Bilye şeklinde pelet nikel döküm sanayinde kullanılmaktadır. Ayrıca, tekstil sanayinde makaralarda plaka nikel kullanımı mevcut olup, miktarı azdır [4].

2.4. Nikel Cevherlerinin Zenginleştirilmesi

2.4.1. Falconbridge Limited (Kanada-Sudburry)

Kanada Ontario'daki Sudbury yatağı Prekambriyen yaşlı Kanada Kalkanı'nda, Huron Gölü'nün hemen kuzeyindedir. Havza 60 x 27km² boyutlarındadır. Sudbury yatağı bilinen en büyük nikel yatağı olmasının yanı sıra önemli bakır kobalt, demir, platinoid ve diğer birçok metal zenginleşmeleri bulundurmaktadır. Yataklar 1883 yılında tren yolu inşaatı sırasında bulunmuş ve günümüze kadar 500 milyon tonu işletilebilir 930 milyon ton rezerv ortaya çıkartılmıştır [2]. 1928'den beri Falconbridge Limited, Sudbury'de nikel ve bakır çıkartmaktadır. 1500 çalışanı olan şirket biri yer altı olmak üzere 4 maden ve zenginleştirme tesisinden, 2004 yılında 22.602 ton nikel konsantresi ve 24.694 ton bakır konsantresi üretmiştir. Ana nikel minerali pentlandittir. Pentlanditin yanı sıra pirotitte de %0,4 ile %1,2 arasında ağırlıkça nikel bulunur. Nikel ve bakır cevherleri kırma ve öğütme işlemlerinden



Şekil 2.1: Falconbridge Limited, Sudbury Madeni Akım Şeması (Kanada-Ontario) [7]

sonra sülfür flotasyonu ile zenginleştirmektedir. Tesise ait akım şeması Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Fraser(yer altı), Craig, Lindsey ve Lockerby madenlerinin toplam rezervleri Tablo 2.11'de verilmiştir. Asıl ürünler nikel ve bakırdır.Kobalt ve diğer değerli metaller de yan ürün olarak kazanılmaktadır. 2004'te yan ürün olarak 565 ton kobalt konsantresi üretilmiştir. Zenginleştirme tesisinden çıkan konsantreler şirketin ergitme fırınlarına oradan da Norveç Kristiansand'taki rafineriye gönderilmektedir[7].

Tablo 2.11: Falconbridge Limited, Sudbury Rezervleri [7]

	Miktar (milyon ton)	**Nikel Oranı (%)**	**Bakır Oranı (%)**
Görünen	4,5	1,32	1,59
Mümkün	7,3	1,12	1,17

2.4.2. Rio Narcea Gold Mines Ltd. (İspanya-Aguablanca)

Aguablanca cevher yatağı Pressur-Rio Tinto ortaklığı sonucu 1993 yılında bulunmuştur. Cevher yatağı, Güney İspanya'da, Sevil'in 80 km kuzey batısında yeralmaktadır. Yaklaşık 20 hektarlık bir alanı kaplamaktadır.

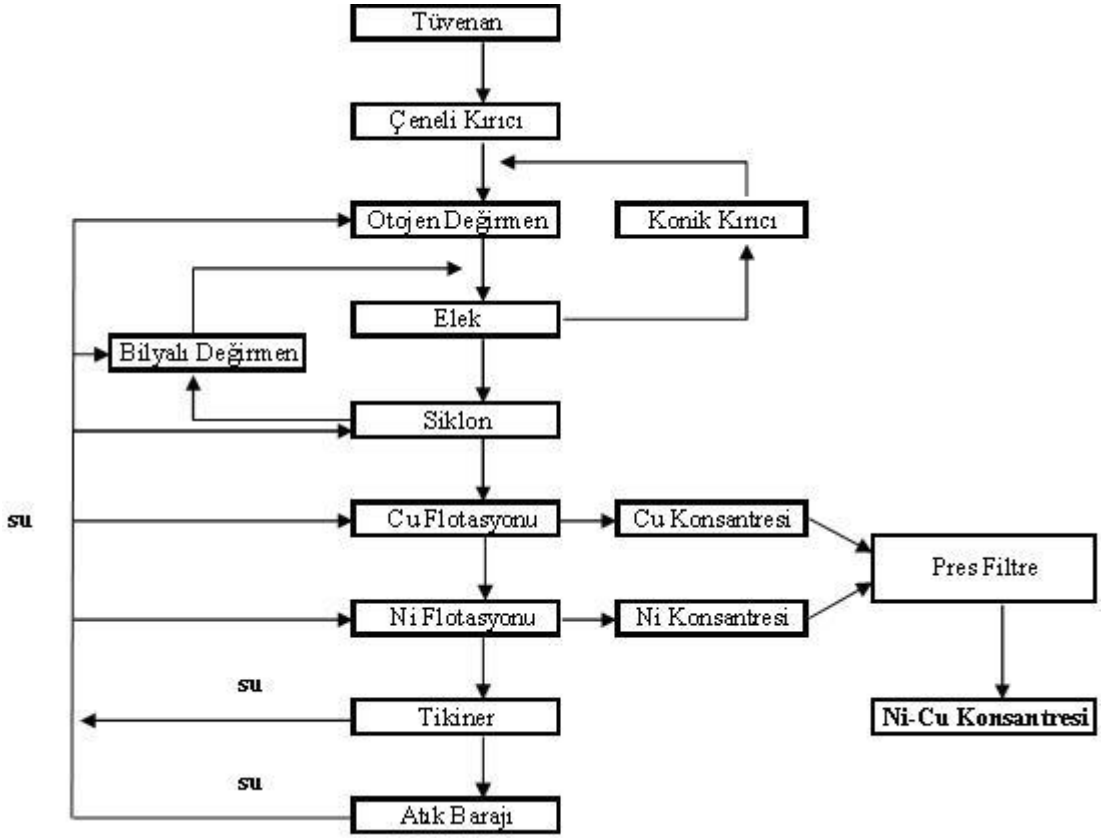
Aguablanca yatağı tipik bir mağmatik Ni-Cu sülfid mineralizasyonu sergiler. Sondajlarda piroksen ve peridotit gibi ultramafik kayaçlara rastlanmıştır. Sülfid mineralleri olarak pirotit, pentlandit, kalkopirit ve pirit yoğundur. Markasit ve kovellite rastlanmaktadır. Sülfid minerallerine bağlı olarak platin grubu mineraller ve altın eser miktarda vardır ve cevherde ağırlıklı olarak manyetit bulunmaktadır. Şirkete ait rezervler Tablo 2.12'de verilmiştir.

Tablo 2.12: Rio Narcea Gold Mines Ltd Aguablanca Rezervleri

	Rezerv (bin ton)	**Nikel Oranı (%)**	**Bakır Oranı (%)**
Görünen	13.600	0,66	0,47
Muhtemel	2.100	0,62	0,44
Toplam	15.700	0,66	0,46

Rio Narcea Gold Mines Ltd., platin grubu metaller (PGM) içeren nikel ve bakır konsantreleri ile kobalt ve altın üretimi için yatırımlar yapmıştır. Açık ocaktan çıkartılan cevher, zenginleştirme tesisinde, kırma-öğütme ve flotasyon ile ergitme

fırınına gönderilmek üzere nikel, bakır, pgm konsantreleri elde edilir. Market koşullarının değişimine bağlı olarak tesis sadece nikel veya sadece bakır konsantresi üretebilecek esneklikte tasarlanmıştır. Tesisin akım şeması Şekil 2.2'de verilmiştir[8].



Şekil 2.2: Rio Narcea Gold Mines Ltd., Aguablanca Nikel Zenginleştirme Tesisi Akım Şeması [8]

2.4.3. European Nickel PLC. (Türkiye-Manisa-Çaldağ)

Çaldağ lateritik demir, nikel-kobalt yatağı Manisa İli, Turgutlu İlçesi'nin yaklaşık 25 km kuzeyinde bulunmaktadır. Ayşekızı Tepesi'nin güneyinde yüzeylenen yukarı ve aşağı lateritik demir, nikel-kobalt yatakları yaklaşık 2 km²'lik bir alan içindedir. Demir-nikel-kobalt oluşumunun tabanda bulunan serpantinitin lateritleşmesi sonucu oluştuğu düşünülmektedir [9].

Yatağın ekonomik nikel minerali asbolandır. Asbolanın eser olarak izlenebildiği kil minerallerinin kimyasal analizinde çok düşük nikel kobalt değerleri bulunmuştur. Buradan da nikelin çok az bir kısmının nikel silikatlara bağlı olduğu anlaşılmaktadır [9].

Cevher yatağının, %1,14 nikel ve %0,05 kobalt içerikli 38 milyon ton rezervi olduğu bilinmektedir. Hesaplanan 430.000 ton nikel değerinin 5 milyar dolardan fazla olduğu bilinmektedir .

European Nickel PLC. 2004 yılının nisan ayında fizibilite çalışmalarına, aynı yılın ekim ayında ise denemelere başlamıştır. İlk deneme, 4200 ton %1,14 nikel içeren cevherin kırılması ve çok katlı plastik taban üzerinde asit çözündürmesi işlemi ile başlamıştır. 16 haftanın sonunda yığındaki nikelin yaklaşık %25'i çözeltiye geçmiştir. Süzülme oranının yüksek olması ve nikelin rafine edilmesi için gerekli olan çözeltideki minimum nikel miktarının aşılması üzerine ikinci ve üçüncü yığınların oluşturulması kararlaştırılmıştır. Birinci yığının başarısı sonucu 9000 tonluk ikinci yığın işleme konmuştur. 8 metre yüksekliğindeki 14.000 tonluk üçüncü yığının yapımı devam etmektedir.

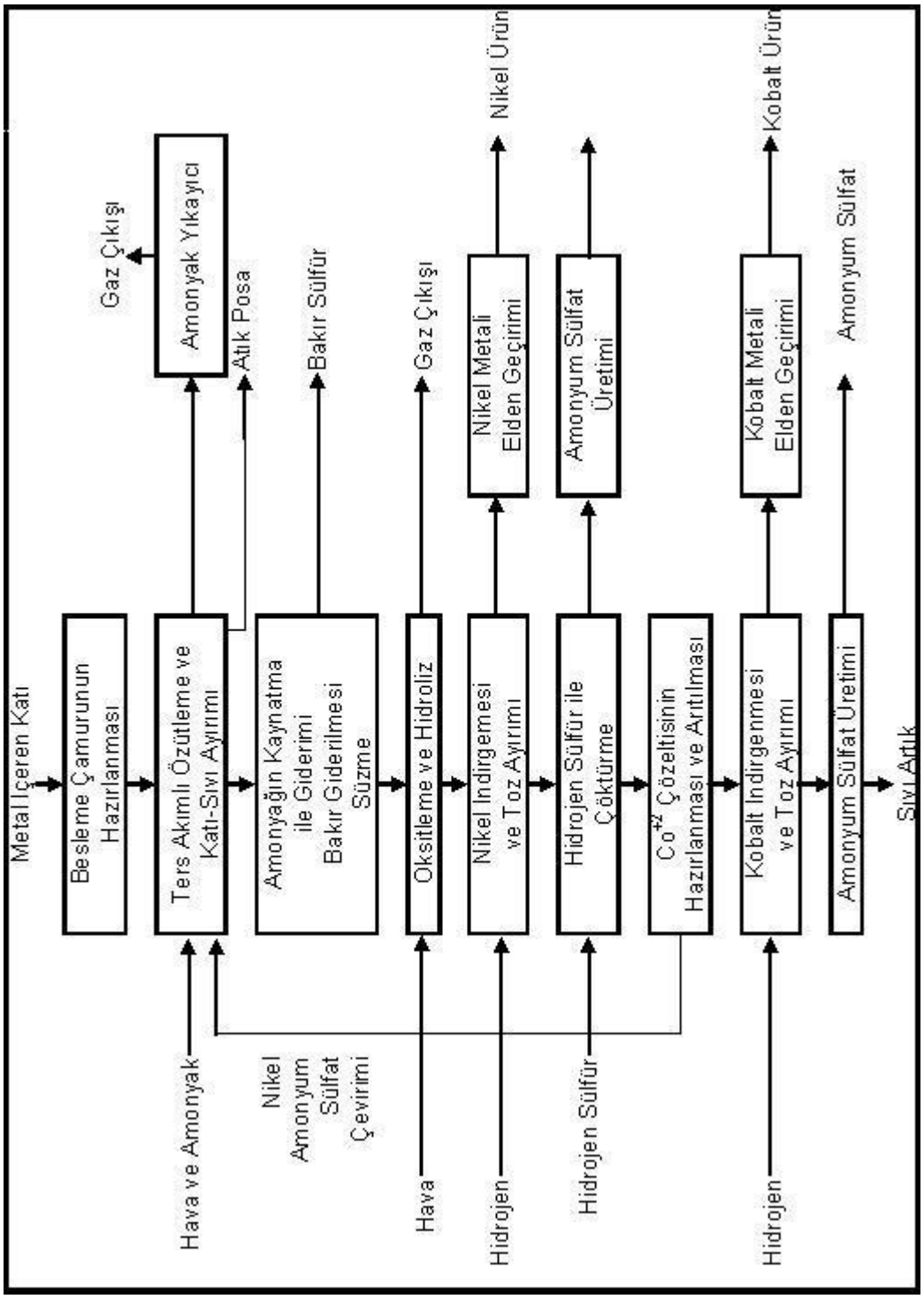
Tesiste üretilecek olan nikel/kobalt hidroksit nikelin rafine edilmek üzere Avustralya, Avrupa ve Çin'deki rafinerilere gönderileceği belirtilmektedir.

2007'de faaliyete geçecek olan madenin planlanan yıllık nikel üretimi 15.000ton/yıl'dır [10].

2.4.4 Sherrit Gordon Ltd., Fort Saskatchewan, Alberta, Kanada

Sherrit Gordon Ltd. tarafından yaklaşık olarak 13% Ni ve 0,3% Co içeren ince öğütülmüş sülfürlü mineraller konsantresine uygulanan süreç özetle şöyledir:

Konsantre oksijen varlığında amonyak çözeltisi ile özütlenir. Çözeltide nikel-amonyak karmaşık iyonları- bunlara aminler denilmektedir- ile kükürt oksiasitleri oluşur. Amonyağın fazlasının damıtılmasından sonra gerçekleştirilen daha ileri oksitleme ve hidroliz, kükürt içeren türlerin tümünün sülfat anyonuna dönüşmesini sağlar ve katışık metaller bundan sonra giderilir. Serbest amonyağın nikel artı kobalta oranı 2'ye 1 olarak ayarlanır ve nikel, indirgeme aracı olarak hidrojen gazının kullanılması ile, toz halinde çöktürülür. Çözeltide artakalan nikel ve kobalt, hidrojen sülfür kullanılarak çöktürülürken çözeltide bulunan amonyum sülfat ise satılmak üzere kazanılır. Nikel ve kobalt sülfürler sülfürik asitte çözülür ve üç değerlikli kobaltın amonyak karmaşıkları oluşturması ile bu iki metal birbirlerinden ayrılır. Kobalt iki değerlikli duruma indirgenir ve hidrojen gazı ile metal halinde çöktürülür. Bu sürece ilişkin akım şeması Şekil 2.3'te verilmektedir.



Şekil 2.3: Sülfürlü cevherlerden nikel ve kobalt metallerinin üretimi için Sherritt Gordon sürecinin akış şeması

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Amaç

Bursa Orhaneli nikel yatakları Türkiye'nin ikinci büyük nikel rezervine sahip yataklarıdır. Bu yatağın ülke ekonomisine katkısının sağlanması ve ülkemizin nikel cevheri ve ürünleri konusunda dışa bağımlılığının azalabilmesi için çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu tez kapsamında cevherin fiziksel ve kimyasal zenginleştirme yöntemleriyle kazanılabilirliği incelenmiştir.

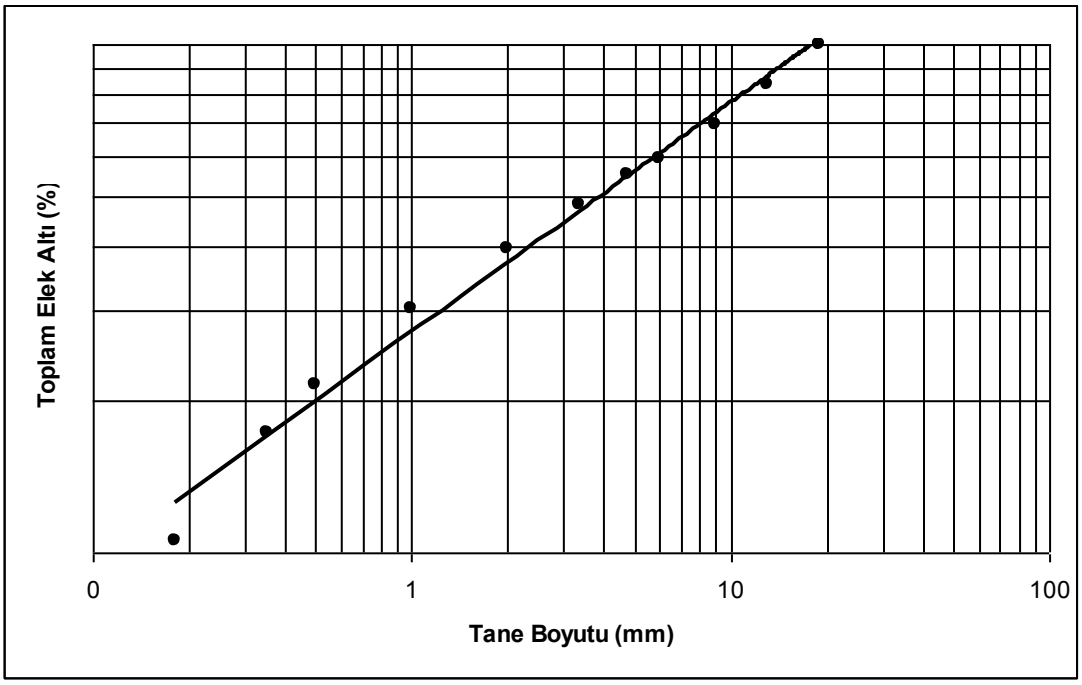
3.2 Malzeme

3.2.1 Numunenin Fiziksel Özellikleri

Tez çalışmaları için kullanılan ve maksimum parça boyutu 50 mm civarında olan tuvenan numuneden hazırlanmış temsili numune kademeli olarak 19 mm altına indirilerek elek analizi yapılmış ve boyut dağılımı belirlenmiştir. Tamamı 19 mm altına indirilmiş numuneye ait boyut dağılım sonuçları Tablo 3.1'de, boyut dağılım eğrisi ise Şekil 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Tamamı 19mm'nin Altına İndirilmiş Cevherin Boyut Dağılımı

Tane Boyutu (mm)	Miktar (%)	Toplam Elek Üstü (%)	Toplam Elek Altı (%)
-19,0 + 13,0	16,3	16,3	100
-13,0 + 9,00	14,4	30,7	83,7
-9,00 + 6,00	9,9	40,6	69,3
-6,00 + 4,75	3,8	44,4	59,4
-4,75 + 3,35	7	51,4	55,6
-3,35 + 2,00	8,8	60,2	48,6
-2,00 + 1,00	9,6	69,8	39,8
-1,00 + 0,50	8,8	78,6	30,2
-0,50 + 0,35	4,1	82,7	21,4
-0,35 + 0,18	6,7	89,4	17,3
-0,18	10,6	100	10,6
TOPLAM	**100,0**		



Şekil 3.1 Tamamı 19 mm Altına İndirilmiş Cevherin Boyut Dağılım Eğrisi

3.2.2 Numunenin Kimyasal Özellikleri

Temsili numuneye uygulanan kimyasal analiz sonucu Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Tuvenan Cevherin Kimyasal Analizi

Ni	0,96%	**CaO**	3,75%
Co	0,06%	**Na_2O**	4,91%
Cu	0,12%	**K_2O**	0,21%
SiO_2	37,5%	**Al_2O_3**	2,72%
Fe_2O_3	20,87%	**KK**	10,2%

3.2.3 Numunenin Minerolojik Özelikleri

Tez kapsamında bölgeden alınan numune üzerinde detaylı bir mineralojik inceleme yapılamamıştır. Ancak bu cevherler üzerinde 1993 yılında İTÜ Maden Fakültesi, Genel Jeoloji Anabilim Dalında tamamlanan bir doktora çalışması kapsamında bölge cevherleşmesi kapsamlı olarak incelenmiştir [3]. Bu çalışma kapsamında yapılan çok sayıdaki parlak kesitlerin mikroskopla incelenmesi sonucu; manyetit ve kromitin en yaygın mineraller olduğu saptanmıştır. Daha az oranda pirit, kalkopirit ve pirotin görülmüştür. Pentlandit, hevzlavudit, millerit, avaruit, makinevit ve pentlandit'in

dönüşüm ürünü olan viyolarit, incelenen kesitlerde tanımlanan başlıca nikel sülfür mineralleri olmuştur. Bu minerallerin yanı sıra eser miktarda asbolan, kubanit, sfalerit, molibdenit, titanit, ilmenomanyetit ve rutil saptanmıştır.

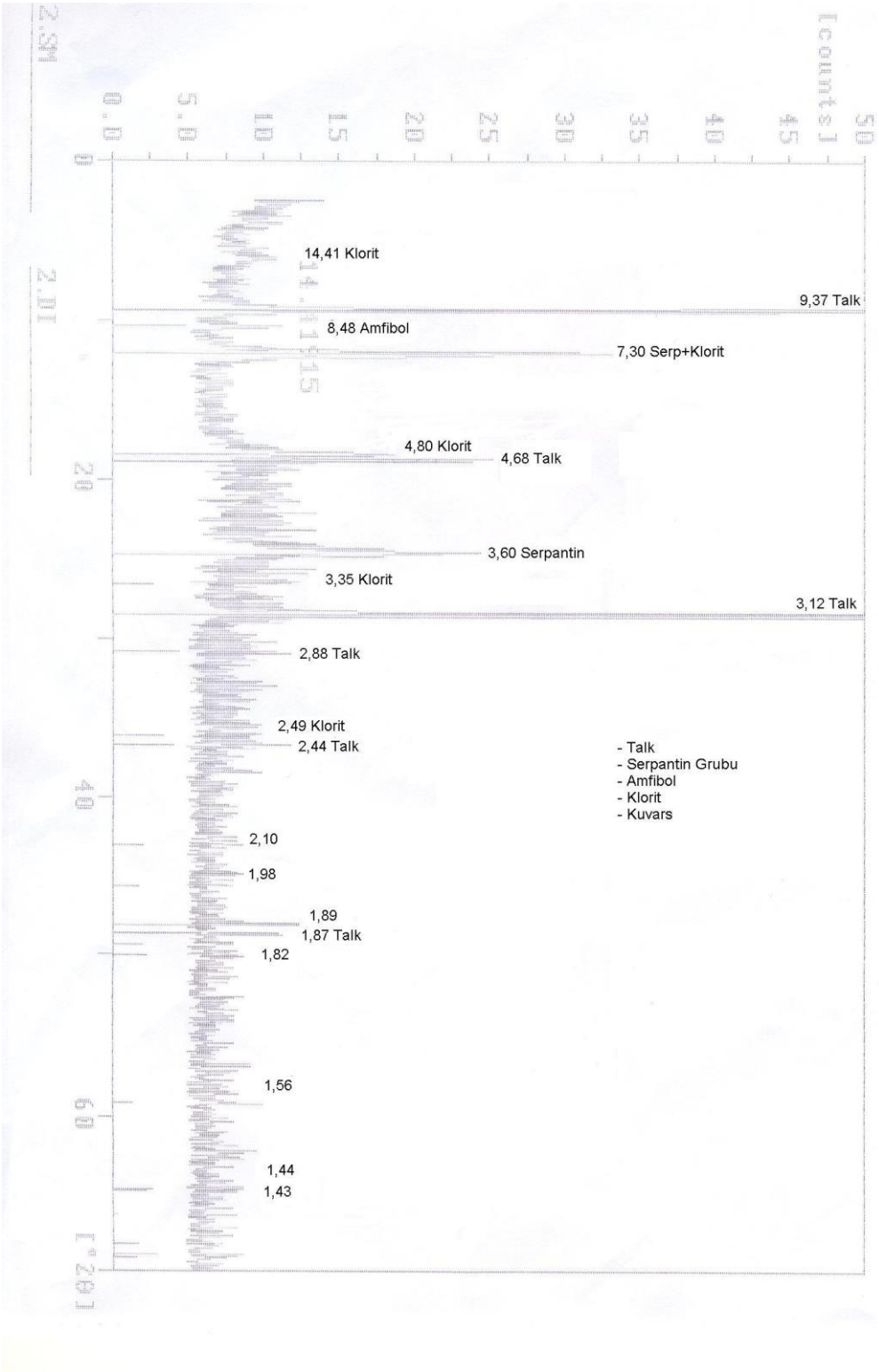
Yüzeysel ayrışmayla oluşan ve mikroskopta tanımlanan başlıca ikincil mineraller; Kromitin ayrışmasıyla oluşmuş manyetit, manyetittrn dönüşen makhemit ve hematit, pentlanditten dönüşen viyolarit, kalkopiritten dönüşen malakit, azurit, tenörit, küprit, kovelin, kalkozin ve bornit, manyetit, pirotin, pirit ve kalkopiritin ayrışmasıyla meydana gelen limonit ve götittir. Birincil ve ikincil cevher minerallerine eşlik eden gang mineralleri ise olivin, piroksen, hornblend, serpantin grubu mineraller, talk, manyezit, kalsit, klorit, eser miktarda fuksit ve kuvarstır [3].

İlgili doktora çalışmaları kapsamında; ayrıca sahada çok kısa mesafelerde sülfürlü ve oksitli yapılarda büyük değişimler olduğu da belirtilmektedir. Nitekim tezimize konu alınmış örneğin ön mineralojik incelemesinde hemen hemen sülfürlü bir minerale rastlanmamıştır. Ayrıca asbolan türü bir yapının da olmadığı cevherleşmede, ön tespitlere göre nikelin klorit tipi mika yapısı içinde olduğu belirlemesi yapılmıştır [11].

Deneysel çalışmalara temel teşkil eden temsili bir örnek üzerinde mineralojik yapıyı belirlemek üzere XRD analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.2'de verilmektedir. Bu değerlendirmeye göre; cevher yapısında bağımsız bir nikel minerali görülmemekte, ancak nikel'in ağırlıklı olarak klorit tipi mika içerisinde olduğu tespit düşünülmektedir.

3.3. Fiziksel ve Fizikokimyasal Zenginleştirme Deneyleri

Cevheri oluşturan mineralojik yapının tam olarak saptanamamış olması, binoküler mikroskopta yapılan incelemelerde gerek sülfürlü ve gerekse oksitli nikel minerali oluşumlarının tam kestirilememesi nedeniyle, gravite esaslı yüzdürme/batırma testleri ve sarsıntılı masa deneyi ile ayrıca yüzdürme/batırma deneyi ürünleri üzerinde el magneti kullanılarak manyetik ayırma testleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların dışında ayrıca, cevher yapısında bulunma olasılığı olan sülfürlü minerallerin zenginleştirilmesi amacıyla da flotasyon deneyleri yapılmıştır.



Şekil 3.2 Tuvenan Numuneye Uygulanan XRD Analizi Sonuçları

3.3.1. Yüzdürme Batırma Deneyi

Yoğunluk farkına göre bir ayırmanın olanaklı olup olmadığını belirleyebilmek üzere yoğunluğu 2.89g/cm³ olan bromoform kullanılarak yüzdürme batırma deneyleri yapılmıştır. Tamamı -0,5mm altına kırılan malzeme; -0,5+0,2 mm, -0,2+0,038 mm ve -0,038 mm olmak üzere 3 boyut grubuna ayrılmıştır. -0,5+0,2 mm ve -0,2+0,038 mm boyut grupları yüzdürme batırma deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda ayırma yoğunluğundan ağır olan ürünler, el mıknatısı yardımıyla manyetik ve manyetik olmayan ürünlere ayrılmış ve her bir üründe nikel analizi yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu grupta yapılan deney sonuçları Tablo 3.3'te sunulmuştur.

Tablo 3.3 Yüzdürme/Batırma + Manyetik Ayırma Deneyi Sonuçları

Boyut -mm-	**Ürünler**		**Miktar %**	**Nikel**	
				%	**Verim %**
-0,5+0,2	Batan	Manyetik Olmayan	6,28	0,56	3,42
		Manyetik	3,66	1,55	5,52
	Yüzen		30,22	1,13	33,27
	Beslenen		**40,16**	**1,08**	**42,21**
-0,2+0,038	Batan	Manyetik Olmayan	3,43	0,54	1,80
		Manyetik	2,02	1,06	2,09
	Yüzen		28,26	1,07	29,45
	Beslenen		**33,71**	**1,02**	**33,34**
-0,038			26.13	0,96	24,45
T O P L A M			**100,00**	**1,03**	**100,00**

Yüzdürme/batırma ve sonrasında ağır ürünlere uygulanan el magneti ile manyetik ayırma sonuçlarına bakıldığında gerek ağır ürünlerde ve gerekse manyetik ve manyetik olmayan ürünlerde nikel açısından önemli oranda bir zenginleşmenin olmadığı görülmektedir.

3.3.2. Manyetik Ayırma Deneyi

Cevheri oluşturan minerallerin farklı manyetik duyarlılıklarda dağılımını görmek amacıyla Franz Manyetik Ayırıcı'yla bir deney yapılmıştır. Tamamı 0,1mm altına kırılarak 0,038 mm boyutu ayrılmış numune ile farklı akım şiddetleri ve temas açıları

kullanılarak farklı manyetik duyarlılıkta dört ayrı ürün alınmıştır. Manyetik üründen manyetik olmayan ürüne doğru kodlanan ürünlerin kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.4'de verilmektedir. Manyetik olmayan ürünün nikel içeriğinin diğer ürünlere göre düşük olmasına rağmen kayda değer bir zenginleşme görülmemektedir.

Tablo 3.4 Franz Manyetik Ayırma Deneyi Sonuçları

Ürünler	**Miktar %**	**Nikel**	
		%	**Verim %**
Yüksek Manyetik	6,76	1,03	7,2
Manyetik	3,52	1,07	3,9
Az Manyetik	59,43	1,06	65,3
Manyetik Olmayan	30,29	0,75	23,6
TOPLAM	**100,00**	**0,96**	**100,0**

Yüzdürme/batırma hafif ürünlerinde nikel açısından kısmi bir artış olması nedeniyle, olası nikel mineralinin mika yapısında olması ve şekil faktörü ile bir zenginleşme olup olmadığını görebilmek amacıyla sarsıntılı masa ile bir deney yapılmasına karar verilmiştir.

3.3.3. Sarsıntılı Masa Deneyi

Temsili bir numunenin sarsıntılı masada zenginleştirilmesi amacıyla yaklaşık 12 kg numune 0,5 mm altına geçecek şekilde kırılmış, -0,5+0,2 mm, ve -0,2+0,038 mm boyut gruplarına sınıflandırılarak sarsıntılı masa deneyleri yapılmıştır. Masa deneylerinden elde edilen ürünlere ait nikel içerik ve verimleri Tablo 3.5'de verilmiştir.

Sarsıntılı masada ağır ürün olarak alınan konsantrelerin nikel içeriğinin bir miktar düşmesine karşın, oransal olarak fazla miktarlarda olmadığı görülmektedir. Bu sonuçlara bakarak özgül ağırlık farkına göre ayırma yöntemiyle de bir zenginleşmenin mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 3.5 Sarsıntılı Masa Deneyi Sonuçları

Boyut -mm-	Ürünler	Miktar (%)	Nikel	
			%	Verim %
-0,5+0,2	Konsantre	1,21	0,33	0,4
	Ara ürün 2	11,83	0,87	10,6
	Ara ürün 1	17,93	1,07	19,8
	Artık	12,60	1,10	14,3
	Beslenen	**43,57**	**1,00**	**45,1**
-0,2+0,038	Konsantre	1,29	0,31	0,4
	Ara ürün 3	2,22	0,77	1,8
	Ara ürün 2	6,80	0,92	6,5
	Ara ürün 1	7,07	0,98	7,2
	Artık	12,90	0,98	13,1
	Beslenen	**30,28**	**0,93**	**29,0**
-0,038mm		26,15	0,96	25,9
T O P L A M		**100,00**	**0,967**	**100,0**

3.3.4. Flotasyon Deneyleri

Bursa Orhaneli yöresinden alınmış numunede sülfürlü bir mineral yapısı izlenmemektedir. Ancak cevheri oluşturan mineraller içinde nikel taşıması olasılığı olan bazı mika minerallerinin bir oksit flotasyonu ile zenginleştirilebilme özelliğini görmek amacıyla, 50 mikron altına öğütülmüş malzeme ile sülfonatların kullanıldığı bir deney gerçekleştirilmiştir. pH 3,5 dolayında kollektör olarak sülfonat tipi R840 toplayıcı reaktif kullanılarak yapılan deneyden alınan ürünler mikroskopta incelenmiş, kayda değer bir zenginleşme olmadığı öngörülerek deney numunelerinin değerlendirmesi yapılmamıştır.

3.4. Kimyasal Zenginleştirme Deneyleri

Gerek fiziksel ve gerekse fizikokimyasal zenginleştirme alternatiflerinin yanıt vermemesi nedeniyle, cevherin çözündürme ile zenginleştirilmesi seçeneği için ön deneyler yapılarak, sistematik çözündürme deneyleri için bir yaklaşım sağlanmaya çalışılmıştır.

Çözündürme etkinliğini görebilmek amacıyla oldukça ince boyuta öğütülmüş, ve çözünmede sıcaklık etkisinin olabildiğince arttırılması amacıyla 90 ^{o}C'da, üç farklı asit konsantrasyonunda bir grup ön deney yapılmıştır. Aşağıda verilen sabit koşullarda gerçekleştirilen çözündürme deneylerinden elde edilen nikel çözünme verimleri Tablo 3.6'da verilmiştir.

- Tane boyutu : -38 mikron
- Sıcaklık : 90°C
- Katı/Sıvı Oranı : 1/10
- Malzeme Miktarı : 25 g
- Çöüzündürme Süresi : 2 saat
- Karıştırma Hızı : 600 devir/dakika
- Asit Cinsi : H_2SO_4

Tablo 3.6 Yoğunlaştırılmış Koşullarda Elde Edilen Nikel Çözünme Verimleri

Asit konsantrasyonu –g/L-	40	80	160
Nikel çözünme verimi -%-	30	55	84,6

Yüksek asit konsantrasyonlarında; önemli oranlarda nikel çözünürlüğünün gerçekleştirildiği görülmüş, bu bilgilerin ışığında optimum koşulların belirlenmesi amacıyla sistematik çözündürme parametreleri seçilerek nihai deneyler yapılmıştır.

Tuvenan cevherin sülfürik asitle karıştırmalı liçe pozitif yönde tepki vermesi üzerine çeşitli parametrelerin değiştirilmesi ile en uygun liç koşullarının bulunmasına yönelik deneyler yapılmıştır. Optimum çözündürme koşullarının belirlenmesine yönelik deneylerde, tane boyutu, asit konsantrasyonu, çözündürme süresi ve ortam sıcaklığı değişken parametreler olarak alınmıştır. Çözündürme deneylerinde, nikel çözünürlüğünün yanı sıra, cevher yapısında bulunan kobalt'ın da çözünme davranışı izlenmiştir. Optimum çözündürme koşullarının belirlenmesini takiben ayrıca çözünme kinetiğini değerledirmeye yönelik hesaplamalar yapılarak, çözünme karakteristiği belirlenmiştir.

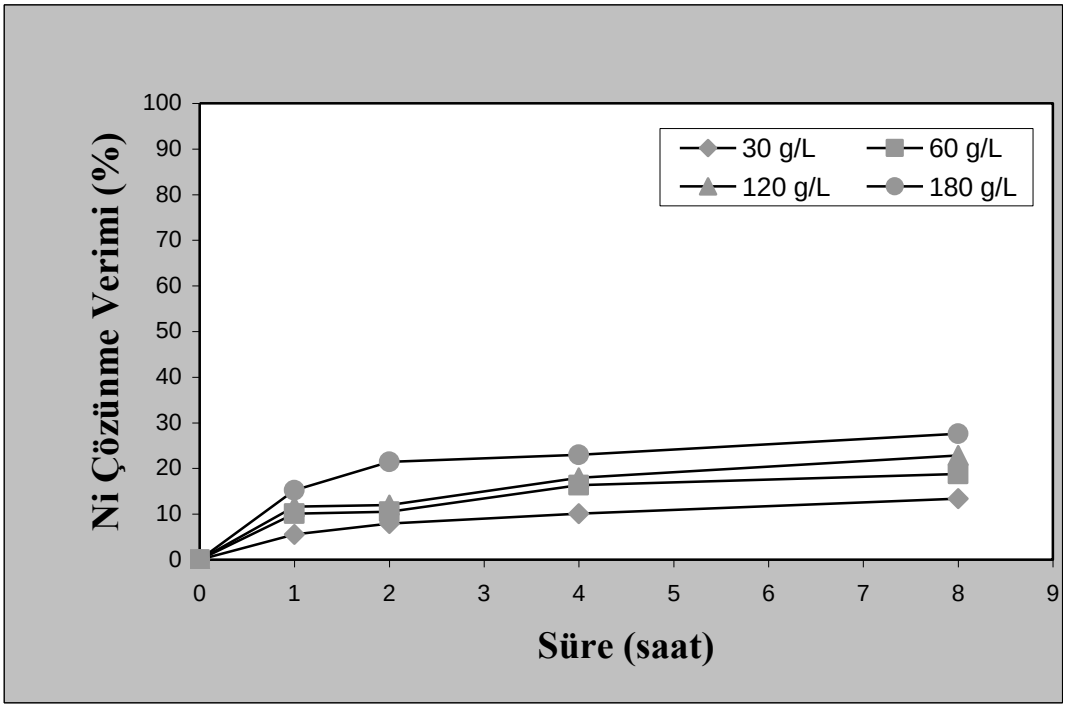
3.4.1. Oda Sıcaklığında Yapılan Çözündürme Deneyleri

Aşağıda verilen koşullar sabit tutularak, 4 farklı asit konsantrasyonu ve 4 farklı çözündürme süresinde, oda sıcaklığında çözündürme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen nikel ve kobalt çözünme verimleri ile deneylerde tüketilen asit miktarları Tablo 3.7'de; süre ve asit konsantrasyonu ile çözünme verimlerindeki değişimler ise Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de verilmektedir.

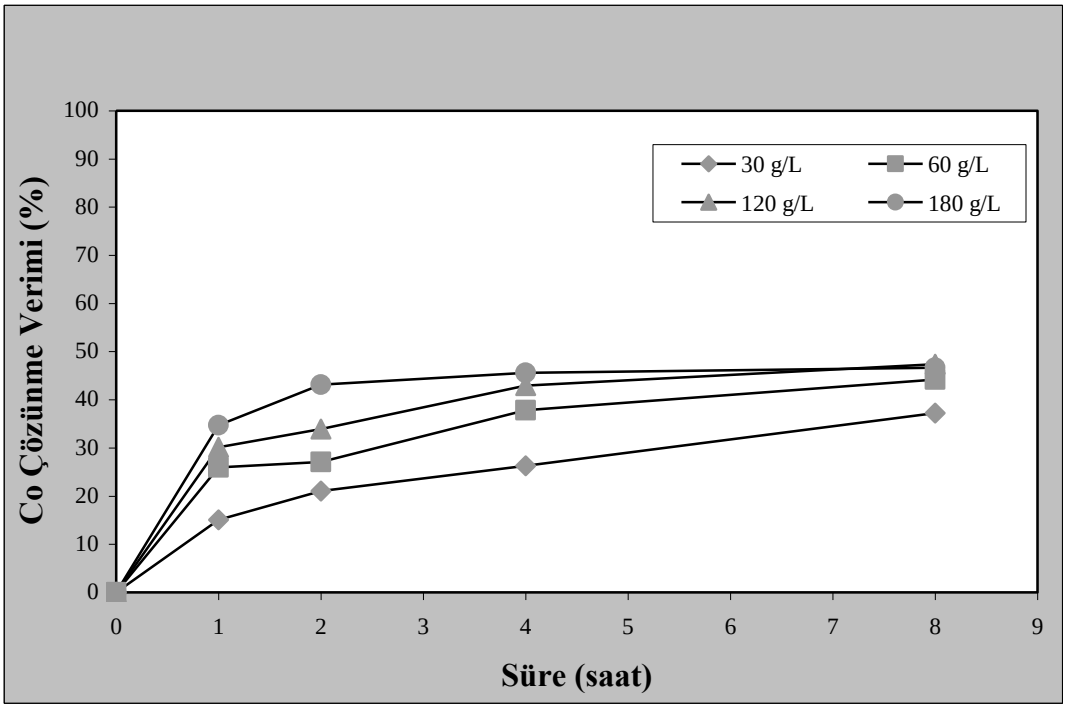
- Tane boyutu : -100 mikron
- Katı/Sıvı Oranı : 1/10
- Malzeme Miktarı : 25 g
- Asit Cinsi : H_2SO_4
- Karıştırma Hızı : 600 devir/dakika

Tablo 3.7 Oda sıcaklığında Nikel-Kobalt Çözünme Verimleri ve Asit Tüketimleri

Süre-Saat ⇒ / **Asit konsantrasyonu g/L ⇓**		**1**	**2**	**4**	**8**
30	**Ni %**	5,5	7,9	10,1	13,4
	Co %	15,0	21,0	26,3	37,2
	Asit Tük.(Kg/t)	41,2	41,2	51,2	78,4
60	**Ni %**	10,1	10,5	16,3	18,8
	Co %	25,9	27,1	37,8	44,2
	Asit Tük.(Kg/t)	42,0	41,2	70,4	90,0
120	**Ni %**	11,6	12,0	17,9	22,8
	Co %	30,1	33,9	42,9	47,4
	Asit Tük.(Kg/t)	244,4	244,4	277,3	304,6
180	**Ni %**	15,2	21,4	23,0	27,6
	Co %	34,7	43,1	45,6	46,6
	Asit Tük.(Kg/t)	383,1	391,5	399,6	392,8



Şekil 3.3 Oda Sıcaklığında Yapılan Deneylerde Ni Çözünme Verimi Değişimi



Şekil 3.4 Oda Sıcaklığında Yapılan Deneylerde Co Çözünme Verimi Değişimi

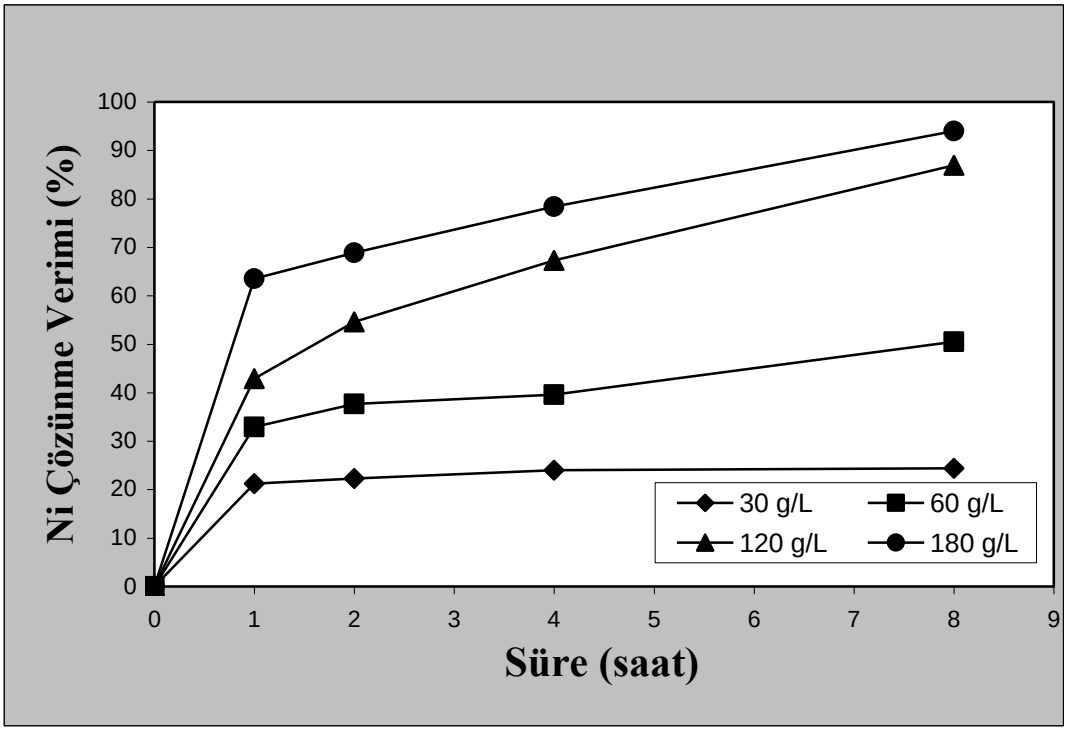
3.4.2. 60 ^{o}C'de Yapılan Çözündürme Deneyleri

Aşağıda verilen koşullar sabit tutularak, 4 farklı asit konsantrasyonu ve 4 farklı çözündürme süresinde, 60 ^{o}C'da çözündürme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen nikel ve kobalt çözünme verimleri ile deneylerde tüketilen asit miktarları Tablo 3.8'de; süre ve asit konsantrasyonu ile çözünme verimlerindeki değişimler ise Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de verilmektedir.

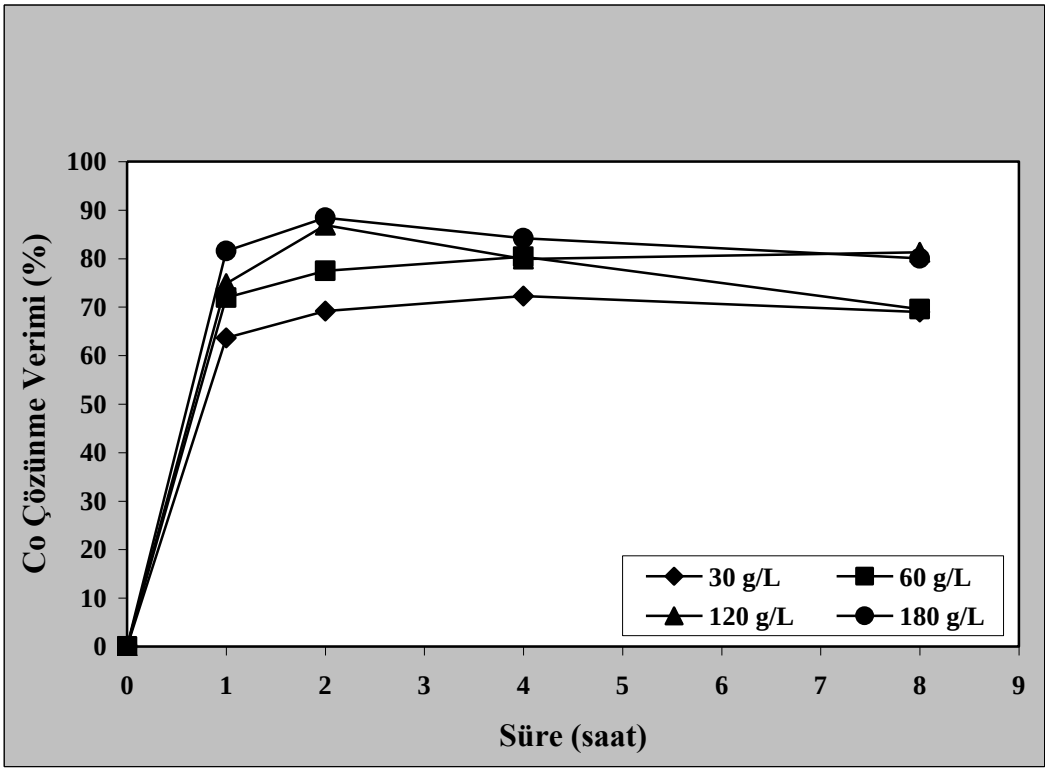
- Tane boyutu : -100 mikron
- Katı/Sıvı Oranı : 1/10
- Malzeme Miktarı : 25 g
- Asit Cinsi : H_2SO_4
- Karıştırma Hızı : 600 devir/dakika

Tablo 3.8 60° C'de Nikel-Kobalt Çözünme Verimleri ve Asit Tüketimleri

Süre-Saat ⇒ / **Asit konsantrasyonu g/L ⇓**		**1**	**2**	**4**	**8**
30	**Ni %**	21,2	22,3	24,0	24,4
	Co %	63,7	69,2	72,2	69,0
	Asit Tük.(Kg/t)	182,4	206,0	221,6	241,2
60	**Ni %**	32,9	37,7	39,6	50,5
	Co %	71,9	77,4	80,4	69,6
	Asit Tük.(Kg/t)	247,2	147,2	341,2	400,0
120	**Ni %**	42,9	54,6	67,3	86,9
	Co %	74,9	79,0	79,9	81,3
	Asit Tük.(Kg/t)	450,4	549,2	541,1	623,4
180	**Ni %**	63,5	68,9	78,4	94,0
	Co %	81,6	84,4	88,2	90,0
	Asit Tük.(Kg/t)	663,3	654,9	687,8	811,5



Şekil 3.5 60°C 'de Yapılan Deneylerde Ni Çözünme Verimi Değişimi



Şekil 3.6 60°C 'de Yapılan Deneylerde Co Çözünme Verimi Değişimi

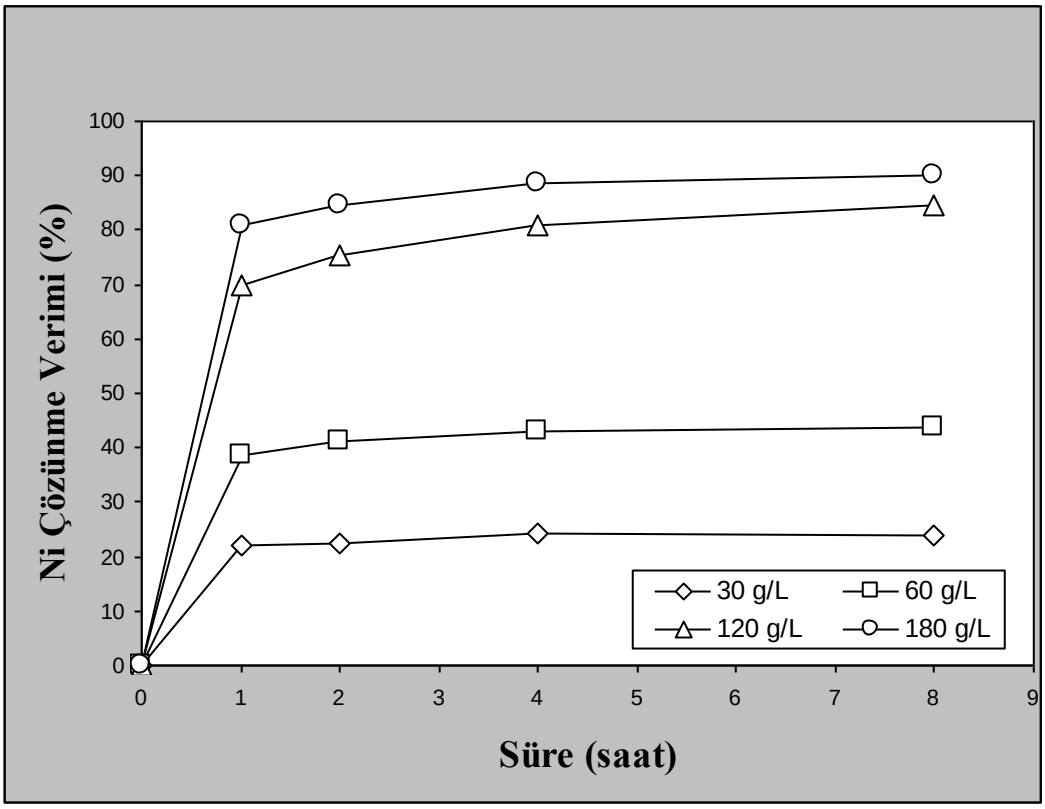
3.4.3. 90 ^{o}C'de Yapılan Çözündürme Deneyleri

Aşağıda verilen koşullar sabit tutularak, 4 farklı asit konsantrasyonu ve 4 farklı çözündürme süresinde, 90 ^{o}C'da çözündürme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen nikel ve kobalt çözünme verimleri ile deneylerde tüketilen asit miktarları Tablo 3.9'da; süre ve asit konsantrasyonu ile çözünme verimlerindeki değişimler ise Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmektedir.

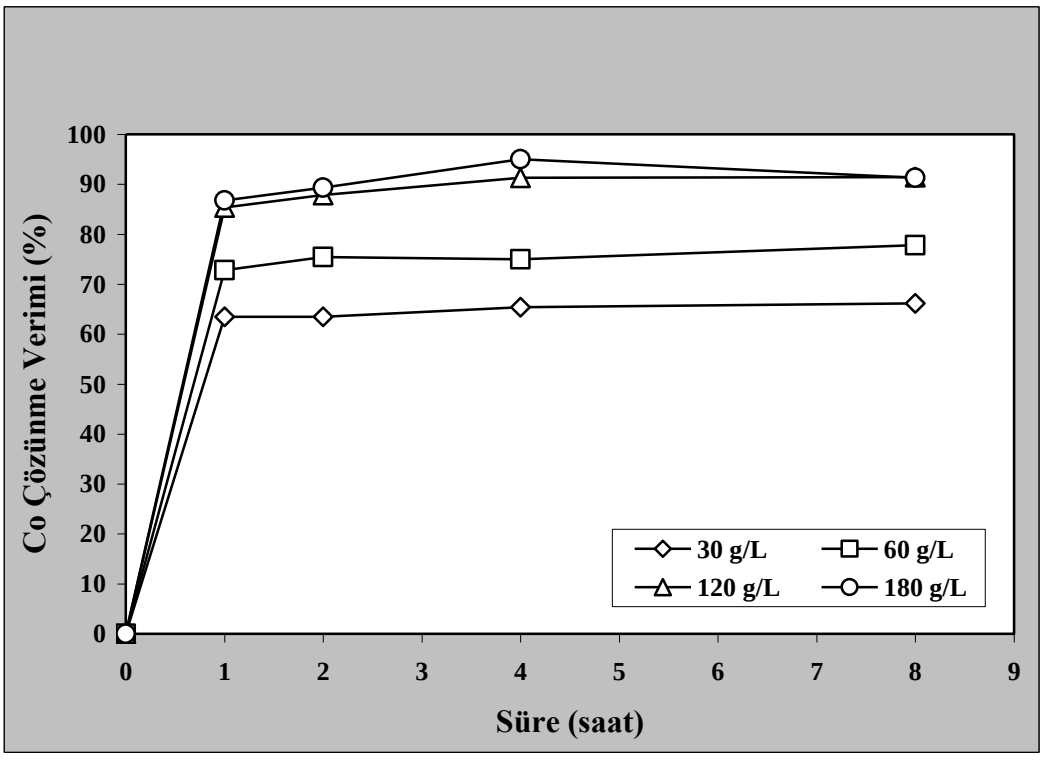
- Tane boyutu : -100 mikron
- Katı/Sıvı Oranı : 1/10
- Malzeme Miktarı : 25 g
- Asit Cinsi : H_2SO_4
- Karıştırma Hızı : 600 devir/dakika

Tablo 3.9 90° C'de Nikel-Kobalt Çözünme Verimleri ve Asit Tüketimleri

Süre-Saat ⇒ / **Asit konsantrasyonu g/L ⇓**		**1**	**2**	**4**	**8**
30	**Ni %**	22,0	22,3	24,1	23,9
	Co %	63,4	63,5	65,4	66,2
	Asit Tük.(Kg/t)	225,6	239,2	247,2	274,8
60	**Ni %**	38,5	41,3	43,1	43,6
	Co %	72,8	75,5	75,0	77,8
	Asit Tük.(Kg/t)	380,4	414,0	419,6	431,6
120	**Ni %**	69,8	75,2	80,9	84,6
	Co %	85,3	87,8	91,3	91,4
	Asit Tük.(Kg/t)	607,0	615,4	598,9	639,9
180	**Ni %**	80,8	84,5	88,5	89,9
	Co %	86,7	89,3	91,3	95,0
	Asit Tük.(Kg/t)	729,2	811,5	778,6	844,4

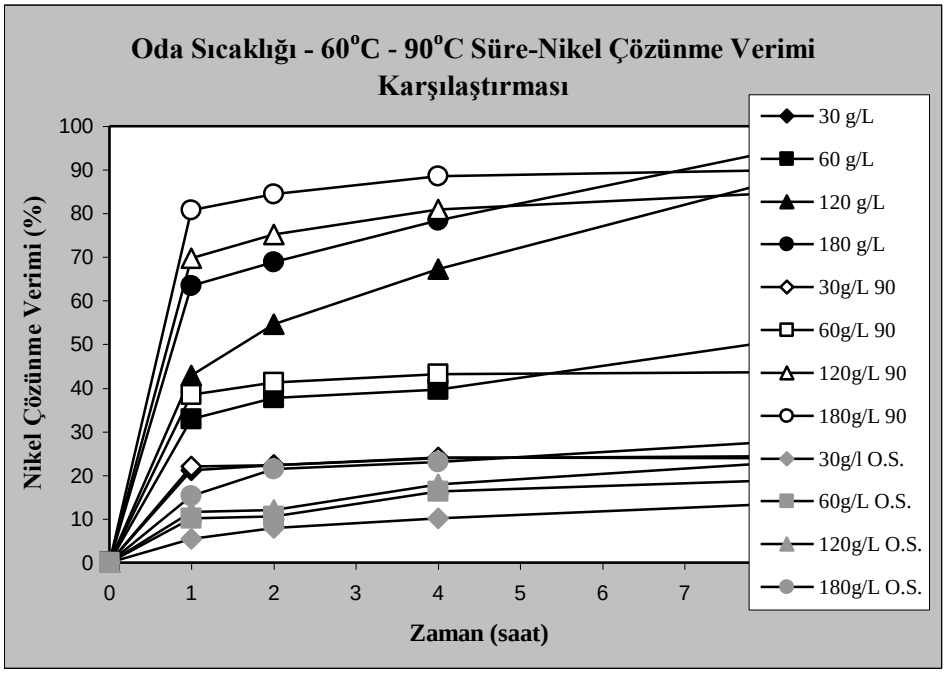


Şekil 3.7 90°C 'de Yapılan Deneylerde Ni Çözünme Verimi Değişimi

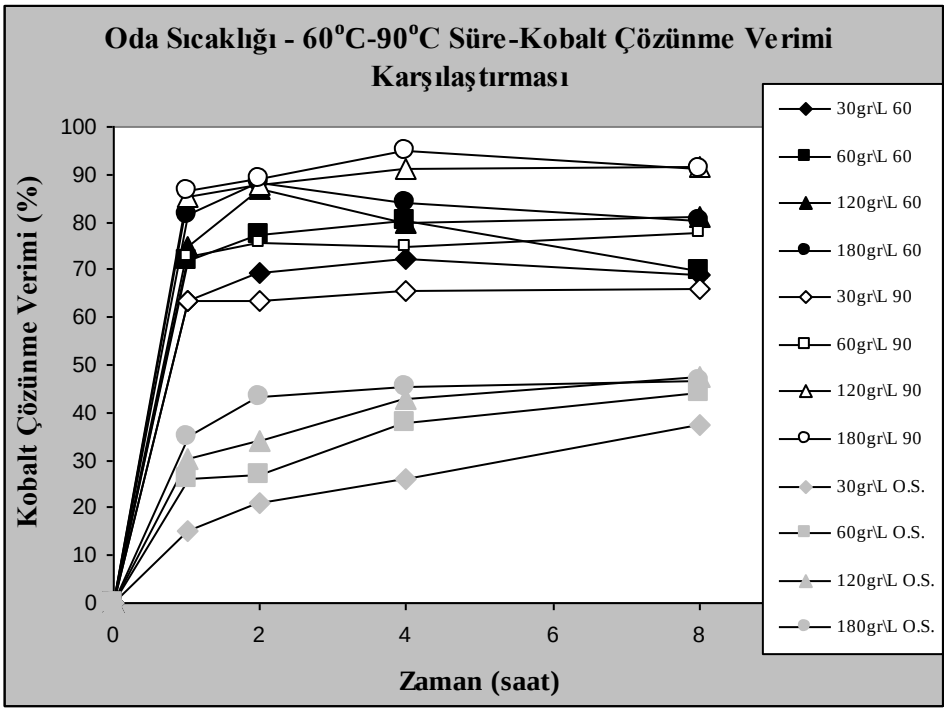


Şekil 3.8 90°C 'de Yapılan Deneylerde Co Çözünme Verimi Değişimi

Değişik sıcaklıklarda, dört farklı asit konsantrasyonu ve çözünme süresinde elde edilen nikel ve kobalt çözünürlük verimlerinin birarada değerlendirilmesi Şekil 3.7 ve 3.8'de toplu olarak verilmektedir.



Şekil 3.9 Farklı Sıcaklıklarda Süre– Ni Çözünme Verimi Karşılaştırması



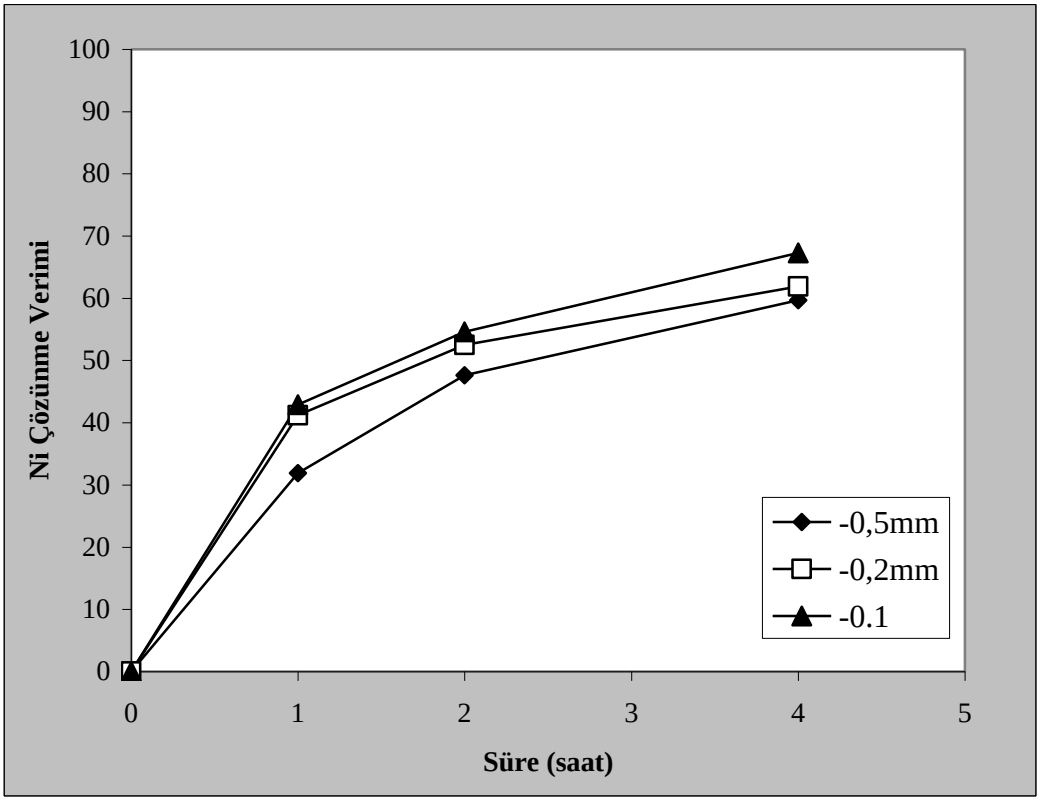
Şekil 3.10 Farklı Sıcaklıklarda Süre– Co Çözünme Verimi Karşılaştırması

3.5. Farklı Boyutlarda Yapılan Çözündürme Deneyleri

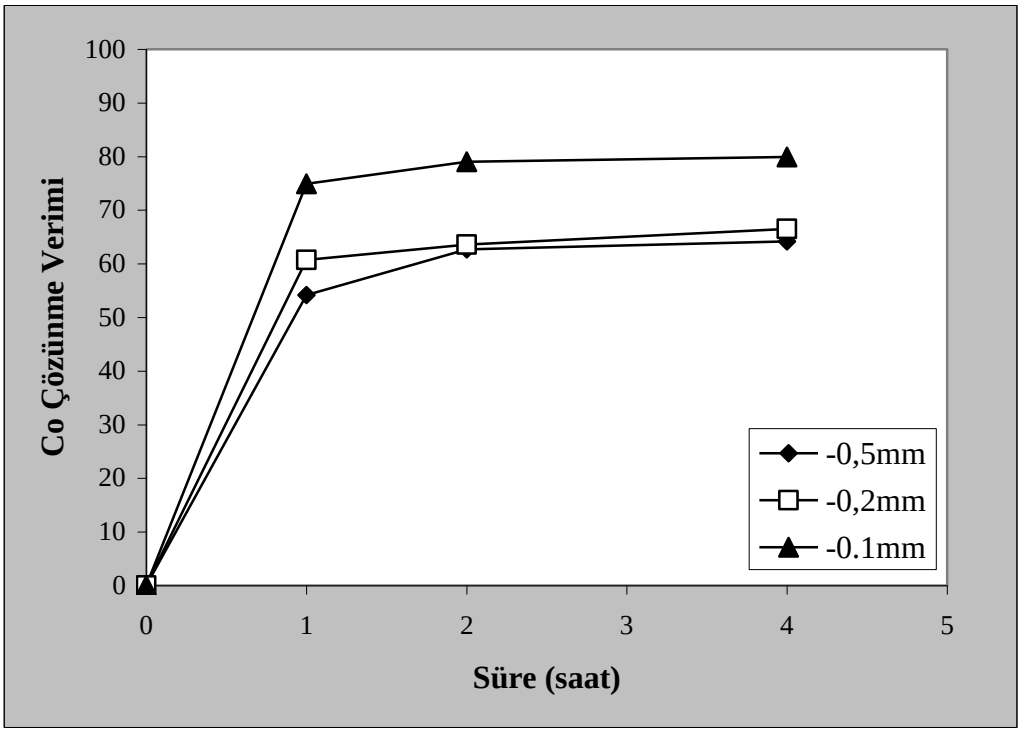
Buraya kadar gerçekleştirilen deneylerde tane boyutu 0,1 mm altı olarak sabit tutulmuştur. Farklı parametrelerin denendiği deneylerde; 60 ^{o}C ortam sıcaklığı ve 120 g/L asit konsantrasyonunun en uygun çözündürme değerlerini verdiği değerlendirmesi ile bu parametreler sabit tutularak iki farklı boyutta çözündürme deneyleri yapılmıştır. Tamamı 0,1mm, 0,2mm ve 0,5 mm boyutları altında elde edilen nikel ve kobalt çözündürme verimleri Tablo 3.10'da; nikel ve kobalt çözündürme verimlerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 3.11 ve 3.12'de verilmektedir.

Tablo 3.10 Farklı Tane Boyutlarında Nikel ve Kobalt Çözünme Verimleri

Boyut -mm-	**Asit kons. g/L ⇒**	**120**		
	Süre-saat- ⇒	1	2	4
-0,5	Ni-%-	31,9	47,6	59,7
	Co-%-	54,2	62,7	64,2
-0,2	Ni-%-	41,2	52,5	61,9
	Co-%-	60,7	63,6	66,5
-0,1	Ni-%-	42,9	54,6	67,3
	Co-%-	74,9	79,0	79,9



Şekil 3.11 Farklı Tane Boyutlarında Yapılan Çözündürme Deneylerinde Süre-Ni Çözünme Verimi Karşılaştırması



Şekil 3.12 Farklı Tane Boyutlarında Yapılan Çözündürme Deneylerinde Süre-Co Çözünme Verimi Karşılaştırması

4. SONUÇLAR

Tez kapsamında; Bursa Orhaneli yöresinden alınmış temsili nikel cevher numunesi üzerinde zenginleştirme olanaklarının araştırılması amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Fiziksel ve fizikokimyasal zenginleştirme yöntemlerinin yanıt vermemesi üzerine cevhere yoğunlaştırılmış (yüksek asit konsantrasyonu ve yüksek sıcaklıkta) parametrelerde ön kimyasal çözündürme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden alınan olumlu sonuçlar ışığında en uygun parametrelerin bulunması için sıcaklık, asit konsantrasyonu, çözündürme süresi ve tane boyutunun değiştirilmesiyle oluşturulan deney programı cevhere uygulanmıştır. Yapılan tüm çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- Temsili numunenin kimyasal analizi sonucu kıymetli metal içerikleri olarak; Ni içeriğinin %0,96, Co içeriğinin %0,06 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca temsili örneğin Fe_2O_3 içeriğinin %20,87; SiO_2 içeriğinin % 37,5 olduğu belirlenmiştir.
- Bölgeye ait cevherler üzerinde önceden yapılmış çalışmalardan; bölge cevherleşmesinin çok kısa mesafelerde bile büyük yapısal değişikler gösterdiği belirtilmiştir.
- Cevher yapısında nikel oluşumunu belirlemeye yönelik yapılan XRD incelemesi sonucu; doğrudan bir nikel minerali yapısına rastlanmamakla beraber, XRD piklerinde önemli büyüklüklerde, klorit, talk, amfibolit ve serpantin oluşumları saptanmıştır. Bu sonuçlara göre nikel'in büyük olasılıkla klorit tipi mika yapısı içinde olduğu değerlendirmesi yapılmıştır.
- Özgül ağırlık farkına dayalı zenginleştirme yöntemleri cevhere uygulanmış, bir nikel zenginleşmesi sağlanamamıştır.
- Cevheri oluşturan minerallerin farklı manyetik duyarlılıklarda dağılımını görmek amacıyla Franz Manyetik Ayırıcı'yla yapılan deneylerde bir nikel zenginleşmesi sağlanamamıştır.

- Nikel içeren mikaların oksit flotasyonuyla kazanılması öngörülmüş, yapılan flotasyon deneyi sonucu elde edilen ürünlerin mikroskobik incelemesinde bir nikel zenginleşmesi görülmemiştir.
- Fiziksel ve fizikokimyasal yöntemlerin sonuç vermemesi sonucu yoğunlaştırılmış parametrelerle yapılan ön kimyasal zenginleştirme deneylerinde %84,6'ye varan nikel çözünme verimleri elde edilmiştir.
- 3 farklı sıcaklık(30°C, 60°C ve 90°C), 4 farklı asit miktarı(30,60,120 ve 180g/L), 4 farklı çözündürme süresinde(1, 2, 4 ve 8 saat) ve 3 farklı tane boyutunda(-0,5mm, -0,2mm ve -0,1mm) yapılan deneylerle en uygun çözünme şartları aranmıştır.
- Cevherden nikel ve kobalt'ın en yüksek çözünme verimlerinin elde edildiği koşullar; nikel için; 60^oC sıcaklık, 180 g/L asit konsantrasyonu ve 8 saat çözündürme süresi; kobalt için ise 90^oC sıcaklık, 180 g/L asit konsantrasyonu ve 8 saat çözündürme süresi olarak saptanmıştır. Bu koşullarda nikel ve kobalt için maksimum çözünme verimleri sırasıyla % 94 ve % 95 olarak hesaplanmıştır.
- Her iki mineralin birlikte çözündüğü optimum deney koşullarında (60°C sıcaklık, 8 saat çözünme süresi ve 120g/L H_2SO_4 miktarı) ise Ni çözünme verimi %86,9 ve Co çözünme verimi %81,3 olarak elde edilmiştir.
- Nikel ve kobalt'ın çözünme kinetiğini hesaplamak üzere; Crank Ginstling Brounshtein (difüzyon kontrollü küresel şekilli taneler), kinetik modeli [$1-(2/3)\alpha-(1-\alpha)^{2/3}=k.t$] kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen reaksiyon hız sabiti ve Arhennius Eğrisi değerlerine göre nikel ve kobaltın aktivasyon enerjisi değerleri reaksiyonların difüzyon kontrollü olduğu izlenimini vermekle birlikte eğri karakteristikleri yorumlandığında bu reaksiyonların tam difüzyon kontrollü modele çok uygun olmadığı değerlendirmesi yapılmıştır. Örnek numunelerin yüksek oranda silis ve demir içeriği de kinetik model değerlendirmesinde direk yorum yapmayı zorlaştırdığı için kinetik hesaplamalarına ait sonuçlar tez kapsamında değerlendirme dışı tutulmuştur.

KAYNAKLAR

[1] Orhaneli Nikel Cevherinin Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması Projesi, 2001, İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher ve Kömür Hazırlama ve Zenginleştirme Anabilim Dalı

[2] **Temur, S.,** 2001, Metalik Maden Yatakları, Nobel Yayın, Ankara

[3] **Örgün, Y.,** 1993, Topuk Göynükbelen (Bursa Orhaneli) Yöresi Nikel Oluşumlarının Kökensel İncelenmsei, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[4] **Devlet Planlama Enstitüsü,** 2001, 8. 5 Yıllık Kalkınma Planı, Ankara

[5] Minerals Handbook, 1998-1999

[6] www.lme.com

[7] www.falconbridge.com

[8] www.rionarcea.com

[9] **Çağatay, A., Altun, Y. ve Arman, B.**, Mayıs 1981, The Mineralogy of Çaldağ (Manisa Turgutlu) Lateritic Iron-Nickel-Cobalt Deposits, MTA

[10] www.enickel.co.uk/reports.htm

[11] Dr Vecihi Gürkan ile 5.Kasım 04 Tarihinde Yapılan Görüşme

[12] www.infomine.com

[13] **Perek, K.T.**, 2003, Küre Masif Zengin Bakır Cevherinin Basınç Altında Çözündürülmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[14] **Açma, E., Arslan, F. Ve Wuth, W.**, 1993, Silver Extraction From a Refractory Type Ore by Thiourea Leaching, Hydrometalurgy 34 (1993)263-274, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam

[15] **Abdel-Aal, E.A., 1999**, Kinetics of Sulfuric Acid Leaching of Low Grade Zinc Silicate Ore, Hydrometallurgy 55 (2000)247-254, Elsevier Science Publishers B.V.

[16] **Ghosh, M.K., Das, R.P. ve Biswas, A.K.**, 2002, Oxidative Ammonia Leaching of Sphalerite Part I: Noncatalytic Kinetics, Int. J. Miner Process 66(2002)241-254, Elsevier Science Publishers B.V.

ÖZGEÇMİŞ

Barış Onur 1979 yılında İstanbul'da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladıktan sonra 1998 yılında İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne girmiştir. 2001 yılında değişim programı ile gittiği Almanya'nın Bochum kentinde Technische Fachhochschule Georg Agricola'da bir dönem boyunca eğitim almıştır. 2002 yılında Maden Mühendisi olduktan sonra İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans Programına başlamıştır. 2004 yılında yatay geçiş ile İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'ne geçmiştir. Halen Cevher Kömür Hazırlama ve Değerlendirme Anabilim Dalında yüksek lisans tez çalışmasını sürdürmektedir.