

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MANİSA-TURGUTLU-ÇALDAĞ NİKEL HAM
CEVHERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN VE
BUNLARA DAYALI
ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Meryem GÖKTAŞ

Ağustos, 2007

İZMİR

**MANİSA-TURGUTLU-ÇALDAĞ NİKEL HAM
CEVHERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN VE
BUNLARA DAYALI
ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı**

Meryem GÖKTAŞ

**Ağustos, 2007
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Meryem GÖKTAŞ, tarafından Prof. Dr. İlknur CÖCEN yönetiminde hazırlanan “MANİSA-TURGUTLU-ÇALDAĞ NİKEL HAM CEVHERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN Ve BUNLARA DAYALI ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. İlknur CÖCEN

Yönetici

Prof. Dr. Uğur İNCİ

Jüri Üyesi

Doç.Dr. Erol KAYA

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalıŐmayı yÖneten, çalıŐmalarım sırasında her zaman yardımlarını gÖrdüğüm, bilgi ve gÖrüşlerini esirgemeyen değerli hocam Sn. Prof. Dr. İlknur CÖCEN'e ve fikirlerinden yararlandığım ve mikroskobik incelemelerde yardımlarını esirgemeyen Sn. Prof. Dr. Ali Akar'a sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca çalıŐmalarım sırasında ilgilerini esirgemeyerek yardımda bulunan İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölüm Başkanlığına ve Hekimhan M.Y.O Müdürü Sn. Yrd. Doç.Dr. Murat ERDEMOĐLU ile kimyager Sn. M.Emin Solak'a içtenlikle teşekkür ederim.

Meryem GÖKTAŞ

MANİSA, TURGUTLU ÇALDAĞ NİKEL YATAĞININ YAPISAL ÖZELLİKLERİ VE ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Çaldağ Manisa-Turgutlu'nun kuzeyinde yer almaktadır. Yatak fiziksel, mineralojik ve kimyasal bileşimine göre zonlara ayrılmaktadır. Bu çalışmada, Bosphorous Madencilik A.Ş. tarafından işletilen Çaldağ Ni cevherinin zenginleştirilmesi araştırılmıştır. Önce, yatağın dört ayrı lokasyonundan örnekler alınmış, kırma ve öğütme yaparak boyut küçültülmüş, sınıflandırma ile farklı fraksiyonlarda malzeme elde edilmiştir ve jig ile zenginleştirme uygulanmıştır. Cevher çok ince tane boyutunda serbestleştiği için sallantılı masa ile zenginleştirilme uygulanmıştır. Ham cevher ve sallantılı masanın şlam ürünü bazı flotasyon kimyasalları kullanılarak direk ve ters flotasyona tabi tutulmuştur. Fakat şlam malzemesi fazla olduğundan mineral yüzeyi şlamla kaplanıp toplayıcı absorpsiyonu engellenmiş ve çok fazla reaktif tüketimine neden olmuştur.

Çaldağ Ni yatağı gang malzeme olarak Fe mineralleri içerdiğinden magnetik (manyetik) ayırım metodu denenmiş, fakat Ni'in Fe minerali tarafından sıvımalı olması nedeniyle başarılı olunamamıştır. Daha sonra cevherin fiziksel yöntemlerle ayrılmasının mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu sebeple, Çaldağ Ni cevheri sülfürik asit solisyonunda, çözündürülmüş ve kalsine cevherdeki Ni'in çözünme özelliklerini belirlemek için çözünmeye etki eden parametreler araştırılmış ve optimum liç koşulları belirlenmiştir. Yapılan seri deneylerden sonra optimum koşullar; karıştırma hızı/zaman:700 rpm/12 saat, asit konsantrasyonu: 75gr/lit, sıcaklık 80°C, tane boyutu:-1.0 mm ve çözündürücü cinsinin:H₂SO₄ olarak belirlenmiştir.

İlginç olan ,kalsinasyon sırasında sinterleşme meydana gelmesi nedeniyle ham Ni cevherini liç etmenin, kalsine cevherden daha iyi olacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar sözcükler: Lateritik Fe-Ni-Co yatağı, Jig, sallantılı masa, magnetik seperatör, flotasyon, kalsinasyon, liç,sinterleşme.

INVESTIGATION OF STRUCTURAL PROPERTIES AND ENRICHMENT OF MANISA-TURGUTLU-ÇALDAĞ NICKEL DEPOSITS

ABSTRACT

Çaldağ lateritic Fe-Ni-Co ore deposit is located at northern Tutgutlu in Manisa. The ore deposit is separated into several zones according to physical, mineralogical and chemical compositions. In this study, the enrichment of Çaldağ Ni ore, mined by Bosphorous Mining Cop. was investigated. First, the samples were collected from four different locations of the deposit, size reduced by crushing-grinding and classified to obtain different size fractions and concentration by jigging was applied. Raw material and slime product of the shaking table were subjected to direct oxid flotation and reverse flotation of Ni by using certain flotation reagents. But, excessive amount of slime material coated the mineral surface to prevent collector adsorption and required higher reagent concentration.

Since Çaldağ- Ni ore includes iron minerals as gangue material magnetic separation method was also applied, but due to coating of Ni by Fe mineral the separation was unsuccessful. Then it was concluded that, separation by physical methods was not possible for the ore. For this reason, the Çaldağ Ni ore was dissolved in sulfuric acid solution and dissolution properties of Ni was investigated in the raw and calcined ore to investigate certain dissolution parameters and to determine the optimum leaching conditions. After several sets of experiments, optimum conditions are determined as; mixing rate/time: 700 rpm/12 hours, acid concentration: 75 gr/lt, temperature: 80°C, particle size: -1.0 mm and solvent type: H₂SO₄

Interestingly, due to the formation of sintering during calcination leaching raw Ni ore yielded better results than calcined ore.

Keywords: Lateritic Fe-Ni-Co ore, jigging, shaking table, magnetic separation, flotation, calcination, leaching, sintering.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v

BÖLÜM BİR-GİRİŞ

1.1 Giriş ve Amaç	1
-------------------------	---

BÖLÜM İKİ-NİKEL HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Genel Bilgiler	2
2.1.1 Nikelin Tanımı	2
2.1.2 Nikelin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	2
2.1.3 Nikel Mineralleri	4
2.1.3.1 Garniyerit	4
2.1.3.2 Nikelli Pirit veya Pirotin grubu	4
2.1.3.2.1 Pentlandit	4
2.1.3.2.2 Milerit	5
2.1.3.2.3 Gersdorfıt	5
2.1.3.3 Nikel arsenür ve arsenio sülfürler	5
2.1.3.3.1 Nikelin	5
2.1.3.3.2 Breithauptit	6
2.1.3.3.3 Rammelsbergit	6
2.1.3.3.4 Moherit	6
2.1.3.3.5 Annabergit	6
2.1.4 Maden Yatak Oluşumu	7
2.1.4.1 Ultramafik ve Mafik Kayaçlar İçinde Silikatlara Bağlı Ni-Co Yatakları	7
2.1.4.2. Ultramafik ve Mafik Kayaçlarla İlişkili Sülfürlü Ni ve Co Yatakları	8

2.1.4.2.1 Dünit Peridotit sınıfı	9
2.1.4.2.2 Gabroyid Sınıfı	10
2.1.4.2.3 Hidrotermal Ni Ve Co Yatakları	11
2.1.4.2.4 Kimyasal Kalıntı Tipi (lateritik) Ni ve Co Yatakları.....	12
2.1.4.2.5 Oolitik Demir Yatakları ile İlişkili Ni ve Co Yatakları..	14
2.1.4.2.6 Denizel Sedimanlar İçindeki Ni ve Co Zenginleşmeleri	14
2.1.5 Rezerv ve Üretim.....	14
2.1.5.1 Dünyada Durum	14
2.1.5.1.1 Rezervler	14
2.1.5.1.2 Dünya Nikel Maden Üretimi	15
2.1.5.2 Türkiye’de Durum	18
2.1.5.2.1 Rezervler	18
2.1.5.2.2 Türkiye Nikel Maden Üretimi	19
2.1.6 Pazar Konumu Fiyatlandırma.....	19
2.1.7 Nikelin Kullanım Alanları	20
2.1.8 Üretim Teknolojisi	21
2.1.8.1 Madencilik.....	22
2.1.8.1.1. Likit Mağmasal Nikel Yatakları.....	22
2.1.8.1.2 Damar Biçimdeki Hidrotermal Yataklar	22
2.1.8.1.3 Silikatik-Lateritik Nikel Yatakları.....	22
2.1.8.1.4 Sülfürlü Nikel Yatakları	23
2.1.8.2 Zenginleştirme.....	23
2.1.8.2.1 Sülfürlü Nikel Cevherlerinin Zenginleştirilmesi	24
2.1.8.2.2 Lateritik Nikel Cevherlerinin Zenginleştirilmesi	24
2.1.8.3 Metalurjisi	24
2.1.8.3.1 Sülfürlü Nikel Cevherlerinin Metalurjisi	25
2.1.8.3.2 Lateritik Nikel Cevherlerinin Metalurjisi.....	25
2.1.9 Nikel Cevherinin Zenginleştirmesine Yönelik Uygulamalar	26
2.1.9.1 Dünya’dan Örnekler	26
2.1.9.2 Türkiye’den Örnekler	33

BÖLÜM ÜÇ-ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEM SEÇENEKLERİNİN İRDELENMESİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	34
3.1 Çaldağ (Turgutlu-Manisa) Demirli Nikel Cevherinin Yapısal Özelliklerine Göre Zenginleştirilmesi	34
3.2 Önceki Çalışmalar	34
3.3 Turgutlu- Çaldağ Nikel Tesisin Tanıtılması.....	37
3.4 Ön Araştırmalar	40
3.4.1 Numune Alma ve Hazırlama	40
3.4.2 Elek Analizleri.....	42
3.4.3. Manisa-Turgutlu-Çaldağ Nikel Cevheri Maden Yatağından Alınan Ham Cevher Örneklerinin Elek Analizi Tane Fraksiyonlarının Binoküler Mikroskop İle İncelenmesi	45
3.4.3.1- 1 Nolu Cevher Numunesi.....	45
3.4.3.2- 2 Nolu Cevher Numunesi.....	46
3.4.3.3- 3 Nolu Cevher Numunesi.....	48
3.4.3.4 - 4 Nolu Cevher Numunesi.....	50
3.4.4 Çaldağ Nikel Cevherinin Kimyasal ve Mineral Bileşimi.....	52
3.5 Zenginleştirme Deneyleri	54
3.5.1 Yoğunluğa Dayalı Zenginleştirme	54
3.5.1.1. Jig İle Zenginleştirme	54
3.5.1.2 Sallantılı Masa İle Zenginleştirme	55
3.5.2 Manyetik Zenginleştirme	57
3.5.3. Flotasyon İle Zenginleştirme.....	58
3.5.4 Kalsinasyon	62
3.5.5 Liç İle Zenginleştirme	63
BÖLÜM DÖRT-SONUÇ VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR.....	76
EKLER	79

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Giriş ve Amaç

Bugün Nikel, sahip olduğu üstün nitelikler nedeniyle endüstride en çok kullanılan metallere biridir. Doğada çoğunlukla demir ile birlikte olmak üzere sülfürler, arsenürler ve silikatlar (lateritik kökenli) şeklinde bulunmaktadır.

Çaldağ lateritik demir, nikel-kobalt yatağı Manisa ili, Turgutlu ilçesinin kuzeyinde yer almaktadır. Çaldağ'da önce demir oluşumu üzerinde çalışmalar yapılmış (Brennich,1960; Sözen,1966; Önder,1977;Ünlü,1976) daha sonra yataktaki nikel-kobalt oluşumu incelenmiştir. (Yıldız,1977; Hirano-Boyalı,1980) Ancak yatağın yeterince bilinmeyen mineralojisi nedeniyle yapılan teknolojik çalışmalardan sonuç alınamamıştır. Ancak yatağın bilinmeyen mineralojisine açıklık getirmek amacıyla (Çağatay,A. , Altun.Y, ve Arman,B. ;2005), nikel-kobalt açısından önemli görülen kesimlerden örnekler alınmıştır. Özellikle Altun'un aldığı örneklerden yapılan kesitlerin mineralojik inceleme sonucunda montmorillonit veya garniyeritten (Yıldız, sözlü görüşme) kaynaklandığı sanılan yüksek nikel ve kobalt değerlerinin nikel-kobalt asbolana (Nikelce zengin olup daha çok NiO ve CuO ile birlikte bulunan CoO'li zonlara denir) bağlı olduğu saptanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Çaldağ lateritik demir, nikel-kobalt yatağının bu amaç doğrultusunda yapısal özelliklerine dayalı zenginleştirilebilirliğinin araştırılmasıdır.

BÖLÜM İKİ

NİKEL HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Genel Bilgiler

2.1.1 Nikelin Tanımı

Nikel 1751’de İsveçli Cranstedt tarafından keşfedilmiştir. Kullanılmaya başlanması için aradan 73 sene geçmiş ve ilk metalurjik tesis 1924’de Avusturya’n Gersdorff tarafından kurulmuştur. Ancak, Nikel endüstrisinin gelişmesi ve nikelin diğer metaller arasındaki yerini alabilmesi 1865’de Garnier tarafından Yeni Kaledonya’da ki önemli yatakların bulunmasından sonra olmuştur. Dünyada ki en önemli nikel yatakları Kanada, Yeni Kaledonya, Küba, ABD, Avustralya, Endonezya ve Eski Sovyetler Birliği’nde bulunmaktadır. Yatakların bulunduğu ve üretimi yapılan ülkelerin ekonomisine katkı sağlamakla birlikte çok yönlü tüketim alanının varlığı stratejik bir element olmasına neden olmuştur (G,Caneb;2007).

2.1.2 Nikelin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Nikel Mendelyef Tablosunda demir grubun iki valanslı metalleri arasında kobaltın yanında yer almıştır. Demir ile olan bağıntısı özelliklerinin birçoğunda görülmektedir. Atom ağırlığının tayininde bazı güçlükler ile karşılaşmıştır. Şöyleki, atom numarası 28 olan nikelin çekirdeği elektronların negatif yükü ile dengeyi temin eden pozitif elektrik yüklü 28 proton ihtiva etmektedir. Fakat nötronların sayısı, metali teşkil eden muhtelif izotoplara göre değişmektedir. Bu izotoplar şunlardır.

Tablo 2.1. Muhtelif izotoplar(G,Caneb;2007).

58 Ni (30 nötron)	Toplam Kitlenin %67,76 sını teşkil eder
60 Ni (32 nötron)	Toplam Kitlenin %26,16 sını teşkil eder
61 Ni (33 nötron)	Toplam Kitlenin %1,25 sını teşkil eder
62 Ni (34 nötron)	Toplam Kitlenin %3,66 sını teşkil eder
64 Ni (36 nötron)	Toplam Kitlenin %1,16 sını teşkil eder

Bu duruma göre metalin atom ağırlığı, bu beş izotopun atomik kitlelerin ortalaması alınarak 68,60 veya 58,70 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca nükleer reaksiyonlar esnasında, metalin atomik kitleleri 56,57,59,63,65 ve 66 olan altı tanede suni izotopu olduğu görülmüştür(G,Caneb;2007).

Nikelin ortalama yoğunluğu bakırinkine çok yakın olmakla beraber kalitesine göre değişiklikler göstermektedir. Elektrolitik nikelin (%99,95 Ni saflığında) yoğunluğu 8,925 gr/cm³ dir.

Ergime noktası demirinkine yakın olup 1452°C 'dir. Isı iletme (0,140-0,147 cm/s/derece) ve elektrik iletme (10,145 mega ohm) özellikleri zayıftır. Elektrik sahasında kullanılmasının başlıca sebebi yüksek rezistivite özelliğidir. Nikel 352°C' nin üstünde kaybolan bazı manyetik özelliklere sahiptir. Ancak bu özellikler metalin kübik sistemde kristalleşen esas tipinde mevcuttur. Hegzagonal sistemde kristalleşen diğer bir tip ise manyetik olmamakla beraber 300°C de hidrojen veya azot gazında ısıtılarak normal kübik hale getirilebilmektedir. İnce toz halindeki nikelin yüksek bir hidrojen absorpsiyon yeteneğine sahip olması nikelin katalizör olarak kullanılmasını sağlamıştır. Nikelin demir ile olan yakınlığı 900°C de pişmiş ve yavaş yavaş soğutulmuş olan, saf nikelin Brinell sertlik ölçütlerine göre 85±10 kabul edilen sertlik derecesi ile görülür. Metal soğukta dövülmüşse sertlik ve mekanik dayanım daha da artar, kopma yükü dökme metal için 42-49 kg/mm² iken, soğukta dövüldükten sonra 100kg/mm²'ye yükselmektedir.

Özellikle metalurjik işleme tabi tutulduğu zaman çok elastikidir. Gümüş Beyazı renginde metal olan nikel gayet güzel cila kabul eder, ışık yansıtma özelliği çok yüksektir. Ticarete peletleme veya toz halinde işlem görür. Alaşımları çok çeşitli olup, ısıya, aşınmaya, asitlere karşı oldukça dayanıklıdır. (G,Caneb;2007)

2.1.3 Nikel Mineralleri

Tablo'da da görüldüğü üzere bu minerallerin içinden nikel endüstrisinde en çok kullanılan mineralleri inceleyecek olursak;

2.1.3.1 Garniyerit (veya numeit) $(Mg.Ni)_2, O_2(OH)_4$ (Ni-klorit)

İki tipi mevcut olup yeşil renkte olanı ortalama %40 silis, %44 nikel oksit, manganez, alüminyum ve su ihtiva eder. Kahverengi olanı ise %30 silis, %15,5-43,5 NiO ve %49'a kadar demir seskioksit içerir. Yoğunluğu 2 gr/cm³, sertliği 2,5 mohs'dur. Su içinde ayrışır, asitlerden az etkilenir. Aleve tutulunca siyahlaşır. Ham cevher %7 Ni içerir. İspanya'da, Amerika'da, Urallar'da, Silezya'da ve Yeni Kaledonya'da bulunur(G,Caneb;2007).

2.1.3.2 Nikelli Pirit veya Pirotin grubu

Bu minerallerden en çok rastlanan pentlandit $(Fe,Ni)_9S_8$ olup genellikle polidimit (Ni_3S_4) , millerit (NiS), Gersdorfit $(Ni,Fe,Co)AsS$ 'dir(G,Caneb;2007).

2.1.3.2.1 Pentlandit $(Fe,Ni)_9S_8$.Kübik sistemde kristalleşir. Sertliği 3-4 mohs, yoğunluğu 4,5-5 gr/cm³ dür. Ortalama %30-33 Fe, %34-35 Ni ve %32-34 S içerir. Ayrıca %0,4-1,6 oranında nikelin yerine geçmiş olan kobalt mevcuttur. Açık bronz sarısı olan mineral net kristaller halinde bulunmayıp yığın ve agregalar teşkil eder. Metalik parlaklığa sahiptir. Pirotin içinde küçük enklüzyonlar şeklinde bulunduğundan gözle tayini çok zordur. Genellikle bazik ve ultrabazik kayalara (gabronorit ve peridotitler) bağlı olan pentlandit, daima pirotin ve kalkopirit ile beraber bulunur. Esas mineral daima pirotin olup penlandit ve kalkopirit ancak yüzde birkaç ünite olarak bulunur. Mesela Sudbury de ; %1-5 Ni ve %2-3 Cu mevcuttur. Ayrıca pentlandit bazik kayaların segregasyonu sonucu, Türkiye ve Norveç de olduğu gibi kromit, ilmenit ve titano-manyetit ile birlikte bulunabilmektedir (G,Caneb;2007).

2.1.3.2.2 *Millerit (NiS)*. Romboedrik sistemde kristalleşir. Sertlik derecesi 3-4 mohs, yoğunluğu 5,2-5,6 gr/cm³'dür. %64,7 Ni ihtiva eder. Kristalleri oldukça uzun olup pirinç sarısı rengindedir. Metalik parlaklığa sahiptir. Nadir bulunan bir minareldir. Bazen bazik kayalara bağlı olarak nikelli bakır yataklarında bulunmaktadır (Sudbury). Nikel sülfür ve arsenürlerine refakat eder. Ayrıca şiddetli alterasyona uğramış ve serpantinleşmiş peridotitlerin çatlaklarında kuvars, talk ve karbonatlarla birlikte rastlanır. Semantasyon zonunda penlandit, polidimit gibi minarelleri kolayca ramplase edebilir, isnisna olarak organik maddelerin mevcudiyeti halinde, alterasyona uğrayan ultrabazik kitlelerden gelen nikelli solüsyonların indirgenmesi yolu ile de oluşabilmektedir (G,Caneb;2007).

2.1.3.2.3 *Gersdorfit (Ni Fe, Co)As*. Kübik Sistemde kristalleşir. Sertlik derecesi 5,5 mohs, yoğunluğu 5,6-6,2 gr/cm³'dür. Ortalama %35,4 Ni ihtiva eder. Oktaedr, dodekaedr, taneli ve levha yığınlar halinde oluşur. Rengi gümüş beyazı ile çekirdek grisi arasında değişmektedir. Metalik parlaklığa sahiptir. Potasyum permanganata doymuş solüsyon ile rengi koyulaşır. Nadir rastlanan bir mineraldir. Genellikle nikel ve kobalt mineralleri, manyetit, muhtelif sülfürler, karbonatlar ve kuvars ile birlikte hipotermal alanlarda bulunur. Ekonomik bakımdan önemli değildir. Ancak büyük miktarlarda bulunmaz. Sudbury ve Harz yataklarında mevcuttur.

Nikel endüstrisinde ikinci derecede rol oynayan ve genellikle küçük yataklar halinde bulunan minaraller (Canter Ford,1975).

2.1.3.3 *Nikel arsenür ve arsenio sülfürler*

2.1.3.3.1 *Nikelin (veya nikeldit) NiAs*. Hegzagonal sistemde kristalleşir, sertlik derecesi 5-5,5 mohs, yoğunluğu 7,6-7,8 gr/cm³'dür. %43,9 Ni ihtiva eder. Genellikle masif haldedir. Soluk kırmızı bakır renginde olup nabit bakırdan sertliği ile kolayca ayırt edilebilmektedir. Metalik parlaklığa sahiptir. Alterasyon ile kolayca annabergit'e dönüşebilmektedir. Genellikle kobalt-nikel-gümüş ile birlikte hipotermal filonlarda rastlanır (bu tip yataklar Kanada, Peru, Japonya ve Cezayir'de mevcuttur). Diğer taraftan bazik kayalara (bilhassa noritlere) bağlı olarak sülfürlü minareller içerisinde pirotin, pentlandit ve kolkopirit ile beraber bulunmaktadır.

(Sudbury), İspanya'da peridotit ve noritler içerisinde kromit'e refakat etmekte, İskandinavya'da olivin bakımından zengin noritler içerisinde penlandit ve manyetit ile birlikte bulunmaktadır. Yataklar çok küçük olmadığı takdirde oldukça ekonomiktir. Dünya nikel piyasasında yer alan bir mineraldir(Canter Ford,1975).

2.1.3.3.2 Breithauptit (NiSb).Hegzagonal sistemde kristalleşir. Sertlik derecesi 5-5,5mohs, yoğunluğu 7,5-8,6 gr/cm³'dür. %32,5 Ni içermektedir. Kristallerine nadir rastlanır. Metalik parlaklıkta olup açık kırmızı bakır rengindedir. Peridotitler içerisinde nikel-kobalt-gümüş parajenezinde (birlikte oluşum) rastlanmaktadır (G,Caneb;2007).

2.1.3.3.3 Rammelsbergit NiAs₂.Ortorombik sistemde kristalleşir. Sertlik derecesi 5,5-6,0 mohs, yoğunluğu 7,0-7,1gr/cm³'dür. %26-28 Ni içermektedir. Metalik parlaklıkta olup rengi kalay beyazıdır. Özellikle Nikel-kobalt-bizmut-gümüş parajenezlerinde rastlanır. Alterasyon sonucunda annabergite dönüşür.

2.1.3.3.4 Moherit (Ni_{3-x}As₂).Sertlik derecesi 5, yoğunluğu 7,8-8,0 gr/cm³'dür. Ksenomorf olup bazen tabuler kristaller halinde bulunur. Kırmızımsı gri renkte olup metalik parlaklığa sahiptir. Nikelin kromit ile beraber (İspanya) veya pirotin, kalkopirit ve pentlandit ile beraber (Sudbury) bulunur.

2.1.3.3.5 Annabergit (NiOH)₃ (AsO₄)₂ 8H₂O (hidrate nikel arseniyat).Nikelokr'da denir. %29,5 Ni ihtiva eder. Nikelin alterasyonu ile oluşur.

Bunların dışında kalan başlıca nikel minareleri aşağıda gösterilmiştir. (G,Caneb;2007)

Tablo 2.2. Başlıca Nikel Mineralleri(G,Caneb;2007)

Avaruit- Jozefinit	PeNi ₃	Tirellit	((Co,Ni,Cu) ₃ Se ₄)
Bravoit	(Ni,Fe,Co) S ₂	Kloantit	((Ni,Co)As ₃)
Bunzenit	NiO	Violarit	((NiFe) ₃ S ₄)
Gentit	Ni ₂ Mg ₂ Si ₃ O ₁₆ .6H ₂ O	Vaesit	((Ni,Co,Fe)S ₂)
Heazlewoodit	Ni ₃ S ₂	Skutterudit	(Co,Ni,Fe)As _{3-x})
Nikelin	NiAs	Parkerit	(Ni ₃ Bi ₂ S ₂)
Asbolan	Mn(Co,Ni)(OH) ₂	Oregonit	(Ni ₂ FeAs ₂)
Siegenit	((Co,Ni) ₃ S ₄)	Hohekorntit	(Ni ₄ (Bi,Sb)S ₄)
Melonit	(NiTe ₂)	Kattierit	((Co,Fe,Ni)S ₂)
Arsenli ulmanit	(Ni(Sb,As)S)	Kobalt pentlandit	((Co,Fe,Ni) ₉ S ₈)
Heterojenit	((CoO)OH)	Brajjit	((Pt,Pd,Ni)S)
Breithoptit	(NiSb)	Linneit	(Co ₃ S ₄)
Kobaltit	(CoAsS)	Ulmannit	(NiSbS)
Maucherit	(NiAs ₃)	Cholanthit	(NiAs ₂₋₃)
Breithauptit	(NiSb)	Moherit	(Ni _{3-x} As ₂)
Rammelsbergit	NiAs ₂	Annabergit	(NiOH) ₃ (AsO ₄) ₂ 8H ₂ P

2.1.4 Maden Yatak Oluşumu

2.1.4.1 Ultramafik ve Mafik Kayaçlar İçinde Silikatlara Bağlı Ni-Co Yatakları

Ultramafik kayaçların ortalama Ni içerikleri 2000 ppm (%0,2) kadar olup diğer kayaç türlerine göre oldukça yüksektir. Bu kayaçlar içinde nikelin olivin ve piroksenlerin yapısında Mg²⁺ iyonunun yerini almaktadır. Bu şekilde 14 milyon ton metalik Ni eşdeğeri 7 milyon tonluk bir potansiyelin bulunduğu hesaplanmaktadır. Ancak günümüzdeki koşullarda bu zenginleşmelerin değerlendirilmesi mümkün olmayıp özellikle ileride tartışılacak olan diğer tip cevherleşmeler için kaynak malzeme oluşturdukları görülmektedir(Gökçe,A.,1995) .

2.1.4.2. Ultramafik ve Mafik Kayaçlarla ilişkili Sülfürlü Ni ve Co Yatakları

Bu yataklar nikel yatakları içinde en yaygın olarak üretim yapılan yataklar olup sülfürce zengin magmatik eriyikler içinde sülfürlü minerallerin sıvı ayrışım süreçleri ile silikatlı kısımdan ayrılarak zenginleşmesi şeklinde oluşmuş sıvı ayrışım tipi maden yataklarıdır. Bu tip yataklar yan kayaçlarına bağlı olarak alt gruplara ayrılmıştır. Ross ve Troviss (1981) tarafından yapılan sınıflama şöyledir.

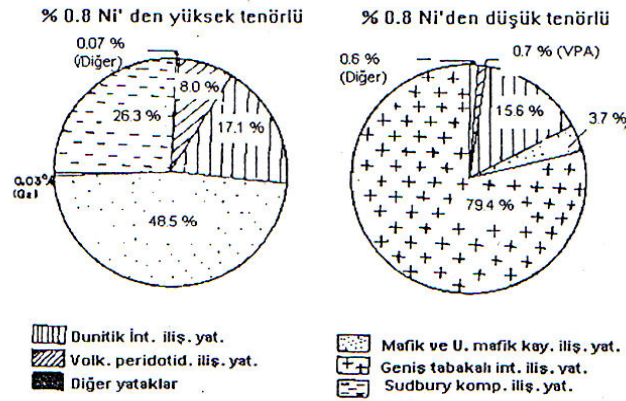
2.1.4.2.1 Dunit – peridotit Sınıfı.

- a- Dunitik intruziflerle ilişkili yataklar
- b- Volkanik peridotitlerle ilişkili yataklar

2.1.4.2.2 Gabroyid sınıfı.

- a- Mafik ve ultramafik intrusit komplekslerle ilişkili yataklar
- b- Geniş tabakalı intrüzyonlarla ilişkili yataklar
- c- Sudbury kompleksi ile ilişkili yataklar
- d- Diğer yataklar

Dünya nikel rezervine bakacak olursak %0,8'den daha yüksek tenörlü yatakların büyük çoğunluğunun mafik ve ultramafik intrusit komplekslerle ilişkili olduklarını ve ikinci olarak Sudbury kompleksindeki yatakların olduğu daha sonra da dunitik intrüsifler ve volkanik peridotitlerle ilişkili yatakların geldiği , % 0,8 den daha düşük tenörlü yatakların büyük çoğunluğunun ise geniş tabakalı intrüzyonlarla ilişkili olduğunu görmekteyiz (Gökçe,A.,1995).



Şekil 2.1 Çeşitli Nikel Yatak Tiplerinin Dünya Nikel Rezervi İçindeki Payları (Rose ve Travis, 1981; Edwards ve Atkinson, 1986)

2.1.4.2.1 *Dümit Peridotit sınıfı.* a- Dümitik intrüsyonlarla ilişkili yataklar: Bu yataklar Ni tenörü %0,8'den büyük olanların %17,1'inin %0,8'den düşük tenöre sahip olan yatakların ise %15,6'sını içermektedir. Genellikle mercerler halinde bulunup, orta büyüklükteki yataklarda yüksek ve düşük tenörlü kısımlar bulunurken, büyük boyutlu yatakların tenörleri ise düşüktür (Şekil 2.1).

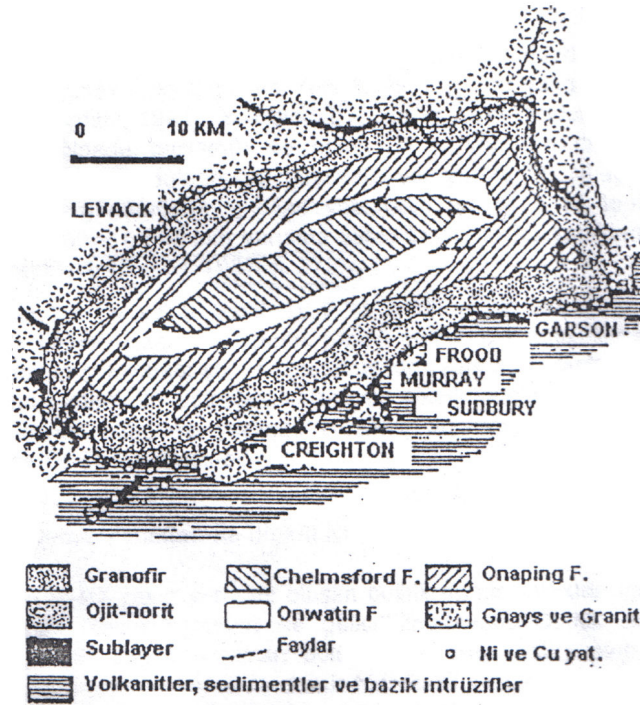
Bu yataklar saçınımlı sülfür yatakları olup pirotin ve pentlanditin hakim olduğu ve az miktarda diğer Ni-Co sülfür minerallerinde gözlenmektedir. Gang minareleri olivin ve bozunma ürünleridir. Norseman-Wiluna kuşağı'ndaki yataklar ve Kanada'daki Manitoba yatakları örnektir (Gökçe, A., 1995).

b- Volkanik Peridotitlerle ilişkili yataklar: Kalınlığı 100 m'yi bulan lav akıntıları içindedir. Mg'ca aşırı zengin birleşimli, bazı yerlerde de toleyitik ve alkali birleşimli yataklardır. Dümit-peridotit-piroksenit-bazalt olarak adlandırılmaktadır. Bu yataklar özellikle Avustralya'da, Kanada'da, ve Güney Afrika'da görülmektedir. Bu yataklarda pentlandit hakim mineral olup, yer yer millerit, pirotin, kalkopirit, manyetit, ve ferrokromit gibi minerallerin de zenginleştikleri görülmektedir.

2.1.4.2.2 *Gabroyid Sınıfı*. a-Mafik ve ultramafik intrüsyonlarla ilişkili yataklar: Küçük boyutlu ve bağımsız kompleksel (karmaşık) halinde iken akıntı bazaltı ile ilişkili ve kıtasal riftleşmenin erken evresi oluşumları şeklindedir. Genellikle gabroik bileşimlidirler. Batı Avustralya, Kanada, Zimbabve, İskandinavya, Sovyetler Birliği ve Kuzey Amerika'da bu sınıf yataklar bulunmaktadır.

b-Geniş Tabakalı İntrüzyonlarla İlişkili Yataklar:%0.8 den az Ni tenörü içerirler. Yalnızca Merensky Rifti'nde Ni ve Cu platin üretiminin yanında kazanılabilmektedir.

c- Sudbury Kompleksi ile İlişkili yataklar:Nikel üretiminin büyük bölümünü karşılar. Kanada kalkanı üzerinde,Süperior ve Grenville bölgesinde Provensleri'nin sınırında özel bir kabuksal özellik şeklinde bulunmaktadır. Bu kompleks 60km,27km'lik bir alanı kaplamaktadır. Kompleks taban kesimlerinde ojirorit, orta kesimlerinde kuvars-gabro ve üst kesimlerinde granofir bileşimli zonlu bir yapı göstermektedir. Kompleksin huni şeklinde olduğu düşünülmektedir. Taban noritlerinin altındaki sülfürlü minarelerce zengin, devamlılık göstermeyen norit ve gabro zonu “ sublayer” (alt tabaka) olarak tanımlanmakta, kompleksin tabanında daha yaşlı birimler içine doğru düşey, ışınal ve konsantrik dayklar şeklinde sokulum yapan sülfürlü minerallerce zengin kuvars diyoritler ise “ofset” olarak adlandırılmaktadır. Bu sublayer ve ofset birimleri Dünya'nın en zengin nikel yataklarını içermektedir(Gökçe,A.,1995).



Şekil 2.2 Sudbury Kompleksinin Basitleştirilmiş Jeoloji Haritası (Evans, 1987)

Şekil 2.2’de kompleksin iç kısımları Whitewater Grubu olarak adlanmakta olup, onaping (volkanoklastik görünümlü) , onwatin (manganca zengin şeyl) ve chelmsford (karbonatlı kumlu proximal türbidit) formasyonlarına ayrılmıştır. Kompleksin tabanını kuzeybatıda gnays ve granitler, güneybatıda ise volkanitler sedimentler ve bazik intrüzifler bulunmaktadır. Yapılan tektonik incelemeler, kompleksin önceleri dairesel şekilli olup daha sonra tektonizmanın etkisi ile bugünkü elips şeklini aldığı düşündürmektedir.

Çeşitli kaynaklarda Sudbury Bölgesi’nde 40’dan fazla maden işletmesinin olduğunu ve toplam rezervin 930 milyon ton olup bu rezervin 500 milyon tonunun işletildiği belirtilmektedir(A. ,Gökçe,1995).

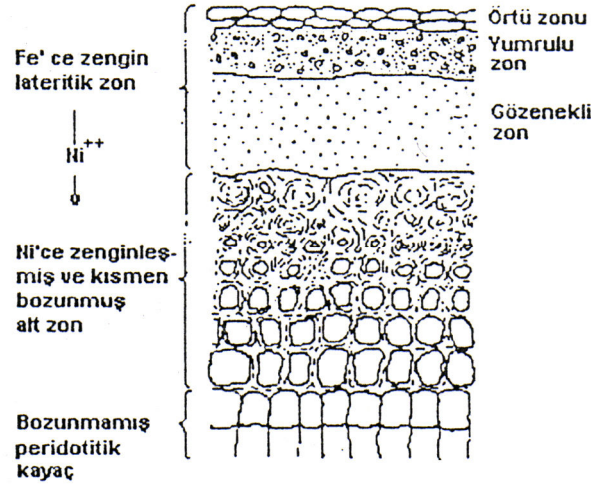
2.1.4.2.3 Hidrotermal Ni Ve Co Yatakları. Nikelden ziyade kobalt bakımından önemli yataklardır. Bu yataklar ultramafik kayaçları kesen genç plütonik ve volkanik kayaçlar çevresinde gözlenen, genellikle damar tipi rezervleri küçük fakat tenörleri yüksek yataklardır. Genç mağmatik kayaçlarla ilişkili hidrotermal çözeltilerin veya

bu kayaçların yakınlarına kadar sızarak ısınmış yüzeysel kökenli suların çevredeki ultramafik kayaçlardan çözdükleri nikeli kırık ve çatlaklar boyunca yeniden çökeltmeleri sonucu oluşmuş yataklardır.

Metamorfizma geçirmiş sahalarda gözlenen bazı nikel cevherleşmelerinin metamorfizma sırasında oluşan hidrotermal çözeltilerce yan kayaçlardan nikelin yıkanıp zenginleştirilmesi şeklinde oluştuğu düşünülmektedir (Jensen ve Bateman 1981: s.417).

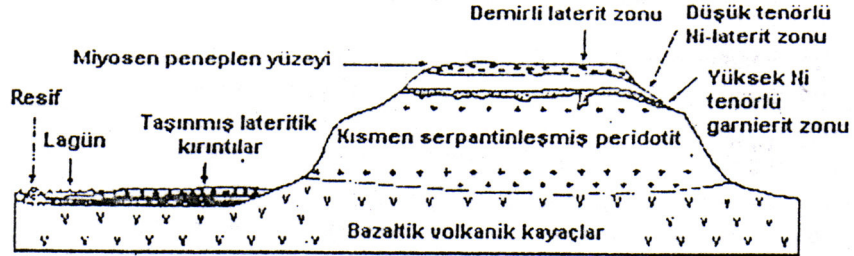
2.1.4.2.4 Kimyasal Kalıntı Tipi (lateritik) Ni ve Co Yatakları. Ultramafik kayaçların yüzeysel koşullarda bozunması sırasında minarelerin yapısında bulunan elementler iyonlar halinde serbestleşmektedir. Bu sırada hareketli olan Mg^{2+} iyonu ve az hareketli SiO_2 iyonu içinde çözümlü olarak uzaklaşırken, hareketliliği az olan demir iyonları bozunma bölgesinde hidroksitli ve oksitli mineraller halinde hemen tutuklanmaktadır. Yüzeysel ortamlarda nikelin hareketliliği Mg ve Fe arasında olup, su içinde çözümlü olarak kısmen taşınmakta ve bozunma zonunun taban seviyelerinde ya demir minarellerinin üzerine adsorplanarak veya garnierit ve diğer nikelli fillosilikatlar şeklinde tutunarak zenginleşmektedir (Evans 1987).

En üstte demirce zengin bir örtü, aşağıya doğru ise gözenekli laterit, kısmen bozunmuş peridotit ve bozunmamış peridotit zonlarının bulunduğu, nikelin ise özellikle bozunmuş peridotit zonu içinde zenginleştiği görülmektedir (şekil 2.3).



Şekil 2.3 Lateritik Nikel Yataklarının Tip Kesiti (Evans 1987).

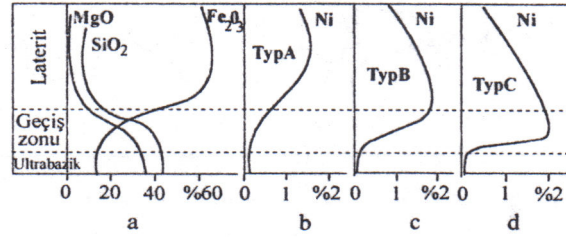
Bu tip yataklar G.Amerika Kıta'sının doğu kesimlerinde Afrika Kıta'sının orta ve güney kesiminde ve Yeni Kaledonya'da yaygın gözlenmektedir.



Şekil 2.4. Yeni Kaledonyada peridotitik sahalarının şematik kesiti ve nikel zenginleşmeleri (Evans, 1987)

Bu yatakların bir tip kesiti de şekil 2.4 de görülmektedir. Lateritik yataklarının yanında bazen nikelin su içinde çözülmesi olarak yakındaki bir sulu ortama taşınıp çökmesi sonucu oluşmuş kimyasal sedimanter veya daha önce oluşmuş kalıntı tipi yataklardan türeyen nikelli tanelerin yakındaki bir sulu ortam içinde birikmesi şeklinde oluşmuş taşınmış lateritik nikel yatakları oluşmaktadır.

2.1.4.2.5 *Oolitik Demir Yatakları ile İlişkili Ni ve Co Yatakları.* Ultramafik kayalara yakın yerde oluşan oolitik demir yatakları içinde bazı yerlerde nikel zenginleşmelerde gelişebilmektedir. Oolitik demir yataklarının oluşumları sırasında bu yataklarda nikel ve kobaltın genellikle demir hidroksitli mineraller üzerinde adsorplanarak çöktüğü gözlenmektedir. Yunanistan da ki Larymna Yatağı bu zenginleşmelere örnektir (A. Gökçe, 1995).



Şekil 2.5. Lateritik Yataklarda Fe, Ni, Mg ve Si un dağılımı (W. Schelmann'e göre)

2.1.4.2.6 *Denizel Sedimanlar İçindeki Ni ve Co Zenginleşmeleri.* Denizel sedimanlar içindeki Ni ve Co zenginleşmeleri özellikle okyanus tabanlarındaki mangan yumruları ile ilişkilidirler. %0,1-0,2 Ni içermektedir. (Gökçe, A., 1995)

2.1.5 Rezerv ve Üretim

2.1.5.1 Dünyada Durum

2.1.5.1.1 *Rezervler.* Ortalama %1 ve daha fazla nikel içeren dünya nikel kaynaklarının baz rezervleri toplamı 140 milyon ton olup dünya nikel rezervlerinin toplamı (metal içeriği) 62 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir.

Bu kaynakların % 60'ı lateritik, % 40'ı ise sülfid kökenlidir. Ayrıca okyanus tabanlarındaki, manganlı-nikelli-demirli yumru nodüllerle okyanusların magnezyumlu kabuklar Dünya'nın potansiyel nikel kaynakları olarak değerlendirile bilinmektedir (C. Osborne, R. Bacan, G. Dalvi; 2004).

Tablo 2.3. Dünya Nikel Rezervleri(C. Osbarne, R. Bacan, G.Dalvi; 2004)

	Mt	%Ni	MtNi	% Toplam
Avustralya	2452	0.86	21	13.1 %
Afrika	996	1.31	13	8.1 %
C & S Amerika	1131	1.51	17	10.6 %
Carribbean	944	1.17	11	6.9 %
Endonezya	1576	1.61	25	15.7 %
Plipinler	2189	1.28	28	17.4 %
Yeni Kaledonya	2559	1.44	37	22.9 %
Asya ve Avrupa	506	1.04	5	3.3 %
Diğer Avustralya	269	1.18	3	2.0 %
Toplam Lateritler	12621	1.28	161	100 %

Mt:Metrik Ton

Dünya nikel rezervleri Tablo 2.3’de verilmiştir. Tablo da Kanada Newfoundland, Labrador da yeni keşfedilen önemli nikel yatakları rezervlere dahil edilmiştir. Bilinen nikel yatakları bugünkü talep bazında 38,5 yıl ihtiyacı karşılayabilecek düzeydedir. Mevcut işletilebilir rezervin % 40,4’ü Küba, Çin ve Eski Sovyetler Birliği’nde bulunmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerin sahip olduğu oran ise % 28,6 dır.(Nikel-Kobalt;2007)

2.1.5.1.2 Dünya Nikel Maden Üretimi .Dünya nikel üretiminde % 37’lik bir oranla en fazla üretim Avrupa’da olup onun arkasından da % 27’lik oranla Amerika’nın geldiği görülmektedir. Endüstriyel tüketimde ise paslanmaz çelik %65 nan-ferrous alaşımlar %12 ve diğer tel alaşımlar % 10, elektroplatin %8 ve diğer kimyasallar % 5’lik bir orana sahiptir. (LMEX, 2007)

Tablo 2.4. Dünya Nikel Üretimi(LMEX 2007)

Dünya Nikel Üretimi

Bölge	%
Amerika	24
Asya	19
Avrupa	37
Okyanusya	15
Afrika	5
Toplam	100

Endüstri	%
Paslanmaz çelik	65
Nan-ferrous alaşımlar	12
Diğer çelik alaşımları	10
Elektroplatin	8
Diğer kimyasallar	5
Toplam	100

Batı Avustralya da üç yeni laterit ocağının işletmeye başlamasıyla üretim miktarları artmaya başlamıştır. Nikel ileri bir teknoloji olan yerinde “basınçlı asit liçi” (BAL) ile elde edilmektedir. Bu üç şirketin yeni teknolojiye geçiş problemlerinin üstesinden gelmeleri gerekmiştir. Bu şirketlerin dışında, Avustralya da dört şirket daha BAL projesini uygulamaya başlamıştır. Ayrıca BAL teknolojisinin Küba, Endonezya ve Filipinler de uygulanması yöntemleri üzerinde çalışmalar başlamıştır. Nisan 2001 de bir Kanada şirketi Yeni Kaledonya da BAL projesini başlatmıştır. Eğer Yeni Kaledonya laterit projesi başarılı olursa şirket bu teknolojiyi New Founland de sülfat konsantrelerin den nikel ve kobalt eldesin de kullanılabilirinecektir.

Rusya, Avustralya, Kanada, Yeni Kaledonya, Endonezya dünya toplam nikel üretiminin %70'e yakınına karşılacaktır.

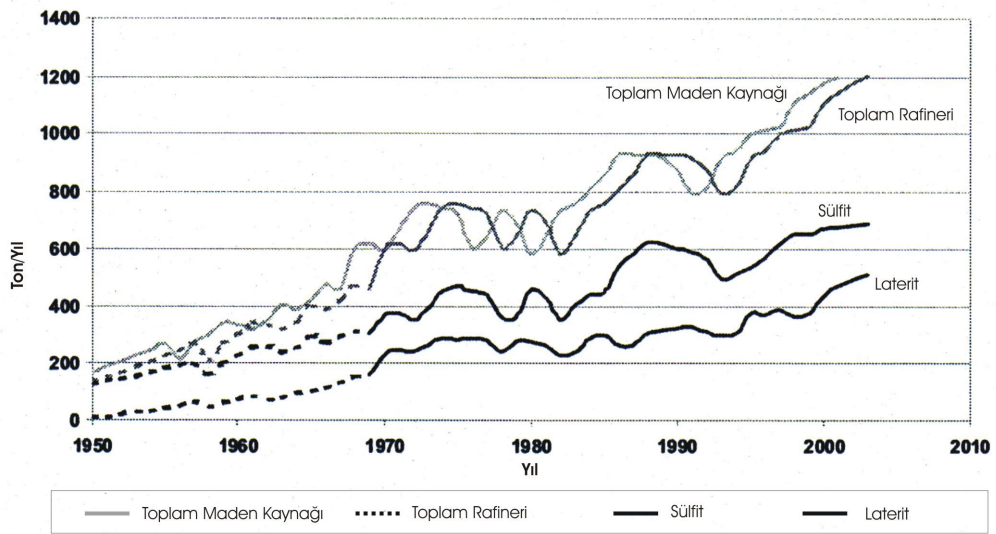
Dünya nikel kaynaklarının yaklaşık % 70 ini lateritler içerirken bunlar dünya nikel üretiminin %40'ına karşılık gelmektedir(C.Osbarne, R.Bacan, G.Dalvi; 2004).

Tablo 2.5 Dünya Nikel Rezervleri (C.Osbarne, R.Bacan, G.Dalvi; 2004).

	Mt Rezerv	% Ni	Mt.Ni	% Toplam
Sülfür	10500	0.58	62	27.8 %
Laterit	12600	1.28	161	72.2 %
Toplam	23100	0.93	223	100 %

Mt: Metrik Ton

Nikel üretimi ve talebi 1950'ler den beri artarak devam etmektedir. 1950'den 2007'ye kadar üretimdeki toplam artış 1950'de yaklaşık 140 ton/yıl iken 2007 de tahminen bu rakam 1200 ton/yıl yaklaşık 8 kat artmıştır. 1950 de lateritik nikel kaynaklar üretimin yalnızca küçük bir miktarını karşılamıştır. (<10%). 2006'da ise Lateritik nikel yataklarında bu oranın %42'den %51'e yükselmesi beklenmektedir (şekil 2.6). Nikel üretim miktarındaki gelişim dünyadaki ekonomik döngüye ve diğer olaylara bağlı olarak ilerlemektedir. Diğer yandan nikel üretiminin tamamı %4 gibi bir oranda artmaktadır.Bu Dünya GDP deki artıştan daha yüksektir.



Şekil 2.6. Dünya GDP Artışı(C.Osbarne, R.Bacan, G.Dalvi; 2004)

2.1.5.2 Türkiye’de Durum

2.1.5.2.1 Rezervler. Türkiye’nin bilinen nikel rezervleri toplamı 40 milyon tondur. Bu rezervin 39,5 milyon tonu Manisa-Turgutlu-Çaldağ yatağındadır. Bursa-Yapköyde ve Bitlis-Pancarlı yatakları geri kalan rezerve sahiptir. Türkiye’de lateritik ve sülfüt tipi nikel mineralizasyonları bulunmaktadır. Bilinen başlıca yataklar Manisa-Turgutlu-Çaldağ, Eskişehir-Mihallıçcık-Yunusemre de lateritik; Bitlis-Pancarlı, Bolu-Mudurnu-Akçaalan, Bursa-Orhaneli-Yapköyde ve Sivas-Divriği-Güneş’te sülfütlü cevherleşmeler vardır. Bunlardan yalnız Manisa-Çaldağ lateritik nikel yatağı ekonomik nikel içeriği ve rezervi itibarı ile nikel fiyatlarının yükselmesi halinde ekonomik olması muhtemel bir yataktır. (DPT VII. Beş Yıllık K.Planı ÖİK Raporu)

MTA tarafından yapılan araştırmalar sonucu ülkemiz nikel potansiyeli Tablo2.7’de verildiği gibidir.

Tablo 2.7 Türkiye Nikel Rezervi (bin ton) (DPT VII. Beş Yıllık K.Planı ÖİK Raporu)

Yeri	Tipi	Tenör %	Gör. + Muh.	Mümkün	Toplam
Manisa Çaldağ	Laterit	0.93 Ni	65 600		65 600
		0.042 Co			
		1.21 Ni	39 400*		39 400*
		0.048 Co			
		1.37 Ni	35 400		35 400
		0.053 Co			
		1.43 Ni	34 400		34 400
		0.053 Co			
		1.59 Ni	21 000		21 000
		0.060 Co			
		1.95 Ni	4 400		4 400
		0.060 Co			
Bursa Yapköy	Sülfüt	1-4 Ni	82	81	163
Bitlis Pancarlı	Sülfüt	1.41 Ni		15.5	15.5
Toplam			39 482	96.5	39 578.5

*:En yüksek rezervi ifade eder.

2.1.5.2.2 Türkiye Nikel Maden Üretimi. Türkiye’de nikel madenciliği yeterince yapılmamaktadır. Nikel ihtiyacı genellikle nikel ürünleri ithalatı yoluyla

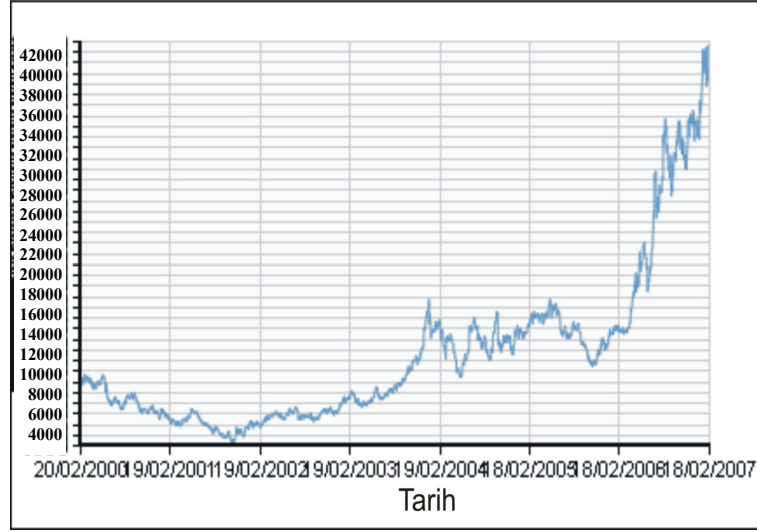
karşılanmaktadır. Ancak MTA'nın yaptığı arama çalışmalarıyla ortaya konan yataklardan sadece Manisa-Turgutlu-Çaldağ yatağını işletmek için görüşmeler yapılmış ve Türkiye'nin ilk nikel cevher üretim projesi 2000-2001 yılları arasında Manisa-Çaldağ da hayata geçirilmiştir. Bosphorus Nickel Madencilik Ticaret A.Ş tarafından cevher yatağı yakınında sülfirik asit liçi yöntemiyle nikel eldesine yönelik pilot bir tesis kurmuştur. Asit liçinden geçirilen cevher çözelti halinde tanklara alınarak kimyasal prosesler sonucunda NiCo-OH olarak çöktürülmektedir. Bu yöntemle %0,6 Ni değerine kadar cevher zenginleştirilebilmektedir.(Meta Madencilik,2007)

Yine Gördes nikel projesinin arama ve geliştirme çalışmalarını takiben üretim çalışmaları 2005 yılının mayıs ayında başlanmıştır. İlk dört aylık süreçte 50000 t'un üzerinde demirli nikel cevheri üretimi yapılmış, Yunanistan ve Makedonya'da bulunan ferronikel fabrikalarına ihracatı gerçekleşmiştir. Bunun yanında: Divriği-Güneş-Soğucak ve Bitlis-Pancarlı sülfirik nikel cevherleşmeleri aramaya değer görülmekte olup MTA tarafından yapılan çalışmalar sonucunda Manisa-Yunus Emre ilçesi yakınlarında lateritik nikel cevheri oluşumları içeren alan tesbit edilmiş ve büyük potansiyel vaat ettiği görülmüştür. (European Nickel Madencilik PLC)

2.1.6 Pazar Konumu Fiyatlandırma

İthalat İhracat

Türkiye'deki şirketler, Ni'i alaşımlı çelik döküm, paslanmaz makine parçaları, üretimi, yüke dayanıklı alaşımlar vb alanlarda kullanmaktadır. Bunların nikel hammadde ve mont-katot nikel ihtiyacı ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Türkiye'nin yıllık nikel ithalatı 1500-2000 ton olarak tahmin edilmiştir. Bunun karşılığında 15-20 milyon \$'lık bir gider söz konusudur. Nikel fiyatları, 2000 yılında 10000 \$'dan 6000 \$/ton'a düşmüş ancak, 2001 yılı ikinci yarısından itibaren artarak 17500-18000 \$/ton'a ulaşmıştır. 2005 yılı fiyatı 16000 \$ civarında iken 35000 \$/ton'a kadar arttığı görülmektedir. (Nikel-Kobalt;2007)



Şekil 2.7 LME X Fiyat Grafiği (London Metal Exchange,2007)

Nikel ve uç ürünleri özellikle yüksek ısı ve korozyona dayanımlı alaşım üretiminde kullanılan ve bu anlamda ikamesi olmayan stratejik bir hammaddedir. Bu açıdan başlıca çelik, kimya ve pil sanayinde kullanılan nikelin son 3 yıl içerisinde fiyatı dünyadaki talebe bağlı olarak, yaklaşık 5 kat artmıştır.

2.1.7 Nikelin Kullanım Alanları

Nikelin büyük bir kısmı diğer metaller içine katılarak çeşitli alaşımların üretiminde tüketilmektedir. Nikel içine katıldığı metallerin fiziki mukavemetini, kimyasal bozunmaya karşı dayanıklılığını, parlaklığını, elektriksel ve ısısal özelliklerini arttırmaktadır.

Özellikle nikelli çelik üretiminde bol miktarda tüketilmekte olup, %0.5-7 Ni içeren çelikler düşük nikelli, %7-35 Ni içeren çelikler ise yüksek nikelli çelikler şeklinde tanımlanmaktadır. Ayrıca bakır, krom, alüminyum, kurşun, kobalt, mangan, gümüş ve altın ile olan alaşımları da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Nikelli çelikler çeşitli makinaların ve aletlerin çok hareket eden kısımlarının yapımında ve paslanmayı önlemek amacıyla yüzeylerin kaplanmasında kullanılmaktadır. Bu amaçla özellikle iş makinaları, otomobil, uçak, gemi, kesici-öğütücü ve çelik mutfak eşyalarının imalinde tüketilmektedir. Nikelli bakır alaşımları

para ve bronz malzeme imalinde kullanılmaktadır. Bunların dışında az miktarlarda da olsa pil, makyaj malzemesi, boya katkısı, katalizör ve haşerat ilacı üretimlerinde kullanılabilir (A.,Gökçe;1995).

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 araç 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 (DPT VII. Beş Yıllık K.Planı ÖİK Raporu). Madencilikte paslanmaz boru, aşınma ve kırılma dayanımı yüksek iş makinaları kırma öğütme cihazlarında kullanılır (Ni-Hard I ve Ni Hard II.) .

Nikel kullanım alanları Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.8 Nikelin kullanım alanları (Minerals Handbook 1998-1999)

Kullanım alanları	ABD %	Japonya %	Almanya %
Paslanmaz çelik ve Alaşım Çelikleri	49	87	63
Demirdışı Alaşımlar	29	2	24
Elektro kaplama	15	3	4
Diğerleri	7	8	9

2.1.8 Üretim Teknolojisi

Nikel yataklarının arama ve işletme yöntemleri ve bunların ekonomik değerlendirilmeleri doğrudan yatak ve cevher tipine bağlıdır. Bu nedenle likid

magmasal nikel yatakları, hidrotermal yataklar, silikatik- lateritik nikel yatakları ve sülfürlü nikel yatakları için uygulanan teknolojiler ayrı ayrı ele alınacaktır.

2.1.8.1 Madencilik

2.1.8.1.1. *Likid Mağmasal Nikel Yatakları.* Bu yatakların aranması ve işletmeye geçmesi riskli ve pahalıdır. Uygun jeolojik veriler ve mostralar varsa, sondaj ve diğer madencilik işlemleriyle arama kaçınılmazdır. Kompakt cevherlerde aramadan sonra, arama işlemlerinin kapsamı ve cinsi hakkında karar verilebilir. Cevher impregnasyonlu cevherse ve tenörü endüstriyel asgari tenör civarındaysa, arama işlemleri kapsamı çok daha geniş olacaktır. Yatağın ortalama tenörü konusunda risk faktörlerini azaltmak amacıyla yatırım (yatağın metal değerinin %5'ine kadar) gerekmektedir.

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

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

2.1.8.1.3 *Silikatik-Lateritik Nikel Yatakları.* Yüzeide buldukları için arama daha kolay olmaktadır. Cevher tenör dağılımının ortaya konulması önemlidir. Tenör düşey yönde karakteristik değişimler gösterir. Yatay konsantrasyon yuvaları düzenli olmadığından arama ağının sık tutulması gerekmektedir. Lateritik cevherleşmelerin hepsinde açık işletme yöntemiyle üretim yapılmaktadır. Bu işletmeler oldukça büyük üretim kapasitelerine sahiptirler. Madencilik yönünden hemen hemen hiç patlatma ve dekapaj sorunu görülmemektedir.

Bu yataklarda tek dezavantaj düzensiz nikel dağılımı nedeniyle kimyasal bileşimi sabit cevher üretilmesidir. Bu nedenle bazen çok merkezli üretim, uzun nakliye ve parçalama işlemleri gerektirmektedir. Maliyeti arttıran bir diğer faktörde; cevherleşmenin ince bir kabuk halinde bulunması nedeniyle çok geniş alanlara yayılması ve buna bağlı olarak istimlak ve rekültüvasyon (çevrenin düzenlenmesi) masraflarının yüksek olmasıdır (Ü.Cöcen;1980).

2.1.8.1.4 Sülfürlü Nikel Yatakları. Nikel yatakları madenciliği yatağın eğim, kalınlığı ve yan taşın durumuna göre madencilik yöntemi seçilmekte ve sülfürlü yataklarda açık ve yeraltı işletmesi kombine edilmektedir. Ancak dünyada bu tip yatakların % 95'inde kapalı işletme yöntemleriyle üretim yapılmaktadır. Mekanize yöntemlerle büyük miktarlarda üretim yapılırken küçük yataklarda ilkel işletme yöntemleri uygulanmakta ve dolayısıyla üretim miktarı çok düşük olmaktadır. Hidrotermal nikel damarları kalınlıkları 0,2-10 m arasında değişmektedir. En sık uygulanan yöntemler ise ara katlı göçertme, oda-topuk, ramblesiz magazin ve kademeli arın yöntemidir. Genel olarak nikel madenleri, küçük çaptaki madencilik kapsamında işletilmektedir. Bilinen nikel işletmelerinin çoğunda günlük üretim 500-1000 ton/gün arasında değişmektedir(Anales Des Mines,1978).

2.1.8.2 Zenginleştirme

Nikel Cevherlerinin yalnız sülfürlü olanları iyi verimle zenginleştirilebilmektedir. Silikatik cevherlerin hazırlama ve zenginleştirme sorunları henüz çözülememiştir. Bu yüzden de silikatik cevherlerdeki endüstriyel asgari tenör çeşitli ve yüksektir. Sülfürlü Ni-Cu cevherleri genelde flotasyonla zenginleştirilmektedir. Nikel ve bakırın ayrı ayrı veya birlikte zenginleştirilmesi cevherin mineralojisi ve dokusunun yanında metalurjik kazanmaya bağlıdır. Cevher içinde olivin, orto-piroksenler ve serpantin gibi silikatların bulunması, sülfürlü minerallerin silikatlar içinde kılcal şekillerde büyümesi, talk gibi ikincil silikatların miktarı zenginleştirme verimini düşürmektedir (Ö.Öztunalı;1973).

*2.1.8.2.1 Sülfürlü Nikel Cevherlerinin Zenginleştirilmesi.*Düşük tenörlü cevherler genellikle %2 den daha yüksek tenörlü olacak şekilde zenginleştirilmekte ve metalurji tesislerinde önce kavurma yoluyla kükürtlere atılmakta daha sonra ise eritilmekte ve karbonla indirgenerek Ni, Cu, Fe içeren ürün elde edilmektedir. Elde edilen üründen Fe ayrılmakta ve geriye kalan %75 Ni+Cu içeren metal ya doğrudan kullanılmakta veya özel izabe yöntemleri ile Cu ve Ni birbirinden ayrıldıktan sonra elektroliz yöntemiyle saf nikel metali elde edilmektedir.

Günümüzde %0,3-0,5 Ni tenörlü sülfürlü nikel cevherlerinin değerlendirilebilmesi için öncelikle zenginleştirilerek % 4-12 Ni tenörüne getirilmesi gerekmektedir. Pirotinli cevherlerde genelde manyetik ayırma, diğer cevherlerde ise flotasyonla zenginleştirme yapılmaktadır. Zenginleştirme işlemi sonucunda nikel cevherinde bulunan Cu, Co, Pt grubu metaller Au, Ag gibi elementler yan ürün olarak kazanılarak, cevherin ekonomik değerini arttırmaktadır. Sülfürlü nikel cevherleri zenginleştiren tesislerin kapasiteleri oldukça büyüktür. Sudbury de (14.000 ton/gün) ve Clarabella da ki (35.000 ton/gün) gibi sülfürlü Ni cevherlerinin işlendiği büyük kapasiteli tesislerde vardır (Ö.Öztunalı;1973).

*2.1.8.2.2 Lateritik Nikel Cevherlerinin Zenginleştirilmesi.*Lateritik nikel cevherleri zenginleştirme işlemine tabi tutulmadan izabe yoluyla kazanılmaktadır. Ancak ABD deki Riddle silikatik nikel yatağında; selektif kırma yöntemiyle tenörü %1,4 Ni olan cevher tenörü %1,6 Ni'ye çıkarılmaktadır (Ö.Öztunalı;1973).

2.1.8.3 Metalurjisi

Hangi nikel minerali olursa olsun nikel tenörü daima düşüktür, diğer metallerin, özellikle demirin varlığı, nikelin izole edilmiş olduğu bir alaşım elde etmeye meydan vermedikçe nikel, doğrudan doğruya cevheri eritmek sureti ile elde edilemez. Bu nedenle sülfürlü bakır minerallerine uygulananlara yakın bazı metodlarla cevheri zenginleştirmek gerekmektedir (Ö.Öztunalı;1973).

2.1.8.3.1 Sülfürlü Nikel Cevherlerinin Metalurjisi. Bu tip cevherlere genellikle öncelikle pirometalurjik yöntemler uygulanmaktadır. İzabe işlemi kavurma, ergitme konvertaj olmak üzere üç aşamalıdır. İşlemin prensibi % Ni içeren cevherden kükürdü düşük sülfürlü Ni konsantresi elde etmek için «Wedge» mekanik fırınlarında cevherin kavrulması esasına dayanır. Ancak kavurma işleminden önce konsantre % 20 oranında kek ile % 10 oranında jips ilave edilerek gerçekleştirilir. Böylece cevher içindeki demir ve kükürt oksitlenirken, nikel ve bakır sülfürle kavurma sıcaklığında oksijene olan afinitelerinin demir ve serbest kükürde göre yüksek olmalarından dolayı değişikliğe uğramazlar. Kavurma işleminden sonra Cu-Ni ergitme yoluyla curuftan ayrılmaktadırlar. Buradan alınan nikel ham matı konverterler den geçirilip soğutulmakta, daha sonra ise nikel Ni_3S_2 halini almaktadır. Bu işlem sonucunda nikel oranı %40-48 arasında değişen nikel matı elde edilmektedir. Bu oran kırma, öğütme, flotasyon ve manyetik ayırma gibi zenginleştirme işlemleri sonucunda %75'e kadar çıkabilmektedir. Elde edilen Ni matı anotta elektrolize tabi tutularak Ni metali elde edilmekte ya da oksitleyici kavurma, redükleyici ergitme işlemleri ile metal anot olarak kullanılıp metal elde edilmektedir. Bu işlem sırasında nikel katotta iken kükürt, platin, altın, gümüş anotta birirmektedir. Oldukça karışık olan bu metod 1915'den beri kullanılmaktadır (Ö. Öztunalı;1973).

2.1.8.3.2 Lateritik Nikel Cevherlerinin Metalurjisi. Özellikle yüksek demir tenörlü lateritler için mevcut metodlar uygulanmıştır. Sülfürlü cevherlerde olduğu gibi lateritik nikellerin izabesi de cevherin tipine göre değişmektedir. Silikatik cevherler genellikle pirometalurjik, oksidik cevherler de hidrometalurjik yöntemlerle izabe edilmektedir. > %5 MgO ve >% 30 SiO₂ içeren lateritik nikeller pirometalurjik yöntemle zenginleşirken, <%2 MgO ve <%5 SiO₂ içeren oksidik laterit nikel cevherleri hidrometalurjik yöntemlerle değerlendirilmektedir (Canterford 1978, Kaestner ve Arkadaşları 1978).

Ferronikel ve nikel matı için iki ayrı pirometalurjik proses uygulanmaktadır. Ferronikel elde etmek için öncelikle redükleyici kavurma ve ergitme işlemi uygulanmakta ve konverterlerde demir ve kükürt oksitlenerek Ni oranı %19-50

arasında değişen ferronikel elde edilmektedir. Nikel matı elde etmek için ise; ham cevher kükürt ilavesi ile ergitilerek nikel sülfid halinde redüklenmekte ve curuftan ayrılmaktadır.

Konverter de; demir ve kükürt oksitlendikten sonra %78'e kadar nikel içeren sülfür matı elde edilebilmektedir. Hidrometalurjik yöntemle üretilmekte olan lateritik nikel cevherleri genellikle oksidik cevherlerdir. "Caron" metodu uygulanan bu lateritlerde mineral önce 1000°C civarında gazojen gazı ile indirgenmekte ve ferrik oksit ile karışık metalik halde nikel ve kobalt elde edilmektedir. Bu karışım amonyum karbonat ve amonyaktan oluşan bir solüsyon içerisine konularak nikel amonyaklı bir kompleks haline getirilmektedir. Bu amonyaklı solüsyonun süzülmesi ve buharlaştırılması ile bazik nikel karbonat elde edilmektedir. Kalsinasyon işlemi sonucunda %77 Nikel ve %0,58 Kobalt içeren bir ürün elde edilmektedir. Bundan sonra ise mevcut metodlar ile kimyevi bir ayırma yapılabilir(Canterford 1978, Kaestner ve Arkadaşları 1978).

2.1.9 Nikel Cevherlerinin Zenginleştirmesine Yönelik Uygulamalar

2.1.9.1 Dünya'dan Örnekler

Dünya'da nikel zenginleştirilmesi için uygulanan yöntemler lateritli veya sülfidli cevherler için Bacon, Simons ve Taylor tarafından geliştirilmiştir. Bu prosesler iki kategoriye ayrılırlar.

- Pirometalurjik proses
- Hidrometalurjik proses

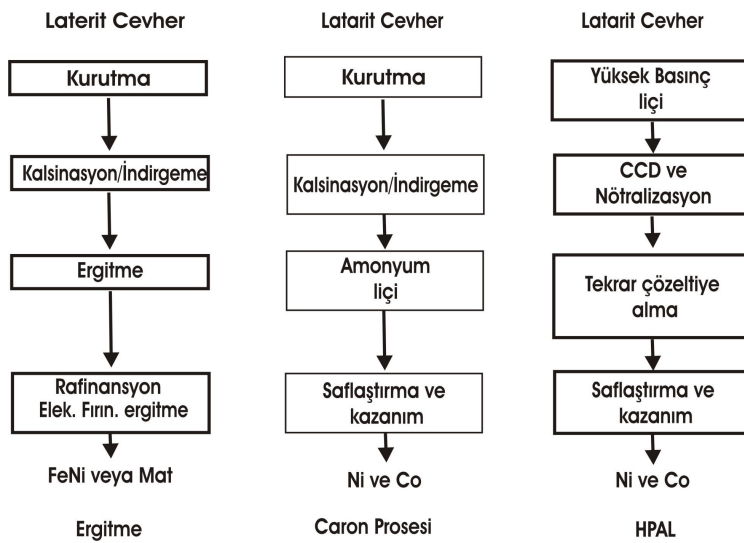
Dünya pirometalurjik proseslerin büyük çoğunluğunda (ferronikel ve mat ergitme) kurutma, kalsinasyon/indirgeme ve elektrik fırınlarda ergitmeyi içeren akım şeması kullanılmaktadır.

Dünya genelinde Hidrometalurjik prosesin iki prensibi uygulanmaktadır;

- Caron proses
- HPAL process

Bu proseslerin akım şemaları Tablo 2.9’da gösterilmiştir.

Tablo 2.9. Proseslerin Akım Şeması(C.Osbarne, R.Bacan,G.Dalvi;2004)



Pirometalurjik Proses: SLN Doniambo, Japonya Fe-Ni ergitmeleri, Pomalaa’da Aneka Tambang “Yüksek karbonlu ferro-nikel üretimi”

Nikel Tenörü : >2,2%Ni

Düşük Fe/Ni oranı:(5-6)

Yüksek MgO

❖ Cerro Matoso

Düşük Karbonlu ferronikelin saprolitik cevherlerden (Saprolit zonunda genelde Ni-talk, Ni-simektit ve Ni-serpantin gözlenmektedir. Gerek limonit zonunda gerekse de saprolit zonunda garniyerit dışında bir özel nikel minerali görülmemekte, nikel genelde götit, kil vb. minerallerinin yapısına girmiş şekilde bulunmaktadır) üretimi

Nikel Tenörü $>1,5\%Ni$

Fe/Ni oranı: ($\sim 6-12$)

Yüksek MgO veya yüksek SiO_2 (Cerro Matoso)

❖ P.T Inco

Mat ergitme ile Ni üretimi

Fe/Ni oranı >6

Düşük Ergitme sıcaklığı ($<1600^\circ C$)

SiO_2/MgO oranı 1,8/2,2

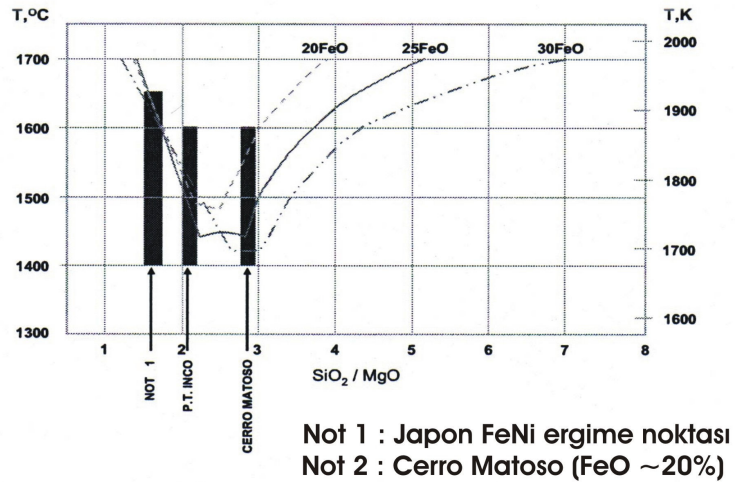
Lateritik cevherler için pirometalurjik görüşler Taylor , Simons, Bergman, Diaz ve Ozberk tarafından geliştirilmiştir.

Pirometalurjik prosesler cevhere hakim olan saprolit mineraline uygulanmaktadır. Bu cevherler (saploritik cevherler) limonitik cevherlerle karşılaştırıldığında oldukça düşük Co ve Fe içermektedirler. Ergiticiye beslenen Ni/Co oranı genellikle ~ 40 civarındadır. Bu cevherler ferro-nikel veya matnikel ürünleri için ergitilmektedir.

Pirometalurjik prosesler de cevher kurutulup, kalsine edilip, (ve bazen indirgenip) döner fırın ve karbonlu elektrikli ocaklarda ergitilmektedir. Eğer mat ürün elde edilmek isteniyorsa daha sonra fırına sülfür verilmekte ve ham metal/mat son olarak rafine edilmektedir.

Pirometalurjik prosesler de enerji tüketiminin azaltılması için nem ve suyun giderilmesi gerekmektedir.

Bu nedenle bütün malzemeler özellikle kalsine edilmeli, daha sonra da $\sim 1600^{\circ}\text{C}$ de cüruf'a ergitilmelidir. Ergitmenin gerçekleştirilmesi için hidrokarbonlu yakıtlar (kömür, yağ, nafta) ve elektrik gücü gerekmektedir. (C.Osbarne, R.Bacan, G.Dalvi; 2004)



Şekil 2.8 Nikel Lateritlerinin Ergitme Sıcaklığına Bağlı Olarak SiO_2/MgO Oranındaki Değişim (C.Osbarne,R.Bacan,G.Dalvi;2004)

Curuf ergime noktası SiO_2/MgO oranı ve farklı sıcaklıklarda mat ve cüruf ($100-200^{\circ}\text{C}$ arasında) metal cüruf interfazı, fırının ve curufun karakteristiğine bağlıdır. Cürufun ergime noktası düşük (SiO_2/MgO 1,8-2,2 arasında olduğu zaman) olabilir. Cürufta yüksek ergitme ürünü (SiO_2/MgO oranı <2 veya $>2,5$) ferronikele daha yatkındır. SiO_2/MgO ortalama oranı 2,3-2,5 olan cevherlerin ergitme işleminden önce iyi bir harmanlanması gerekmektedir. Böylece nikel verimi %90-95 ve Co verimi % 50'ye yükselebilmektedir. (C.Osbarne,R.Bacan,G.Dalvi;2004)

Hidrometalurjik Prosesler:

Hidrometalurjik prosesler Reid ve Bornett, Toylar, Simons, Berezowsky, Urbain ve O'Kane tarafından geliştirilmiştir.

Caron Prosesi:

Caron prosesi; limonitik cevherler veya limonit ve saprolit karışımı cevherler için uygulanmaktadır. Cevher öncelikle kurutulur ve $\sim 700^{\circ}\text{C}$ de metalik nikel (kobalt ve demir ile birlikte) selektif bir şekilde indirgenir. Metalik nikel amonyumlu solüsyonda liç ile elde edilir.

Caron proesi PAL prosesinden Mg miktarı daha yüksek olan cevherler için daha avantajlıdır.

Dünya'da en önemli Caron Prosesini uygulayan tesisler Nicaro, Punta-Gorda, Yabulu, Nonac (şu an kapalı) tesisidir.

Caron prosesinin kurutma, kalsinasyon ve indirgemeyi içeren bir prosesi olması nedeniyle fazla enerji sarfiyatı gerektirmesi, Nikel ve kobalt verimi HPAL ve ergitme prosesinden daha düşük olması en önemli dezavantajdır. (C.Osbarne,R.Bacan,G.Dalvi;2004)

HPAL Proses:

HPAL prosesleri dünya genelinde uygulanmaktadır ve limonitik cevherlere, diğer bir deyişle kuru lateritlere;

Bu proses uygulanacak olan cevherlerin;

- Saprolit (saprolit zonunda genelde Ni-talk, Ni-simektit ve Ni-serpantin gözlenmektedir. Gerek limonit zonunda gerekse de saprolit zonunda garniyerit dışında bir özel nikel minerali görülmemekte, nikel genelde götit, kil vb. minerallerinin yapısına girmiş şekilde bulunmaktadır) içermesi

- Mg oranının $<4\%$ (Mg arttıkça asit tüketimi de artar) düşük olması
- Al içeriğinin düşük olması (Killer fazla asit tüketir) gerekmektedir.

Basınçlı liç Pachuka tanklarında (Moa Bay tesisi örneğinde olduğu gibi) veya titanyum otoklavlarında (daha modern tesislerde) yapılmaktadır. Liç sıcaklığı 245-270°C arasında olup, katı-sıvı ayırımı Counter-Current Decantation (CCD) ile yapılmaktadır. Böylece Nikel içeren solüsyonların ayrılması ve nikel-kobalt ayırımı yapılmaktadır. Modern tesislerde bu ayırma solvent extraction (SX) olarak adlandırılmaktadır. Son olarak elektro-nikel, nikel oksit veya nikel tozu, bazı tesisler de ise orta ürün olarak sülfid karışımları veya hidroksit karışımları üretilmektedir. (C.Osbarne,R.,Bacan,G.Dalvi;2004)

Diğer Hidrometalurjik Prosesler

Dünya çapında birçok yeni proses kurulmaya başlanmıştır. Bunlar:

EPAL Prosesi:

Bu proses de saprolitik cevherler için HPAL prosesi işlemi sırasında asit eklenmektedir. Bu işlem sırasında Saprolit atmosferik basınçta liç edilmekte ve yüksek asit miktarı tüketimi olmaktadır. (Bu miktar 1 t asit/t cevher'e kadar çıkar.) Asit ilaveli uygulamada HPAL prosesinden daha fazla saprolit kullanılmaktadır. BHP-B Ravensthorpe'deki pilot tesiste bu proses uygulanmaktadır.

AL: Atmospheric Leaching- yüksek miktarda saprolit minerali içeren cevherlere uygulanan liç işlemi olarak tanımlanmaktadır.

Asit Yığın liçi (Acid Heap Leaching): Saprolitik cevherler veya limonitik-saprolitik cevher karışımları için uygulanan bir yöntemdir. (C.Osbarne, R.,Bacan, G.Dalvi; 2004)

Tablo 2.10 Geçmiş ve Gelecek Lateritik Süreçleri

İşlem	Şirket	Ülke	Kapasite t/gün	Ürün	Başlama Tarihi	Kapanış	Süreç
Doniambo	SLN/Eramet	Yeni Kaledonya	49	Fe-Ni	1879 / 1958		Ergitme
Hyuga	SMM/Nippon Stee/Mitsui	Japan	11 22	Mate Fe-Ni	1956		Ergitme
Hachinohe	Pasific Metal Co.	Japan	48	Fe-Ni	1966		Ergitme
Saganosaki	Nippon Mining Co.	Japan	6,5	Fe-Ni	1952	1987	Ergitme
Ufaley		Rusya	14	Fe-Ni	1934		Ergitme
Yuzuralıçkel		Rusya	6	Fe-Ni	?		Ergitme
Riddie	Hana Mining- Co/Cominco	Amerika	12	Fe-Ni	1954	1998	Ergitme
Morro Do Niquel	Morro Do Niquel S.A.	Brezilya	2,5	Fe-Ni	1962	1998	Ergitme
Larymna	Larco	Yunanistan	19,5	Fe-Ni	1966		Ergitme
Nicaró	Freport	Küba	23	NiO	1952		Caron
Moa bay	Freport Sulfür	Küba	25	Sülfür Karışımı	1959		HPAL
Debottlenecked General Nickel/ Sherritt JV			6		2000		
Bonao	Falconbridge Dominicana Falconbridge	Dominik Cumhuriyeti	30	Fe-Ni	1971		Ergitme
Exmibal	Inco	Guatemala	11	Mate	1977	1981	Ergitme
Pomalaa	P.T. Aneka Tambang	Endonezya	5	Fe-Ni	1975		Ergitme
Expansiyon			6	Fe-Ni	1995		
Slovakó	P.T. Inco/Inco	Endonezya	45	Mate	1977		Ergitme
Expansiyon			23	Mate	2000		
Surigao	Marinduque/ Freport	Filipinler	35	Biriktirme	1974	1986	Caron
Grenvale /Yabulu	Freport/ Metals Expl	Avustralya	18	Biriktirme	1974		Caron
Debottlenecked QNI/BHP-Billiton			10	Biriktirme			
Codemin	Anglo American	Brezilya	7	Fe-Ni	1982		Ergitme
Niquelandia/ Sao Paulo	Votorantim/ Tocantins	Brezilya	17,5	Elektronik I	1981		Caron
Cerro Matoso	(Hana/Billiton)	Kolombiya	23	Fe-Ni	1982		Ergitme
Expansiyon QNI/BHP-Billiton			27	Fe-Ni	2001		
Kosova	SAP-Kosova	Yugoslavya	12	Fe-Ni	1984	2000	Ergitme
Fenimac	Fenimac	Makedonya	6,5	Fe-Ni	?		Ergitme
Punto Gorda	Union Del Niquel	Küba	31,5	Ni-Oksit	1986		Caron
Murrin Murrin	Anaconda Nickel	Avustralya	40	Ni- Biriktirme	1999		HPAL
Cawse	Centaur	Avustralya	9	Elektro-Ni	1998		HPAL
Bulong	Resolute/Preston Resources	Avustralya	7	Elektro-Ni	1999	2003	HPAL
Loma de Miquel	Anglo American	Venezüella	17	Fe-Ni	2000		Ergitme

2.1.9.2 Türkiye'den Örnekler

Türk şirketi As Krom Madencilik Turizm Nakliye San. Tic.A. Ş (%2.3) ve Birleşmiş Milletler Krallığı'na (%97.7 sermaye payı ile) ait European Nickel şirketinin yan kuruluşu olan Bosphorus Nickel Madencilik A.Ş İzmir yakınlarındaki Çaldağ lateritik nikel oluşumunu pilot çapta kurulmuş tesisle değerlendirmektedir. Bosphorus Nickel ilk olarak 2004'de 3 deneme yığın asit liçi projesi ile başlayıp, 2005'de fizibilite çalışmalarını tamamlamayı hedeflemiştir ve buna bağlı olarak nikel-kobalt hidroksit üretim tesisi planlanarak yapılması öngörülmüştür.

Asit liçinde; kırılmış cevherden büyük cevher yığınları oluşturulup bu yığın içinden asit (Çaldağ örneğinde Sülfürik asit) geçirilmektedir. Asit cevheri çözmekte ve nikel bakımından zengin çözelti oluşmaktadır. Bu çözeltide ki cevheri geri kazanmaktadır. Bu işlem süresince çözelti tanklara alınarak çeşitli kimyasal prosesler sonucu NiCo-OH olarak çöktürülmekte ve %0,6 Ni değerine kadar cevher zenginleştirilebilmektedir.

Üretime 2007 sonunda geçmesi planlanan tesis 15,000 ton/yıl Ni üretimi ve 800 ton/yıl kobalt üretimi hedeflenmektedir. Madencilik programları çerçevesinde çalışmalar tamamlandıktan ve ikinci bir 3,500 metrik ton cevher nakliyesinden sonra Birleşmiş Milletler'e ait Oriol Resources şirketi Meta Madencilik Sanayi Enerji Turizm İç ve Dış Tic. Ltd.Şti'nin girişimde bulunduğu Gördes nikelini çıkarıp işlemeyi de hedeflemektedir(The Mineral Industry of Turkey By Philip M.Mobbs).

BÖLÜM ÜÇ

ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEM SEÇENEKLERİNİN İRDELENMESİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Çaldağ (Turgutlu-Manisa) Demirli Nikel Cevherinin Yapısal Özelliklerine Göre Zenginleştirilmesi

Zenginleştirme çalışmalarında yoğunluğa dayalı zenginleştirme jig, manyetik zenginleştirme, sallantılı masa, flotasyonla zenginleştirme ve son olarak da liç yöntemleri uygulanmıştır.

3.2 Önceki Çalışmalar

Çalışma alanını kısmen etüt etmiş olan Brennich(1960), Domuzsırtı, Çobansırtı ve Susuz yatak arasında 20,000 ton demir rezervi olduğunu, Çaldağ'daki ultrabaziklerin durgun su altında ayrışmaya uğraması ile lateritleşmeyi oluşturduğu böyle bir ortamın bataklıklar içeren vadilerde oluşabileceğini vurgulamıştır.

Sözen(1967) ise; Çaldağ'da ki zuhurların lateritik oluşumlar olduğunu belirterek, alandaki demir cevherinin tabanındaki serpantinlerden geldiğini ileri sürmüştür. Serpantinlerin ilksel kayacı olan ultrabaziklerin demirce zengin olması, kalıntı yataklar için gerekli koşulların en önemlisini sağlamaktadır. Serpantinler üzerindeki çukur zonlara eriyikler halinde taşınan ya da kapiler olarak var olan yüksek demirli eriyikler burada çeşitli koşullarda çökelmiş ve korunmuşlardır. Bu çukurlar aynı zamanda diğer ayrışma ürünlerinin de birikim yerleridir. Kimyasal ayrışmalara dayanıklı olanlar bu küçük havzalarda korunmuşlardır. Böylece kalıntı tipi yatak oluşumuna neden olmuşlardır. Diğerleri ise ayrılarak taşınmışlardır. Yapılan etüd çalışmalarında 10m derinlik için 50,000 ton görünür demir rezervi verilmiştir.

Önder(1974), çalışma alanında ofiyolitlerin üzerini lateritik bir kabuğun örtüğünü belirtmektedir. Alanda görünen lateritik zonları alttan üste şöyle sıralar;

- a)Kaolenize ofiyolitler
- b)Sert cevher
- c)Sarı renkli gevşek dokulu cevher zonu
- d)Karbonatlı zon
- e)Limonitli çimentolu breş zonu
- f)Jel silis zonu
- g)Toprak örtü, olmak üzere yedi zondan oluştuğunu savunmuştur.

Yıldız(1977), Çaldağ'da ki nikel yatağının maden jeolojisi ve ekonomik potansiyeli konusunda yaptığı çalışmalar sırasında ortalama kalınlığı 50 m. olan lateritik zonun yukarıdan aşağıya doğru şöyle ayırmıştır.

- 1)Koyu kahverengi, bol silisli, limonitli sert kabuk
- 2)Hematitli, limonitli, az silisli, yer yer nikelli zon
- 3)Sarımsı, kırmızımsı turuncu renkli toprağımsı limonit (nikelce zengin) cevherli zon
- 4) Sarımsı, yeşilimsi, kahverengi ayrıışmış toprağımsı serpantinit (nikelce zengin) cevherli zon
- 5)Yeşilimsi, kahverengi kısmen ayrıışmış serpantinit zon

Yıldız(1977), cevherli zonların ortalama nikel tenörünün %1'den fazla olup yer yer %15'e kadar ulaştığını vurgulamıştır.

Şahin ve Helvacı(1980), Çaldağ çevresinde birimleri otokton, allokton ve örtü birimleri olarak üçe ayırmıştır. Otokton birimlerin paleozoik yaşlı metamorfik birimle üst kretase yaşlı dolomit ve kireçtaşı birimlerinden oluştuğunu belirtmiştir. Örtü birimleri Pliyosen tortullardan oluşmakta olduğunu savunmuştur.

Araştırmacılar peridotit ve serpantinlerin atmosferik koşullarda ayrıışması ile gelişen lateritleşme sonucu, kalıntı tipi Fe ve Ni cevherlerinin oluştuğunu belirtmiştir.

Alttan üste doğru hematitli limonitli zon, silisli limonitli zon, silisli zon, karbonatlı zon ve toprak örtü düzeylerini içeren lateritik kabuk ile ayrılmış peridotitlerin dokanağında, nikelce zengin bantlı düzey yer alır. Yaklaşık %1 oranındaki nikel tenörü temel kayalara ve lateritik kabuğun üst seviyelerine gidildikçe azalır (Şahin ve Helvacı,1980).

Cöcen(1981), çalışmalarında, lateritik nikel cevherinde Ni eldesindeki endüstriyel uygulamaları ile değerlendirme biçimlerini ve çalışmaları sonucu Çaldağ Ni cevheri için hidrometalurjik yöntemlerin daha uygun olacağını vurgulamıştır. Ayrıca optimal koşullarda asidik çözündürmede %90 nikel verimi sağlanırken cevher içindeki demirin ancak %75'inin çözeltiye geçtiğini saptamıştır.

Çağatay ve Ark. (1982), yatağın üst Kretase-Eosen arasında lateritleşmiş, ancak lateritleşme sürecini tamamlamamış, Eosen çökelleri tarafından örtülmüş bir yatak olduğu ve bilinen lateritik Ni yataklarında nikelin nikel-silikatlar şeklinde olmasına karşın Çaldağ yatağında nikelin Ni-Co Asbolana bağlı olduğunu ileri sürmüştür.

Yaman ve Ertekin (1982); çalışmalarında Çaldağ Nikel cevherinin Gravimetrik-manyetik ve flotasyon yöntemiyle zenginleştirme çalışmaları sonucu olumsuz olmasının cevher minerallerinde serbestleşme olmamasına ve kompleks bir yapıya sahip olmasından ileri geldiğini öne sürmüşlerdir.

Ayrıca bunların dışında;

Akgül(1982), Çaldağ (Turgutlu) güneyinin jeolojisi ve nikel oluşumu, Çalapkulu ve Pişkin (1980), Contribution to the metallagenic study of the Çaldağ (Manisa-Turkey) Nickel-ferrous mineralisation, Karaçuha (1981),Çaldağ(Turgutlu) batısının jeolojik incelenmesi, Oğuz, (1967), Çaldağ'da (Manisa) jeolojik bir araştırma, Philips (1964) Wirtschaftige Geologie-Erzkunde (1967) Çaldağ'da (Manisa) jeolojik bir araştırma adlı çalışmalar yapılmıştır.

Ünlü (1976); Çaldağ yukarı demir ocakları cevher etüd çalışma raporu MTA Teknolojisi Dairesi Başkanlığı ön raporları, Şahin (1982) tarafından Çaldağ (Turgutlu) çevresinin jeolojisi gibi birçok çalışmalar yapılmıştır.

3.3 Turgutlu-Çaldağ Nikel Tesisinin Tanıtılması

Londra da kurulmuş olan lateritik nikel işleme amaçlı European Nickel; Bosphorus Nickel'in %98 hissesine sahiptir. Halka açık bir şirket olup, European Nickel'in Balkanlarda da yatırımları mevcuttur. Arnavutluk'ta Adriatic Nickel isimli şirketi ile nikel ile ilgili tecrübeleri olmuştur. Balkanlarda Sırbistan'da lateritik nikel maden sahaları mevcuttur.

BNM Ticaret A.Ş. 2002 yılında nikel madeni araştırma ve işletme amacıyla Türkiye'de kurulmuş yabancı sermayeli bir Türk şirkettir.

Mir Madencilik Şirketi ile rodövans sözleşmesi imzalayarak Çaldağ mevkiinde faaliyete başlayan BNM, 2003 yılında 40,000 ton %1,35 içerikli nikel cevheri ihraç etmiştir.

Çaldağ Pilot Tesis

Yığın Liçi Özet Bilgileri ve Amacını da şöyle özetlemektedir:

- Çaldağ'da pilot tesis deneme yığın liçi yöntemini Nikel –Oksit cevherinde uygulanmaktadır.

Pilot tesis olarak kurulmuş olan tesiste;

—Sülfürik asit, kireçtaşı, sodyum karbonat, polimer ve su kullanarak “asidik yığın liç işleminin” Çaldağ nikel laterit madenine uygulanabilirliği, ayrıca cevher içerisindeki nikelin asitli çözeltiden çöktürme yöntemiyle çevreye zarar vermeden ayrılabilirliğinin,

- Tüm çalışmaların Dünyada ki örneklerinin standardında olacağı,
- Prosesin, çevreye öngörülen limit değerlerin üstüne zarar vermeyeceği,
- Düşük tenörlü nikel madeninin ekonomiye kazandırılabilmesi,
- Ayrıca “endüstriyel boyutta” projeye yönelik ekonomik verilerin elde edilmesi hedeflenmiştir.

Tesiste kullanılacak olan seyreltik sülfirik asit Ni ve Fe'in ayrıştırılması için kullanılmaktadır. Ayrıca; nedenleri, asit solüsyonu değerli metaller içereceğinden, asit kaybına hiçbir şekilde meydan verilmeyecektir. Sülfirik asit, çelik tanklarda uygun şartlarda, koruma altında tutulmaktadır. Çözeltideki asit, asit likör (çözelti) devresine alınmadan önce, havuzlarda %95 su ve %5 asit oranına kadar inceltilecektir.

Yığınların Dizaynı Sırasında;

—Yığınlar ve havuzlar çift katmanlı geçirmez tabaka üzerine inşa edilmesine dikkat edilmiş olup, alttaki ilk tabaka, geçirgenliği 10^{-8} m/sn. olan sıkıştırılmış kil tabakası, üstteki geçirgenliği 10^{-13} m/sn. HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen tabaka) ile sıralı şekilde inşa edilmiştir. Bu metot, uygulamada gerekenleri fazlasıyla karşılamaktadır.

Şantiye alanında havuzlar inşa edilmiştir ve tüm alan geçirimsiz katman haline getirilmiştir. Deneme yığın liçinde, birinci sızdırmaz katmanı geçen solüsyon olursa, kil katmanında tutulup nötr hale gelecek ve en alttaki sızıntı gözetleme katmanında birikecektir. Dünyada yaygın olarak uygulanan büyük ölçekli bakır yığın liçi yönteminde uygulanan sistem de aynıdır.

Yığın Liçi İşlemi Sonucunda Atılacak Olan Atık Maddeler

Atık maddeler, düşük oranda çözünürlüğü olan, tehlike arz etmeyen demir oksit maddesidir. Atık maddeler uygun şekilde dizayn edilmiş olan bölümde depolanmaktadır.

Rehabilitasyon çalışmaları için yapılan çalışmalar aşağıdaki işlemler uygulanacaktır;

Yığın liçi, çözülebilir metalleri ayrıştıracaktır. Seyreltik asit ile sulama işleminden sonra, Yığın tekrar değerli asit solüsyon (çözelti) ile kalıntılarını ayrıştırmak için yıkanacaktır. Yıkanan yığın, sonrasında, gerekirse kireç ilave edilerek nötr hale getirilecektir. İçinden metalleri alınmış toprak yapısı olacaktır. Rehabilitasyon olan yığın tehlikesizdir. Deneme yığın liçi işlemi, bu rehabilitasyon yöntemi ve işlemden geçen yığının uzun dönem denetimini mümkün olduğunu gösterecektir.

Proses ise

—Kırma, eleme ve aglomerasyon işlemi

—Liç işlemi

a)Cevher yığını hazırlama

b)Ortalama %5 asit içeren seyreltik çözelti hazırlanması

c)Bu seyreltik çözeltinin yığınlara damlatılma işleminin başlaması olmak üzere üç kademeli yapılmaktadır.

—Nikel ve diğer metallerin çözültiden ayrılması

(Çökeltme ve diğer metalleri çözültiden ayrılması)

Prosesde Kullanılan hammaddeler

—Cevher

—Su

—Sülfürik asit (Ortalama %5 oranında)

—Kireç

—Sodyum Karbonat

—Polimer (Aglomerasyon/Bağlama için) den oluşmaktadır.

Deneme çalışmasında ise işletmede 24 saat deneyimli teknik personel bulundurulmaktadır.

—Liç işlemi yapılırsa; Çaldağ maden sahasındaki maden yatağının muhtemel rezervinin, toplam 38,000,000 ton olacağı hesaplanmıştır.(Liç işleminde kullanılabilir en düşük tenör %1,05 alındığında, ortalama tenör %1,5 olmaktadır.)

—Deneme çalışması kapsamında yıllık maksimum 21,000 ton cevher zenginleştirilmesi planlanmaktadır.

—Bu çalışma sonunda saha eski haline geri döndürülecektir.

3.4 Ön Araştırmalar

3.4.1 Numune Alma ve Hazırlama

D.E.Ü. Maden Mühendisliği Bölümüne getirilen numune Manisa-Turgutlu-Çaldağ Bölgesi Lateritik nikel cevherleşmesi gösteren Kuzey ve Güney Ocaklardan alınan 4 farklı türden oluşmaktadır. . Bu numuneler;

1—Hematitli Ocak (En Kuzey): Numune karbonatsız serpantin ve karbonatsız silikalı laterit

2—Hematitli Ocak:Karbonatsız silikalı laterit

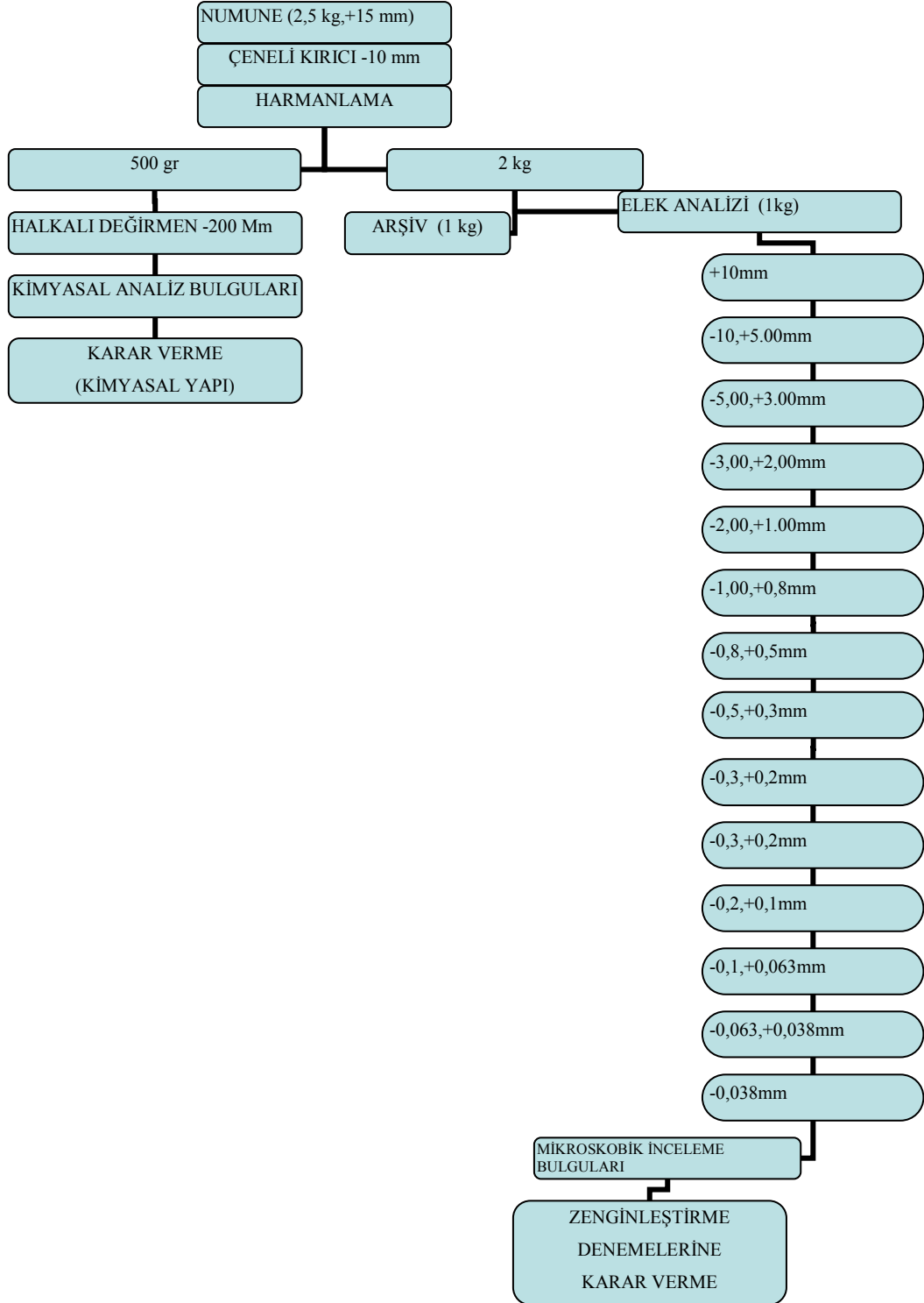
3—Güney Ocaktan:Karbonatlı az silikalı laterit

4—Güney Ocaktan:Karbonatlı serpantin olarak adlandırılmıştır.

Cevherin yaklaşık %70'inin tane boyutu -15mm olarak saptanmıştır ve numune -10 mm boyutuna indirilebilmek için öncelikle çeneli kırıcıda kırılmıştır.

Yapılan kırma işlemi sonucunda temsili olarak alınan numune elek analizine tabi tutulmuş ve her fraksiyon mikroskop da incelenmiştir. Bu testler alt başlık olarak aşağıdaki sistematiğe incelenecektir. Tablo 3.1. de zenginleştirme aşamasına kadar olan süreçte numunelerin hazırlanışı gösterilmiştir. (Bkz Bölüm 3.4.3).

Tablo 3.1 Numune hazırlama Akım şeması



Ham cevherden sallantılı masaya verilecek numunelerden, manyetik seperatöre beslenecek ve diğer zenginleştirme uygulamalarına hazırlanan numunelerden kimyasal analiz yapmak maksadıyla numune alınmıştır. Kimyasal analizin amacı zenginleştirme işleminden sonra elde edilen konsantrelerdeki tenör farklılıklarının ve verimin saptanmasıdır. Yapılan kimyasal analiz sonuçlarından yararlanarak ağır metallerin zenginleştirilmesinde kullanılan kompozit numune üzerinden zenginleştirme yöntemleri seçimine geçilmiştir.

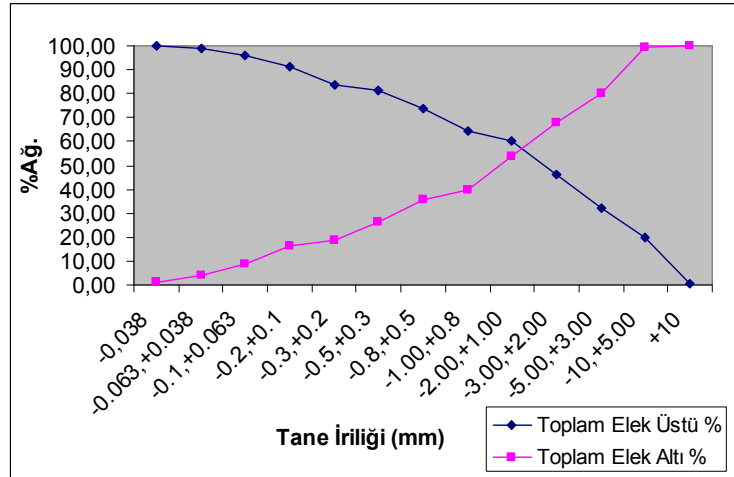
- Jig ile zenginleştirme
- Manyetik zenginleştirme
- Sallantılı masa ile zenginleştirme
- Flotasyon
- Liç deneyleri (H₂SO₄)
 - a) Ham cevher (kompozit -10,-5,-1mm)
 - b) Kalsinasyon (-10,-5,-1mm)

Öncelikle numune gravimetrik zenginleştirme için -1 mm altına indirilerek Russell eleklerle -1+0.5, -0.5+0.3, -0.3+0.1, -0.1+0.063,-0.063 mm olmak üzere sınıflandırılmış ve sallantılı masaya verilmiştir. Sallantılı masa şlamına ise oksit flotasyonu uygulanmıştır.

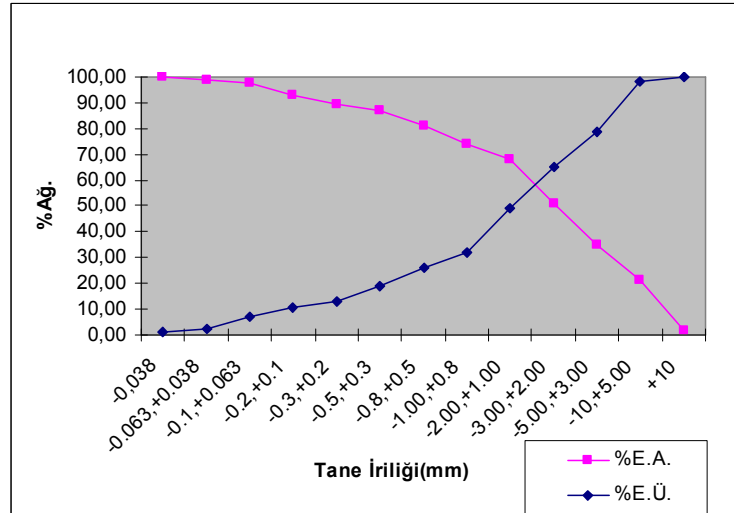
Diğer malzemeler manyetik zenginleştirmeye tabi tutulmak için -1+0.5, -0.5+0.3, -0.3+0.1 ve -0.1 mm'ye sınıflandırılmıştır ve +2mm boyutundaki malzeme gözlem yapmak amacıyla jig'e beslenmiştir.

3.4.2 Elek Analizleri

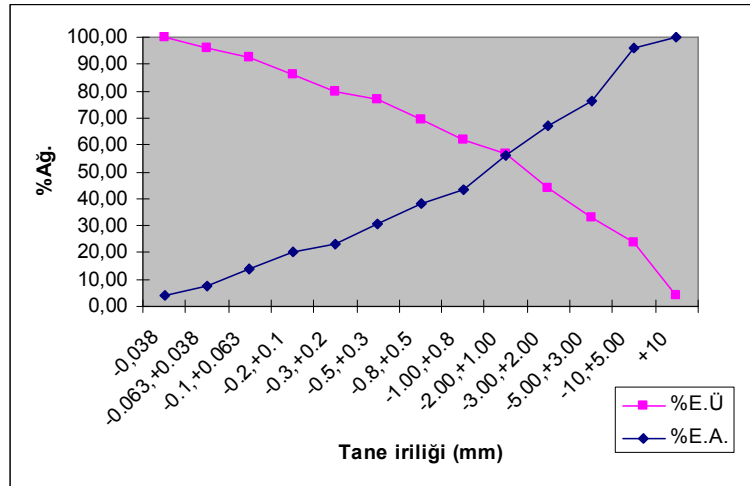
Yapılan kırma işleminden sonra ham cevherden numune alınarak elek analizi yapılmıştır (Şekil 3.1.). Ayrıca fraksiyonların mikroskobik tetkik sonuçları ise 3.4.3. nolu başlıkta belirtilmiştir.



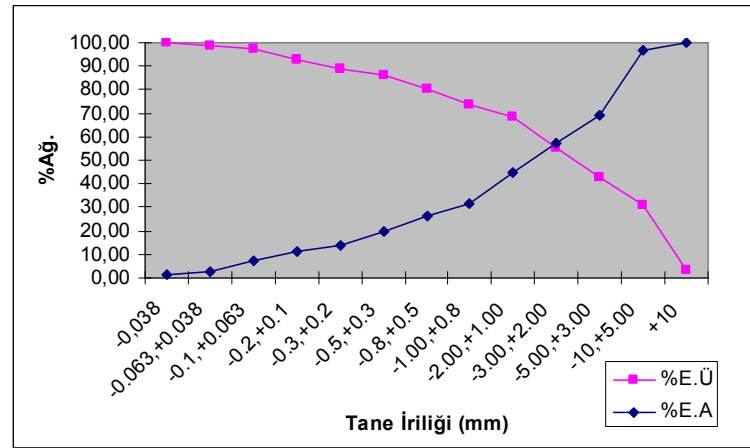
Şekil 3.1 Kuzey 1 Ocaktan Alınan Cevherlerin Elek Analizi.



Şekil 3.2 Kuzey 2 Ocaktan Alınan Cevherlerin Elek Analizi.



Şekil 3.3 Güney 1 Ocaktan Alınan Cevherlerin Elek Analizi.



Şekil 3.4 Güney 2 Ocaktan Alınan Cevherlerin Elek Analizi.

Ayrıca; manyetik zenginleştirme ve sallantılı masaya besleme yapabilmek için her numuneden toplam ayrı ayrı temsili 8'er kg. alınıp hazırlanan bu kompozit numune Russell eleğe beslenmiştir. Üretilen elek metal analiz sonuçları Ek 3-4-5-6'da verilmiştir.

Russell Elek ürünlerinin ağırlık olarak yarısı manyetik separatöre yarısı da sallantılı masaya verilmek üzere besleme ürünü olarak hazırlanmıştır.

3.4.3.Manisa-Turgutlu-Çaldağ Nikel Cevheri Maden Yatağından Alınan Ham Cevher Örneklerinin Elek Analizi Tane Fraksiyonlarının Binoküler Mikroskop İle İncelenmesi

3.4.3.1- 1 Nolu Cevher Numunesinin İncelenmesi

●(+1mm):%85'i sarımtırak renkte demir oksitle boyanmış killer ile %15'i siyah renkli yumuşak kil yapıları bileşenlerden oluşmuştur. Bu görünümü ile mineral tanecikleri metalik bir nikel mineralini göstermiyorlar. Nikel veya diğer elementlerin tane boyutuna bağlı fraksiyonel dağılımını saptamak için kimyasal analiz gerekmektedir. Numuneden alınan örneğin su içinde dağılma testinde kilin bentonitik yapıda bir kil olması gerekir ki kolayca dağılabildiği gözlemlenmiştir. Böylece siyah renkli taneler ile kilin serbest konuma gelmesi mümkün olmaktadır. Bu örneğin yıkanması ile gerek siyah gerekse diğer kil arasından miktarsal olarak az olmakla birlikte gri-beyaz rengindeki mikro boyutta metal taneciklerinin varlığı gözlemlenmiştir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-1+0,8mm tane aralığı):Bir önceki fraksiyonun yapısında sarı ve siyah renkli tanecikler gözlenmiştir. Siyah tanecikler beyaz renkli killerle kenetli konumdadır. Gri-beyaz renkli taneciklerin siyah mineral taneciklerine bağlı olduğu görülmektedir(Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,8+0,5mm tane aralığı):Bu fraksiyonda da bir önceki fraksiyon gibi sarımtırak-siyah renkli kil taneciklerinden oluştuğu görülmüştür. Su içinde dağılması sonunda mikroskop altında metalik beyaz renkli taneciklerin siyah tanecikler yüzeyinde ve az miktarda da olsa serbest konuma geldiği gözlenmektedir (Ek 2'de görülen 1.resim) (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,5+0,4mm tane aralığı):Bu fraksiyonda siyah renkli yine yumuşak kil yapıları tanelerin oranında %5'lik bir artış gözlemlenmiştir. Su içinde dağıtma testi yapıp incelendiğinde ise az miktarda metalik taneciklerin serbest halde bulunduğu gözlemlenmiştir(Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,4+0,3mm tane aralığı): Siyah-sarımtırak renkli ve birkaç yeşilimtırak renkli tanelerin bulunduğu bu fraksiyonun su içinde dağıtılması sonucunda ince tanecikler bunlar siyah taneciklerden ayrılanlar gözlemlenmiştir. (Ek 2’de görülen 2. resim) (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,3+0,2 mm tane aralığı):Yine bu fraksiyonda da siyah ve sarı tanecikler yaklaşık olarak aynı oranda mevcut olup su içinde dağılma testi sonunda bir önceki fraksiyondaki gözlemler tesbit edilmiştir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,2+0,1mm tane aralığı):Bir önceki fraksiyondaki yapı devam etmektedir. Su da dağılımıyla bu fraksiyonunda bir önceki fraksiyonda saptanan görüntüler gözlenmiştir. Bate yapıldığında yoğunluğu fazla olan metalik nabit altın varlığı çok net olarak gözlemlenmiştir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,1+0,063mm tane aralığı):Bate yapıp incelendiğinde gri renkte metalik parlaklıkta nikel gözlenmiştir. Ayrıca bir tane metalik küresel bir altın taneciği gözlenmiştir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

*●(-0,063+0,038 mm tane aralığı):Çok sayıda gri renkli metalik nikel ve bir tane şekilsiz bir tanede küresel özgül altın taneciği gözlemlenmiştir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,038mm):Bate yapıp incelendiğinde yeterli miktarda şekilsiz çok sayıda nikel tanecikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca manyetik demir mineralleri ile bir tane çok belirgin altın taneciği gözlemlenmiştir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

3.4.3.2- 2 Nolu Cevher Numunesinin İncelenmesi

●(+1 mm): Tüm taneler demirli kil taneleri tarafından sıvanmış. Su da yıkandıktan sonra minerallerin ağırlıksal olarak %30’unun beyaz çoğunluğu kalsit

olan minerallerden oluştuğu ve %30'ununda sert demir minerallerinden geri kalan %40'mında su da çözünerek ince boyuta geçen kil bileşenleri olduğu saptanmıştır (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-1+0,8mm tane aralığı): Yine tüm taneler kırmızımtırak demir oksitli mineral taneleri ile sıvanmış olup, su ile yıkandığında bir önce fraksiyondaki bulgular gibi gözlenmiştir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,8+0,5mm tane aralığı): Bir önceki tane aralığında olduğu gibi taneler kenetli olduğu için serbest mineral ve nikel gözlenememektedir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,5+0,4mm tane aralığı): Kenetli taneler hala devam etmektedir. Kenetli konumunu sürdürmektedir. Bu cevher tipinde de bir önceki fraksiyonda olduğu gibi %5 oranında serpantin görülmektedir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,4+0,3 mm tane aralığı): Bu tane fraksiyonunda siyah-morumsu mineral bileşenleri çok sayıda görülüp (%30 oranında) kenetli konumdadır (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,3+0,2 mm tane aralığı): Bir önceki fraksiyonun özelliğini korumaktadır. Kenetli konumdadır. Ancak yüksek alan şiddetli manyetik separatörde % 30 ağırlık oranındaki serbest yüzeyi parlak bileşenlerin manyetik özelliği gözlenmektedir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

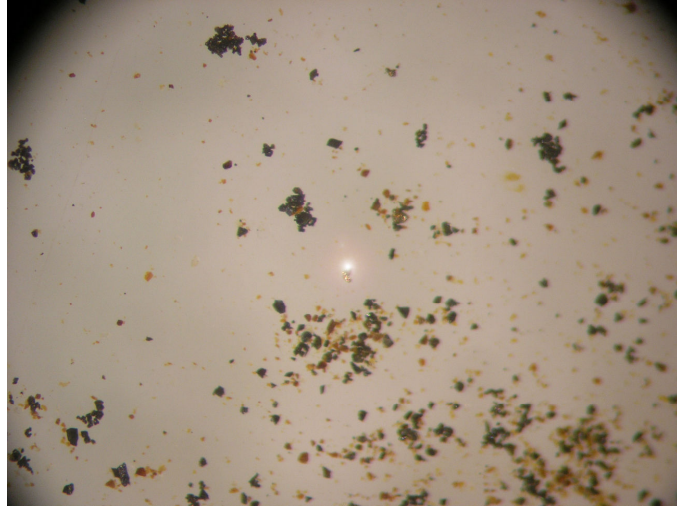
●(-0,2+0,1 mm tane aralığı): Serpantinin ışınal bir yapıda dağıldığı gözlenmiştir. Koyu kahverengi görünümündeki metalik parlaklıktaki tanecikler gözlenmiştir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

Bate yapıp incelendiğinde ilmenit veya hematit (spakülarit) demir minerali görünümlü taneciklerin bol olduğu gözlenmiştir.

●(-0,1+0,063mm tane aralığı):Demiroksit mineralleri (kahverengi metalik parlaklıktaki ilmenit, hematit mineralleri) ile 5-6 tane küresel kırmızımtırak ve sarımtırak metalik taneler gözlenmiştir. Hidrofob yeteneği yüksek küresel (altın) tanecikler gözlenmiştir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,063+0,038 mm tane aralığı):Bate yapıldığında yine kahverengimsi metalik parlak yüzeyli taneciklerin var olduğu gözlenmiştir. Bir tanede küresel tane gözlenmiştir. Bu tane muhtemel altın tanesi olarak adlandırılmıştır. (Şekil 3.5.'deki gibi) (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,038 mm):Metalik renkte nikel cevherleri gözlenmiştir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).



Şekil 3.5 Mikroskopik Görüntüler (-0,063+0,038 mm Fraksiyonun Mikroskopik Görüntüsü)

3.4.3.3- 3 Nolu Cevher Numunesinin İncelenmesi

●(+1mm):Bu fraksiyondaki taneciklerin tümü yüzeysel olarak limonitle sarmalanmış olup yıkama ile bu sarımtırak amorf boyutlu şlam atıldıktan sonra silis ve kahverengi demir mineralleri açığa çıkmıştır. Tanelerin yüzeyi oksidasyon nedeni ile korozyon bir yapıya dönüşmüştür. Koyu kahverengi tanecikler ise bunlar demir mineralleri olup parlak renkte gözükmektedir bununla beraber bir serbestlik henüz yoktur (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-1+0,8mm tane aralığı):Bu tane fraksiyonunda da bulgular aynen +1mm fraksiyonundaki gibi gözlemlenmiştir. Ancak siyah partiküller %5 oranında serbestlik gösterebilmiştir. Hematit veya brown demir mineralleri görülmektedir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,5+0,4mm tane aralığı):Siyah taneciklerin serbestleşme oranı%20 olup serbest konuma geçmiştir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,4+0,3mm tane aralığı):Bu tane fraksiyonunda siyah taneciklerde serbest boyut % 30 oranına yükselmiş olup ayrıca serbest saf kuvars tanecikleri de gözlemlenmiştir. Kuşkusuz tam olarak serbestlik sağlanamamıştır. Dolayısıyla taneciklerin yüzeyi limonitle kaplı olduğu gözlenmektedir(Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,3+0,2mm tane aralığı):Siyah tanecikler %50 ağırlıksal olarak serbest konumdadır. Yoğunluk farkı olan tanelerin sallantılı masa ile kazanımı olabilir. Bate yapıldığında siyah tanelerin ağır taneler olarak bir konsantrasyon gösterdiği gözlenmiştir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

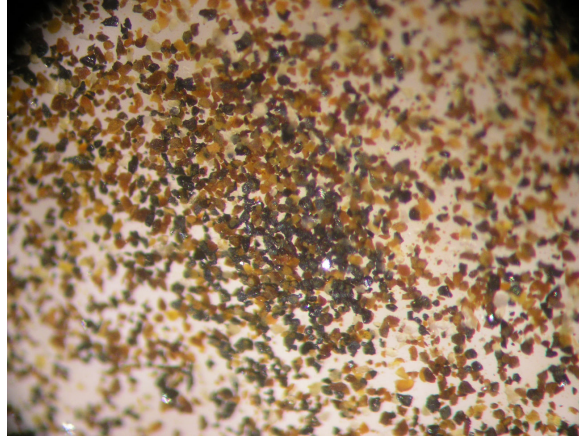
●(-0,2+0,1mm tane aralığı):Bu fraksiyonda da siyah – kahverengimsi partiküller %70 oranında serbest olup yoğunluk farkından sallantılı masa ile zenginleştirilebilir. Tagart kriteri ile veya sallantılı masa ile ortaya çıkarılabilir. Şu ana kadar iki mineral fazı görülmektedir. Birincisi poroz limonit diğeri de siyahımsı-kahverengimsi parlak minerallerdir. Zenginleştirildiğinde bu iki faz birbirinden ayrılabilir. Siyah taneciklerin birçoğunun dış yüzeyinde noktasal ama yığınsal olarak toplanmış mineral taneleri gözlenmektedir. Bunlar ışık efekti ile de ilgili olabilir. Böyle bir olgu vardır (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,1+0,063mm tane aralığı):Diğer 1 ve 2 nolu cevher örneklerinin bu fraksiyonda görülen özgül küresel altın taneciklerine bu numunede daha yüksek bir ağırlıksal orandadır. Bu fraksiyonda siyah tanecik oranları artışına bağlı olarak bu

küresel altın taneciklerin artışı çok fazla görülmüştür.(Şekil 3,6'daki gibi) (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,063+0,038mm tane aralığı):Beyaz şekilsiz çok sayıda metalik tanecikler gri-sarımtırak tanecikler gözlenmiştir. Küresel altın tanecikleri gözlenmiştir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,038 mm):Bir tane özgün şekilsiz metalik altın taneleri saptanmıştır (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).



Şekil 3.6: -0,1+0,063mm. Fraksiyonun Mikroskopik Görüntüsü

3.4.3.4 - 4 Nolu Cevher Numunesinin İncelenmesi:

●(+1mm): Bu fraksiyon çok renkli mineral bileşenlerinden oluşmuştur en hakim olanı kırmızımtırak renkli ile sarımtırak renkli limonit kayaçları ile demirli killer ve ikinci sırada koyu yeşilden açık yeşile kadar uzanan serpantin ve killerden oluşmaktadır. Üçüncü sırada sert kuvars tanecikleri ve de mangan imprenyeli kayaçlardan kalkerden oluşmuştur. Şekil izlendiğinde bunu görmek mümkündür. Su ile muamele edildiğinde kısa bir süre sonra killer dağılmakta 20 misli daha küçük boyuta inmektedirler. Adı geçen mineraller kenetli tanelerden oluşmaktadır (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-1+0,8mm tane aralığı): Bu fraksiyonda yukarıda anılan mineraller %50 oranında serbest konuma gelmişlerdir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,8+0,5 mm tane aralığı): Anılan minerallerin birbirinden serbestlik derecesi %70 olup özellikle mangan içerikli tanecikler ince damarcıklar halinde kenetli konumdadır (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,5+0,4mm tane aralığı):Yukarıda anılan renkteki mineraller birbirinden %80 oranında serbest konumdadır. Ancak özellikle beyaz sarımtırak tanelerdeki kılcal dentritik formdaki yani saçak şeklindeki mangan kenetli konumdadır. Bu mineraller arasında yoğunluk farkının araştırılarak yoğunluğa göre örneğin sallantılı masada birbirinden ayrılması düşünülebilir zira bate yapımında siyah tanelerin daha ağır mineral olarak yoğunlaştığı gözlenmiştir. Su ortamında tüm minerallerin sert kuvars taneleri hariç dağılma eğiliminde oldukları ve genelinde bu cevheri yumuşak cevher olarak tanımlamak mümkündür (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,4+0,3 mm tane aralığı):Yukarıdaki fraksiyonlarda anılan mineraller mangan mineralleri hariç %80 oranında serbest konuma gelmiştir. Yoğunluğa göre zenginleştirmede ve sallantılı masalarda mineral fazlarına ayırma denenmelidir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,3+0,2 mm tane aralığı):Mangan hariç mineraller %90 oranında serbest konumdadır sallantılı masalarla ön zenginleştirme denenmelidir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

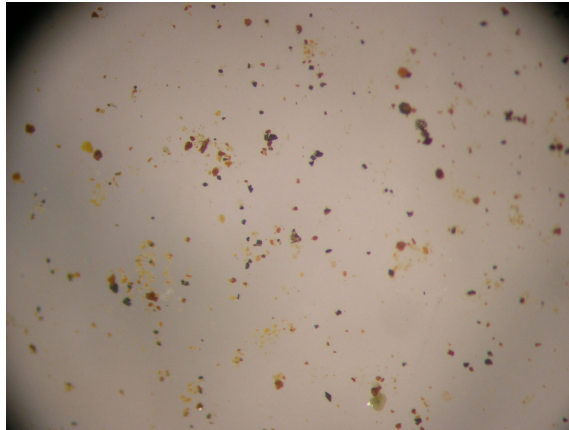
●(-0,2+0,1mm tane aralığı):Bir önceki fraksiyondaki bulgular gibidir (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

●(-0,1+0,063 mm tane aralığı):Tane iriliğinde serbest metalik gri renkte nikel tanecikleri gözlenmektedir ayrıca bol miktarda ince küresel özgül taneler gözlenmiştir. Bu boyut daha önceki numune 1,2,3'de de görüldüğü gibi önemli bir

boyut olup gerek metalik nikel gerekse siyah partiküllerden oluşan minerallerin gerekse küresel taneli özgül metallerin (altın) başta yoğunluğa göre (Falcon-nelson-mgs), son çözümlemede ise geleneksel flotasyon veya alternatif flotasyon yöntemleri ile değerlendirilmesi tasarlanmalıdır (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

- (-0,063+0,038mm tane aralığı):Bate yapıldığında bol miktarda metalik tanecikler ve de küresel özgül taneciklerin mevcudiyeti saptanmıştır. Bu bulgu bu fraksiyonda içine alan en az %90'ı 100 mikronun altında ki bir boyutta flotasyon başta olmak üzere modern yoğunluğa göre zenginleştirme deneyleri ile zenginleştirmenin olası olduğu saptanmalı veya düşünülmalıdır (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).

- (-0,038 mm): Özellikle gri metalik tanecikler bu fraksiyonda daha da yoğunlaşmaktadır.(Şekil 3.7.'deki gibi) (Prof. Dr. Ali AKAR ile beraber çalışılmıştır).



Şekil 3.7 -0,038 mm Fraksiyonun Mikroskopik Görüntüsü

3.4.4 Çaldağ Nikel Cevherinin Kimyasal ve Mineral Bileşimi

Cöcen, tarafından yapılan çalışmada Çaldağ Nikel cevherinin ana elementlerinden Cr_2O_3 ve SiO_2 , iz elementlerinden de As, Mo, Ba X-Ray Floresans yöntemiyle yarı kantitatif olarak saptanmıştır. Bu ölçümlere dayanılarak elde edilen mineral bileşimi Ek 1'de verilmektedir. Ek 1'deki tabloda görüldüğü üzere Cöcen tarafından; Çaldağ Nikel cevherinin ana mineral bileşeni olarak götit tesbit etmiştir. X-Ray difraktometrik ölçümüyle de bunu somutlaştırmıştır. Bu diyagramdaki pik

değerlerine dayanarak dönüşüm oranının ,%10 civarında olduğu belirtilmiştir. Yine Cöcen bu çalışmasıyla ilk kez rengi yeşille-mavi arasında değişen ve demir-fosfat minerali olan vivianitin cevherde bulunduğunu ortaya koymuştur. Ancak daha önce yapılan çalışmalarda, bu kütlelerin nikel minerali olan garnierit olduğu varsayılarak Çaldağ nikel Cevheri “lateritik” cevher olarak tanınmıştır. Cöcen,vivianit dışında cevher içeriğinde %15’i aşan kalsit ve %1’i aşan jipsin varlığına dayanarak ve bunun yanında Al’un kaolinit halinde bulunmasını cevherin lateritik alterasyon geçirmediğinin kanıtı olarak göstermiştir. Bu tür alterasyonda silikatların içindeki Fe değil, Al’un da silikatik bağdan kopup oksit halinde bulunması gerektiğini belirtmiştir. Yine cevher içindeki kromit, ilmenit ve götitin temelini oluşturan Fe’in yan kayaç serpantinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca; bu olay kaolinin asidik ortamda oluşması için lateritik alterasyonla değil, sülfürik asitli ve oksitleyici yüzey sularıyla gerçekleştiği savunulmuştur. Sülfürik asitin başka bir deyişle S’ün kaynağının Fe-Ni-Sülfürlü mineralin bulunduğu hidrotermal damarlar olduğu belirtilmiştir. İz elementlerine As, Mo, Ba az miktarda da olsa rastlanmasının (Brennich; 1960) bu bulguları pekiştirdiği belirtilmiştir.

Cöcen, X-Ray difraktometrik ölçümlerle cevher içinde nikel minerallerine rastlanmadığını, buna göre, tek olasılık nikelin götit kafesi içinde Fe’in diyadokh temsilcisi ve götit içinde “katı çözelti” olarak bulunması olduğunu belirtmiştir. Çözünme deneyleri esnasında çözeltideki Ni veriminin Fe verimiyle artması, Ni’in götit içinde yer aldığı ve götitin parçalanıp, Fe’in çözeltiye geçmesi oranında çözünürlük kazandığını göstermektedir. Cevher içindeki Co, düzensiz bir dağılım göstererek analiz numunesinde %0.05 Co ve asitte çözünmede Fe verimiyle Co verimi arasında bir ilişki bulunmamaktadır. Yine Çaldağ cevherinde %6,5 Ca olup, bu da yaklaşık %15,6 CaCO₃ tenörüne denk gelir ve buna 1,82 mg MgCO₃ ilave edildiğinde bu oran %17,4’e çıkmaktadır.

Cöcen, bu verilere dayanarak cevherin Ca değerleri dışındaki tüm değerlerinin oksidik lateritik nikel cevheri değerleriyle yakın olduğunu ortaya koymuştur. Ahmet Çağatay, Yılmaz Altun ve Bülent Arman Çaldağ lateritik demir, nikel-kobalt yatağı olarak tanımlama yapmışlardır.

Çaldağ Nikel cevherinin mineral bileşimi hakkında: Çaldağ demir, nikel-kobalt yatağı bilindiği kadarıyla küçük bir lateritleşme sürecini tamamlamamış bir yatak olduğu, yatağın ekonomik nikel mineralinin asbolan (daha çok NiO ve CuO ile birlikte bulunan CoO'li birimlere verilen ad) olduğu, asbolanın çok eser izlenen kil minerallerinden oluşan örneklerin kimyasal analizlerinden çok düşük nikel-kobalt değerlerinin olduğu ve buradan da nikelin çok az bir kısmının nikel silikatlara bağlı olabileceğini, lateritik zonun üst seviyesinde olan limonitik zonlarda nikelin yanında istenmeyen değerlere ulaşan Cr varlığı bu seviyelerin Fe cevheri olarak kullanılmasına elverişli görülmediği sonucuna varmışlardır.

3.5 Zenginleştirme Deneyleri

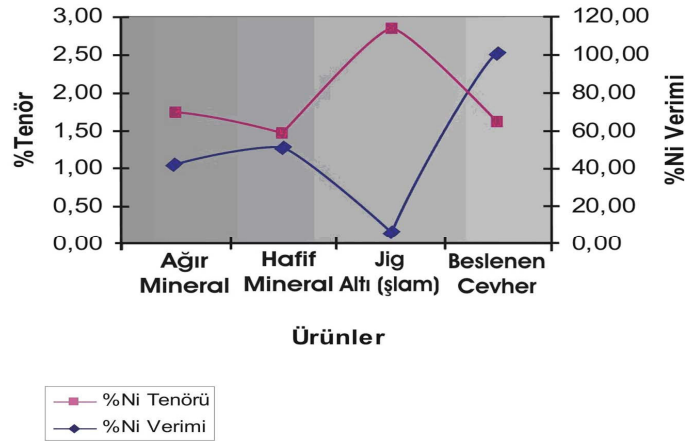
3.5.1 Yoğunluğa Dayalı Zenginleştirme

Mineral tanelerinin, aralarındaki yoğunluk farklılığının neden olduğu, akışkan ortamlardaki hareket farklılığına dayanılarak, birbirlerinden ayrılması ile gerçekleştirilen zenginleştirmeye, yoğunluğa dayalı zenginleştirme adı verilir. Bu çalışmada yoğunluğa dayalı zenginleştirme yöntemlerinden; jig, sallantılı masa yöntemleri kullanılmıştır.

3.5.1.1 Jig ile Zenginleştirme (Düşey Hareketli Akışkan Ortamda Zenginleştirme)

Bilindiği üzere; farklı özgül ağırlıktaki mineral tanelerinin, düşey hareketli akışkan ortamdan yararlanılarak, tabakalar halinde ayrılması ile yapılan zenginleştirmeye, düşey hareketli akışkan ortamda zenginleştirme veya jig ile zenginleştirme denir.

Çaldağ cevherine jig ile zenginleştirme yöntemleri uygulanmıştır. Zenginleştirme işlemi sırasında +2 mm boyutundaki cevher jig ile zenginleştirilmesi için yapılan deneylerin sonucu aşağıdaki şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil3.9 Jig ile Zenginleştirme Ürünlerindeki Ni Tenör –Verim İlişkisi

Şekilde 3.9’da görüldüğü üzere; jig deneyleri sonucunda ağır minerallerin %1,74 Ni tenörlü ağır mineraller %41,83 Ni verimi ile kazanılırken, %2,83 Ni tenörlü %6,83 Ni verimi ise şlamla atılmaktadır ve bunun yanında 1,47 Ni tenörü ile %51,35 Ni verimi ile hafif mineraller kazanılmıştır. Bu tipte herhangi bir kazanım olmamıştır.

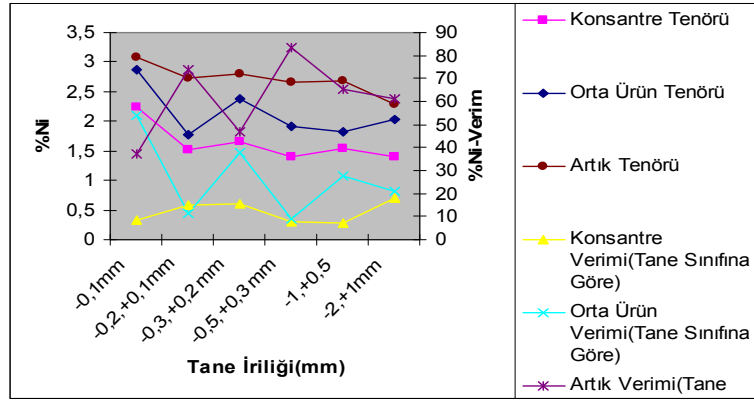
Zenginleştirme işlemi jig ile akışkan ortam içerisinde ve elek üzerindeki iri boyutlu tanelerin(+2 mm), akışkan ortama verilen emme-basma hareketinin etkisiyle, farklı ağırlıktaki tabakaların oluşturulması sağlanarak gerçekleştirilmiştir. Ancak Çaldağ Ni cevheri çok ince tane boyutlarında serbestleştiğinden iri tane boyutunda yapılan jig ile zenginleştirme çalışma sonucunda herhangi bir ayırım sağlanamamıştır.

3.5.1.2 Sallantılı Masa İle Zenginleştirme

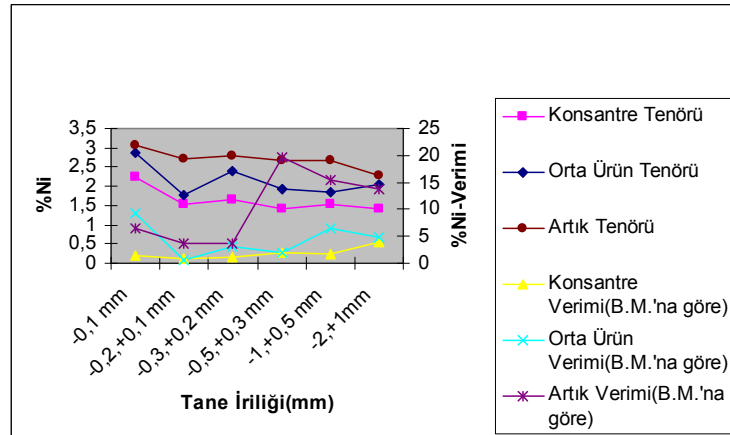
Küçük boyutlu mineral tanelerinin, yataya yakın eğimdeki bir yüzey üzerinde, ince bir tabaka halinde akan akışkan ortam içinde, özgül ağırlık farklarına göre ayrılmaları yoluyla yapılan zenginleştirme yöntemidir.

Zenginleştirme işleminde serbestleşme tane iriliği de önemli bir kriter olduğundan ve cevher çok ince tane boyutlarında serbestleşme gösterdiğinden,

sallantılı masa ile zenginleştirmesinin uygun olacağı düşünülerek çalışmalara bu yönde ağırlık verilmiştir. Bu doğrultuda -2+1mm, -1+0.5mm, -0.5+0.3mm,-0.3+0.2mm, -0.2+0.1mm, -0.1 mm boyutlarına indirgenerek sallantılı masaya verildi.



Şekil 3.10 Sallantılı Masa İle Tane Boyut Aralıklarına Göre Zenginleştirme Ürünlerindeki Ni Tenör-Verim İlişkisi



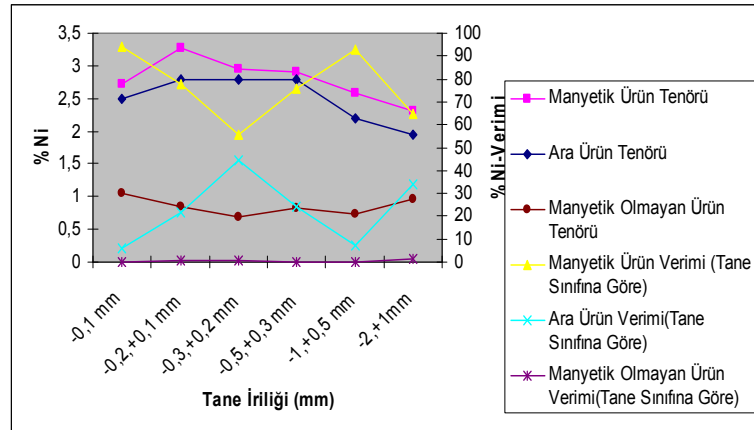
Şekil 3.11 Tane Fraksiyonlarının BM 'na Göre Sallantılı Masa Zenginleştirme Ürünlerinin Ni Tenör-Verim İlişkisi

Sallantılı masa ürünü şamlar toplanarak flotasyon işlemine tabii tutulmuştur. Bu işlem sonuçlarına flotasyonla zenginleştirme adlı bölümde değinilmiştir. Sallantılı masa sonuçlarını gösteren şekil 3.11'de ve Ek 8'de gösterilmiştir. Şekil 3.11'de görüldüğü üzere sallantılı masa ile zenginleştirme testlerinden de herhangi bir sonuç alınamamıştır.

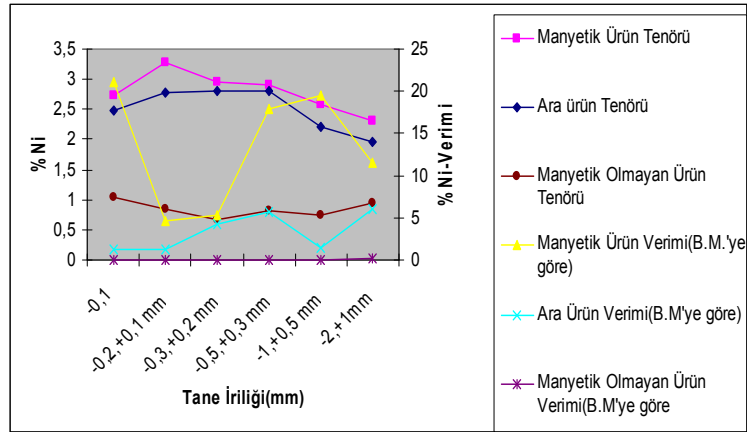
3.5.2 Manyetik Zenginleştirme

Farklı manyetik duyarlıdaki bireysel mineral tanelerinin, uygun bir manyetik alan içinde, başlıcası manyetik kuvvet olmak üzere, çeşitli kuvvetlerin (yerçekimi, sürtünme, merkezkaç v.s.) bileşik etkilerine dayanılarak, birbirinden ayrılması yoluyla gerçekleştirilen zenginleştirmeye, manyetik ayırma ile zenginleştirme denilmektedir.

Çaldağ nikel cevheri demir gibi ferro-manyetik özellikteki minerali içermesinden dolayı manyetik zenginleştirme yöntemi uygulanmıştır. Manyetik zenginleştirme yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı kullanılmıştır. Sonuçlar Şekil 3.12, 3.13 ve Ek 9'da verilmiştir. Şekil 3.12 ve 3.13'den de görüleceği gibi Çaldağ Ni cevheri taneciklerinin; tümü yüzeysel olarak demir cevheri olan limonitle sarmalanmış olduğundan manyetik separatörle yapılan ayırmadan güvenilir sonuçlar alınamamıştır. Bunun nedeni olarakta Ni cevher Şekil3,13'den görüleceği gibi besleme malının % Ni verimi olarak %79,64'lik kısmının manyetik üründe, %19,88'lik kısmı ara üründe ve %0,48'lik kısmı ise manyetik olmayan üründe kazanılmıştır.



Şekil 3.12 Tane İriliğine Göre Manyetik Zenginleştirme Ürünlerinin Ni Tenör- Verim İlişkisi



Şekil 3.13 Tane İriliğine Göre Ürünlerin Besleme Malına Göre Ni Tenör-Verim İlişkisi

3.5.3. Flotasyon İle Zenginleştirme

Flotasyon çok ince tane büyüklüğünde öğütülmüş gravimetrik yollarla zenginleştirilmesi mümkün olmayan cevherlerin fizikokimyasal, yüzey kimyası ve kolloidler kimyası kurallarına dayanılarak köpükle cevher yüzdürme işleminin yapıldığı bir zenginleştirme yöntemidir.

Bu doğrultuda sallantılı masa ürünü olan şlam ürünlerine flotasyon testi uygulanmıştır. Çaldağ Nikel Cevherinin asbolana (NiOH) bağlı cevher olduğunu göz önünde bulundurarak şlama oksit flotasyonu uygulanmış ve sonuçlar aşağıdaki gibi verilmiştir.

Deneysel Çalışmalar:

Numune miktarı:200 gr

Tane İriliği %90,-0,1 mm

Katı/sıvı:%20-25

I.Aşama:Oksit Flotasyonu

Ph:Nötr

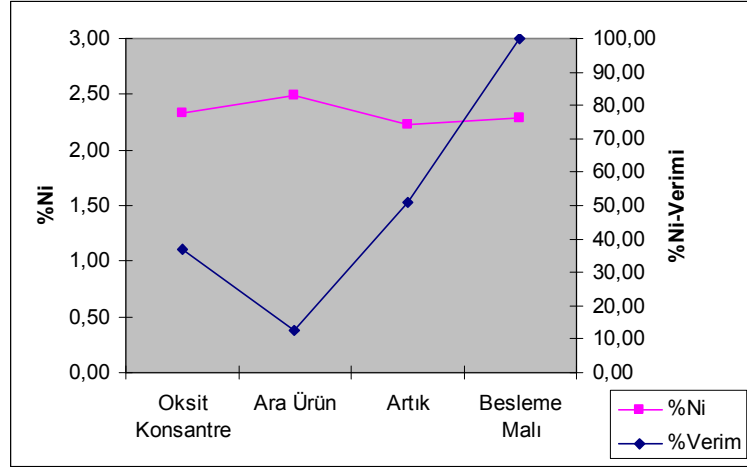
Aktifleştirici: %10'luk Na₂S (200gr/ton)

Toplayıcı: %1'lik Aerofloat 208 (200 gr/ton)

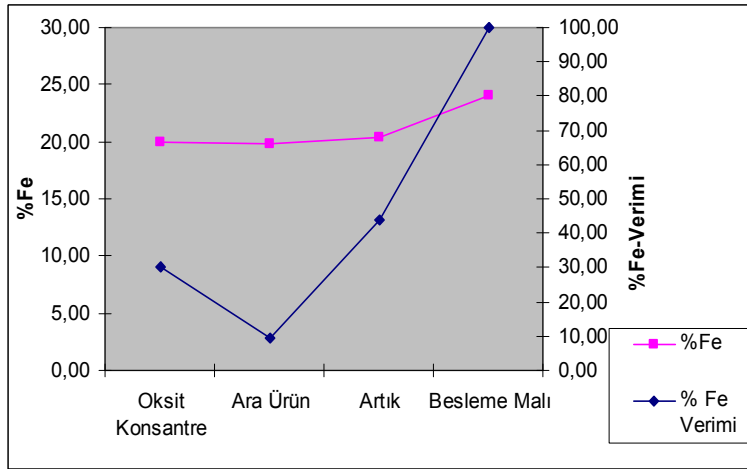
%1'lik Aero 3477 (200 gr/ton)

%1 KEX (200gr/ton)

Köpürtücü: %1'lik Çamyacı (20 gr/ton)



Şekil 3.14 Sallantılı Masa Şlam Ürünü'nün Flotasyon deney ürünlerinin Ni Tenör- Verim İlişkisi



Şekil 3.15 Şlam Ürünlerinin Oksit Flotasyonu Ürünlerinde Fe, Tenör- Verim İlişkisi

Çaldağ Nikel cevherinin silikat içeriği bakımından zengin olması nedeniyle silikatların yüzdürülüp, nikelin batırılması gerektiğinden oksit flotasyonu yanında ters flotasyon çalışmaları da yapılmıştır.

% 90'ı -0,1 mm. boyutuna indirilen kompozit ham cevhere flotasyon testleri uygulanmıştır. Şlamin fazla olması nedeniyle mineral yüzeyleri şlamlarla

kaplanacağından büyük yüzey alanı oluşması, reaktif miktarını büyük oranda arttırmayı gerektirmektedir. Bu nedenle şlam atılmadan yapılan deneylerde herhangi bir ayırım olmamıştır. Daha sonra şlam atılarak çalışmalara devam edilmiş ve Na_2SiO_3 ilave edilerek dekantasyonla öncelikle şlam atılmıştır. Deney sonuçları Ek-10'da verilmiştir.

Deney No:1

Numune Miktarı:300 gr

Tane İriliği:-0,1 mm

Katı/sıvı:% 20

I.Aşama :Şlam Atma:

Ph:Nötr NaOH- Na_2SiO_3 ile yıkama

Yıkama Süresi:5 dk.

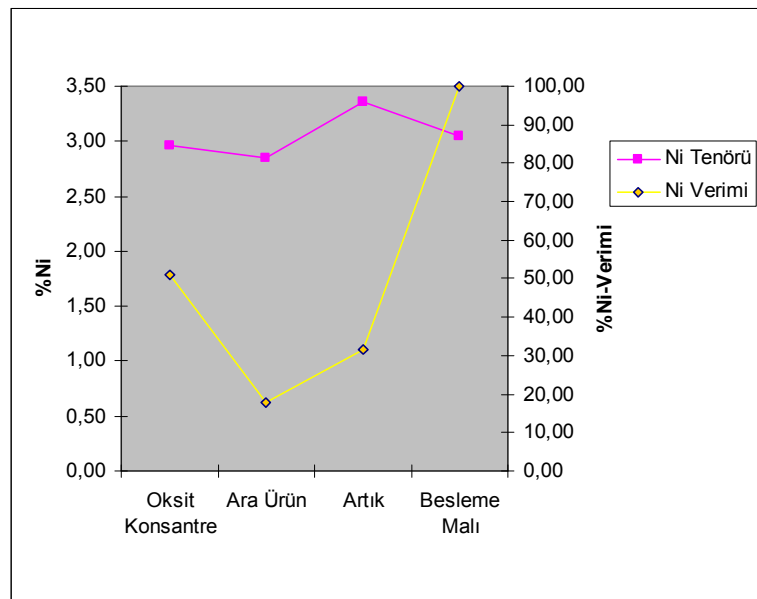
II.Aşama: Oksit Flotasyonu:

Ph:Nötr

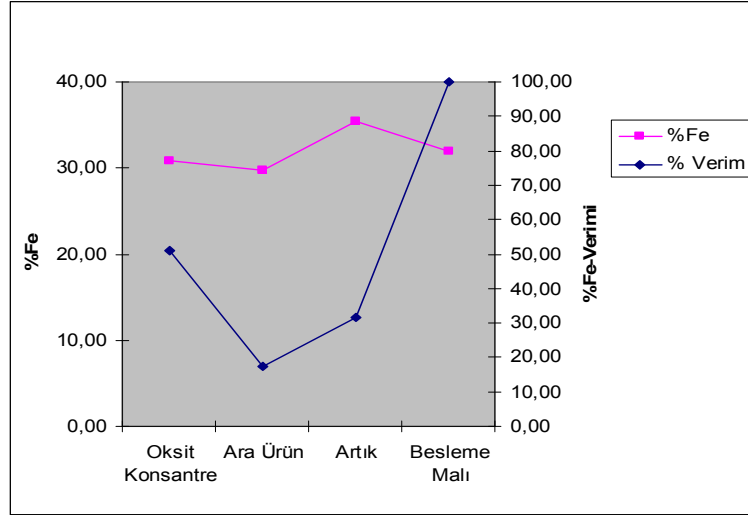
Aktifleştirici: Na_2S (200gr/ton)

Toplayıcı: Aerofloat (208,3477,KEX) (200 gr/ton)

Köpürtücü:Çamyacı (30 gr/ton-40 gr/ton)



Şekil 3.16 Flotasyon Ürünlerinde Ni Tenör verim ilişkisi



Şekil 3.17 Ters Flotasyon Ürünlerinde Fe Tenör-verim İlişkisi

Deney No:2

I.Aşama: Şlam atma

Katı/sıvı:%20

Ph:11 NaOH ile

Yıkama Süresi: 5 dk.

II.Aşama:

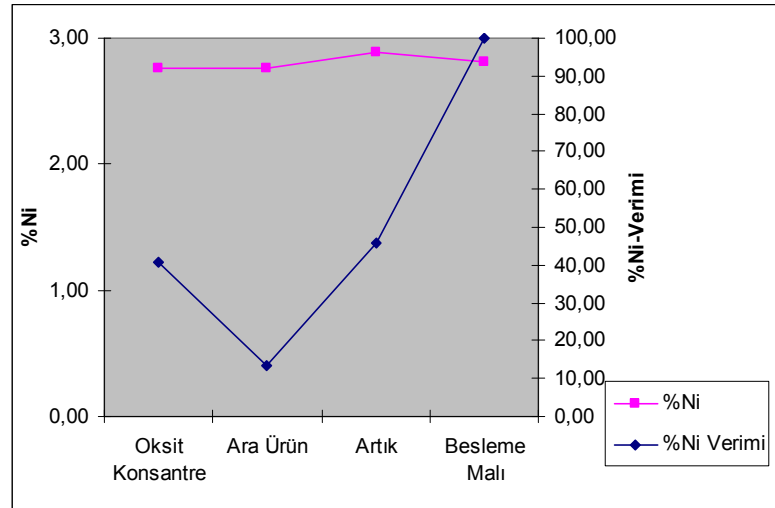
Ph:11-NaOH ile

Bastırıcı:Nişasta(65 gr/ton) (5')

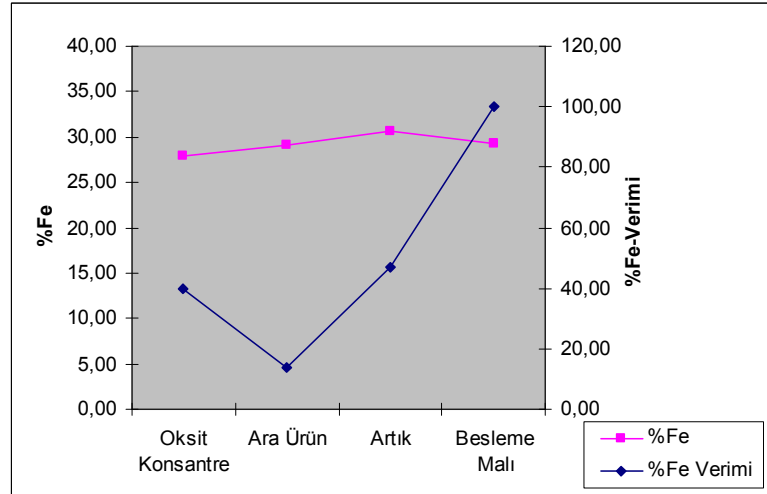
Yüzey Yükünü Değiştirici:CaCl₂ (268 gr/ton)

Toplayıcı:272 (Superfloth) (500 gr/ton)

(Fatty oil acid)



Şekil 3.18 Şlam Atmalı Flotasyon Ürünlerinde Ni Tenör-Verim İlişkisi



Şekil 3.19 Şlam Atmalı Flotasyon Ürünlerinde Fe Tenör-Verim ilişkisi

3.5.4 Kalsinasyon

Kalsinasyon işlemi cevher yapısındaki CO_2 'nin 850-950-1000 °C sıcaklıktaki bir fırında uçurularak cevherin yapısının oksitli hale dönüşmesini sağlamaktır.

Kalsinasyonda CO_2 'i uçurmanın yanında öngörülen bir başka gaye de liç öncesi cevherde ki oksijen miktarını azaltıp liç sırasında asit sarfiyatını önlemektir. Bu sebeple kalsinasyon işlemi bir ön zenginleştirme sayılabilir. 850-950-1000 °C

sıcaklıklarda yapı dekompoze edildiğinden uygulanacak liç işlemlerinde reaksiyonu hızlandırma ve metal kazanım verimini arttırmak amaçlanmıştır.

Söz konusu, Çaldağ cevherinin kalsinasyonu ve ardışık olarak liç uygulamaları için kompozit numuneden 1-2 kg'lık numuneler ayrı ayrı hazırlanarak (850-950-1000 °C) sıcaklıklarda kalsine edilip, liç parametreleri tesbiti amacıyla da kalsine ürün temsili numunelere bölünerek özellikle karıştırılmalı liç deneyleri yapılmıştır.

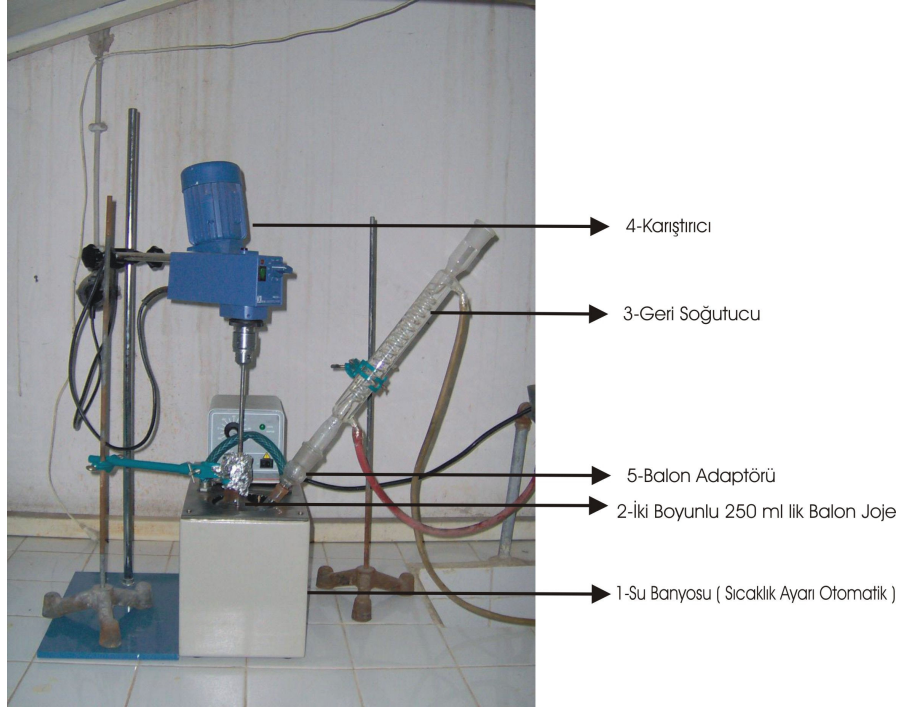
Kalsine işlemi Protherm elektrical furnaces marka PLF120/7 Model Fırında 2 saat süre de gerçekleştirilmiştir.

Kalsine ürün daha sonra karıştırma liçine tabi tutulmuştur. Bu deney bölüm 3.5.5.'de 'liç deneyi' olarak verilmiştir..

3.5.5 Liç İle Zenginleştirme

Normal basınç altındaki çözündürme (liç) deneyleri şekil 3.20'de gösterilen düzenekte gerçekleştirilmiştir.

Tüm bu deneylerde katı/sıvı oranı 1/10 olarak sabit tutulmuş olup çözündürme işleminin karıştırma hızına, karıştırma süresine, çözündürücü konsantrasyonuna, çözündürme işleminin sıcaklığına ve tane iriliğine bağımlılığı araştırılmıştır.



Şekil 3.20 Normal basınçta uygulanan deney düzeneği

Cevher içindeki, değerli metal veya metallerin uygun bir çözelti içinde seçimli olarak kazanılması için uygulanan işlemler dizisine liç adı verilir.

Çözeltiyeye alma ve çözültiden kazanma gibi iki ana kademedden oluşan liç, madencilikten metal üretimine kadar, geniş bir alanı kapsamaktadır ve hidrometalurji adı ile gelişen bilim dalının uğraşı alanına girmektedir. Liç işlemi kullanılan çözücüye göre, asit liç veya bazik liç olarak sınıflandırılabilir. Çaldağ Nikel cevheri, asit liç testine tabi tutularak metal kazanma randımanı arttırılmıştır.

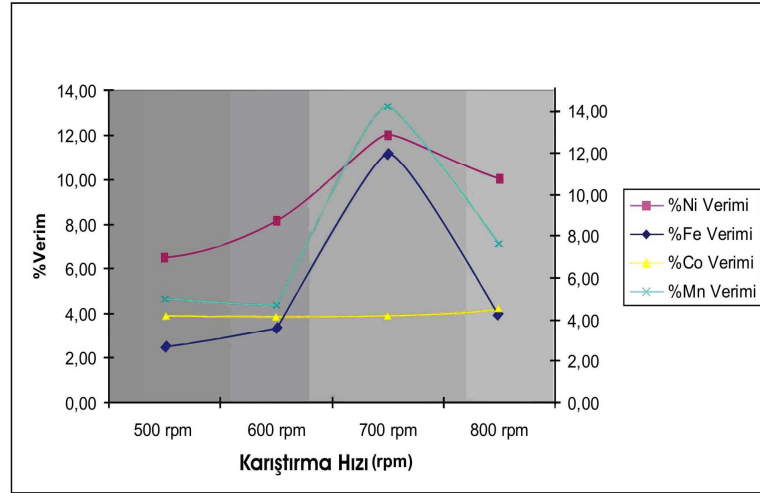
Liç öncesinde cevher kalsinasyona tabii tutularak, liç sırasında asit sarfiyatının yüksek değerlere ulaşması engellenmek istenmiştir.

Bu olguya dayanılarak;

-10 mm altına kırılan cevher

-Katı-sıvı oranı 1/10 olacak şekilde karıştırılarak

-Sabit koşullarda (sıcaklık;25 °C, tane boyutu:-5mm,+1mm, süre;10 saat, asit (H_2SO_4) konsantrasyonu (75 gr/lt) çeşitli karıştırma hızlarında denenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil3.21 ve Ek 11’de sunulmuştur.

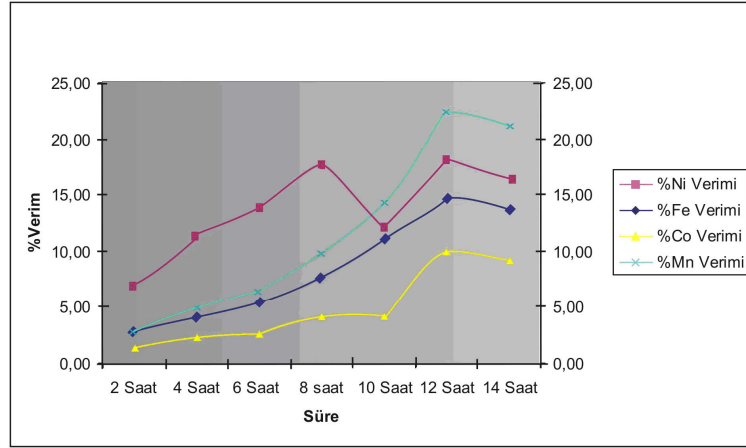


Şekil 3.21:Asit Liçinde Değişik Karıştırma Hızlarının Etkisi

Karıştırma Hızının Metal Çözünürlüğüne Etkisi, Sıcaklık 25 °C, Katı-sıvı oranı 1/10, Karıştırma süresi:10 saat, Tane boyutu:-5mm

Şekil 3.21 ve Ek 11'den de görüleceği gibi; Nikel demire nazaran çok daha kolay çözülebilmektedir. En büyük çözünürlük farkı 700 rpm karıştırma hızında olmakta, daha yüksek karıştırma hızında çözünürlük farkı azalmaktadır. Artan karıştırma hızıyla, çözünürlük artışı olmamakla birlikte, nikel çözünürlüğünde azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni olarak ta yüksek karıştırma hızında asitin cevherin gözenekli yüzeyi ile temasında azalma olması ve buna bağlı çözünmenin daha az olmasıdır. En uygun karıştırma hızı 700 rpm olarak bulunmuştur.

Çözündürme işleminin, karıştırma süresiyle olan ilişkisine bakılacak olursa, burada da Fe'nin çözünürlüğü 12 saate kadar olan sürede hızlı, ondan sonra artan sürede ise daha az bir artış göstermektedir. Şekil3.22'de ve Ek 12'deki verilen değerlerden anlaşılacağı gibi Çaldağ Nikel Cevheri için en uygun karıştırma süresi 12 saat olarak saptanmıştır. Ni açısından saptanan 12 saat dolayısıyla Co açısından da optimal süredir.



Şekil 3.22 Asit Liç'inde Süre Etkisi

Karıştırma süresinin 2 saatten 14 saate kadar değiştirilerek metal çözünürlüğüne etkisi araştırılmıştır. Ek 12 ve şekil 3.22'de görülmektedir. Deneyler sırasında;

Karıştırma Hızı: 700 rpm,

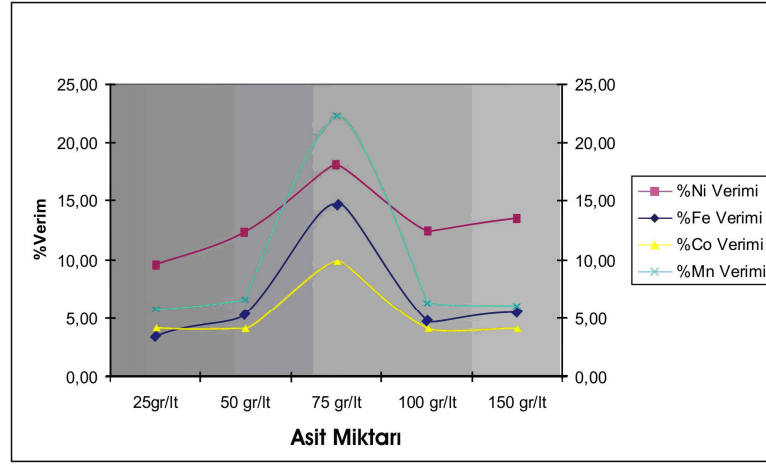
Sıcaklık 25 °C,

H₂SO₄ Konsantrasyonu: 75gr/lt,

Katı/sıvı oranı: 1/10,

Tane Boyutu: -5 mm olarak alınmıştır. En uygun sürenin 12 saat olduğu kabul edilmiştir.

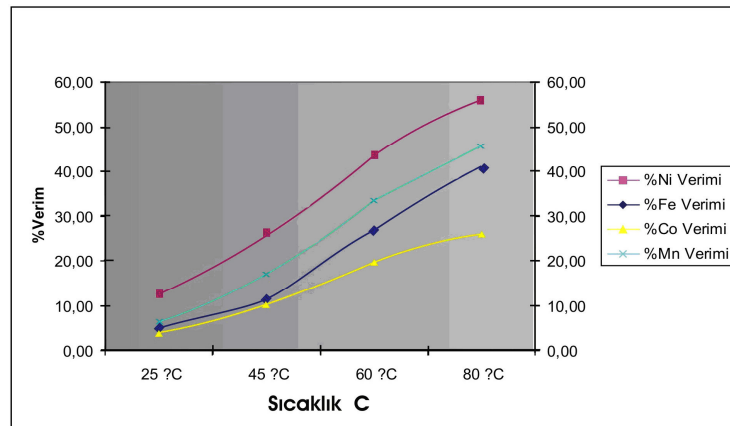
Çaldağ Nikel cevheri -5 mm boyutunda 700 rpm karıştırma hızında, 12 saat süreyle ve 1/10 katı-sıvı oranında, sıcaklık: 25 °C'de ve değişik asit derişimlerinde çözündürme işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.23'de sunulmuştur. En uygun süre Ek 12 'de belirlendiği gibi 12 saat olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3.23 ;Asit Liçinde Değişik H₂SO₄ Konsantrasyonlarının Etkisi

Şekil 3.23. ve Ek 13'den de görülebileceği gibi; nikel, demire nazaran çok daha kolay çözünebilmektedir. En büyük çözünürlük farkı 75 gr/Lt asit derişiminde olmakta, daha yüksek konsantrasyonlarda çözünürlük farkı azalmaktadır. 75 gr/Lt üzerindeki asit konsantrasyon artışları nikel çözünürlüğüne hiç katkıda bulunmamaktadır. Hatta daha fazla ve gereksiz asit sarfiyatına neden olmaktadır. Bu nedenle en uygun asit konsantrasyonu olarak 75 gr/Lt bulunmuştur.

Bu veriler ışığında Çaldağ Nikel cevherindeki nikel ve demir çözünürlüğünün sıcaklıkla değişimi belirlemek amacıyla 25° ile 80° arasında sıcaklık değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.24 ve Ek 15'de verilmiştir. Şeki3.24 ve Ek 15'de ki tablodan da görülebileceği gibi gerek Ni çözünürlüğü açısından ve gerekse demir çözünürlüğü açısından çözünme sıcaklığı 80 °C de en uygun olmaktadır.



Şekil 3.24 :Asit Liçinde Metal Çözünürlüklerinin Sıcaklıkla Değişimi

Bu sıcaklıkta nikel çözünürlüğü max noktasına yaklaşmış, yaklaşık %55 civarına ulaşmıştır. Bu da gösteriyor ki; nikel çözünürlüğü sıcaklık artışı ile orantılı bir şekilde artmaktadır.

Cevherin optimal çözündürme koşullarının belirlenmesi için, cevher sabit koşullarda,

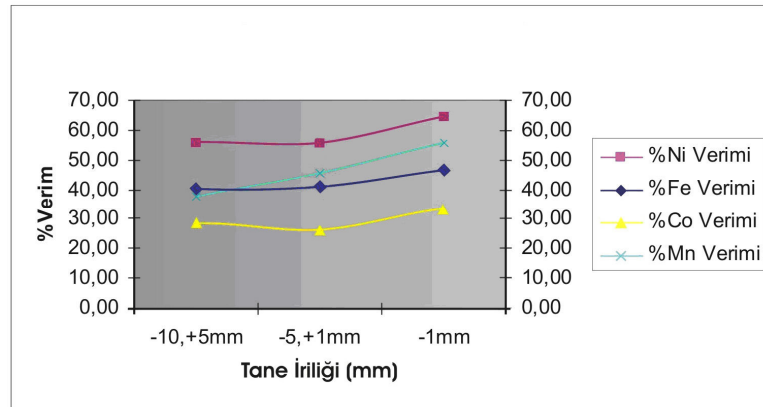
Sıcaklık:80°C,

Karıştırma süresi:12 saat,

Asit konsantrasyonu:75 gr/lt,

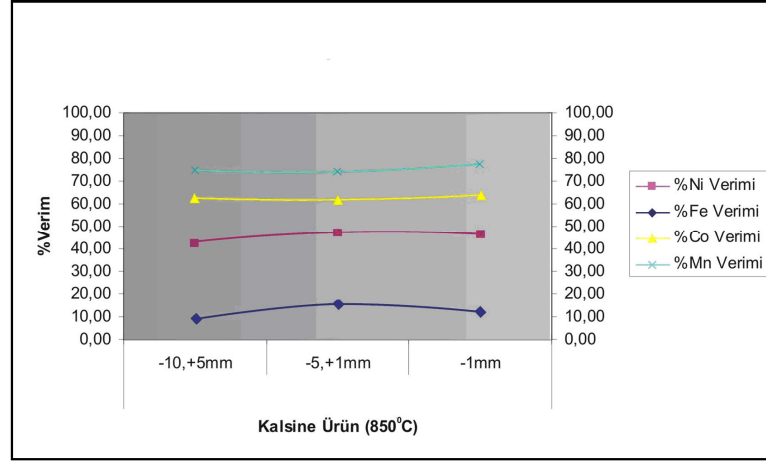
Karıştırma Hızı:700 rpm,

Katı-sıvı oranı:1/10 olacak şekilde çeşitli tane boyutlarında çözündürme testlerinden geçirilmiştir. Elde edilen sonuçlar: Şekil 3.25’de ve Ek 16’da sunulmuştur.



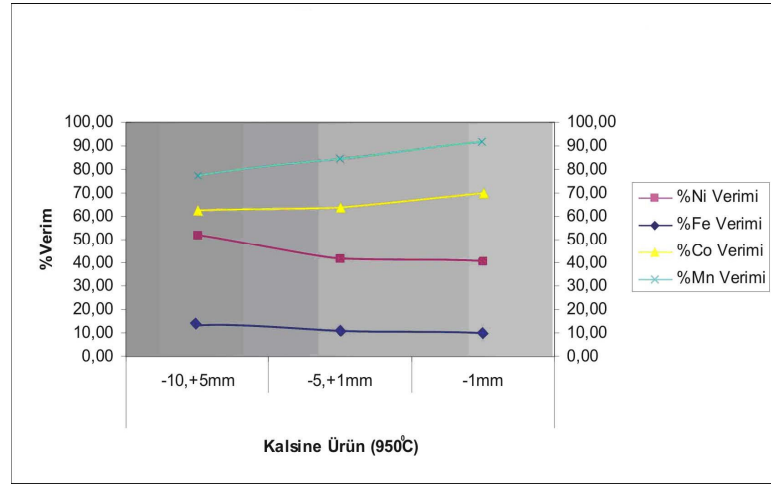
Şekil 3.25:Asitle liçinde tane boyutuna bağlı olarak çözeltiliye geçen metallerin verim dağılımı

Ham cevherde belirlenen optimal koşulların ışığında 850-950-1000°C’lerde 2 saat süre ile kalsine edilmiş numunelerden alınan örnekler, asit liçi testine tabi tutulmuştur. -10,-5,-1 mm tane boyutlarında ve 850°C sıcaklıkta kalsine edilen örneklerin çözündürme işlemleri sonuçları şekil 3.26’da ve Ek16’da sunulmuştur.



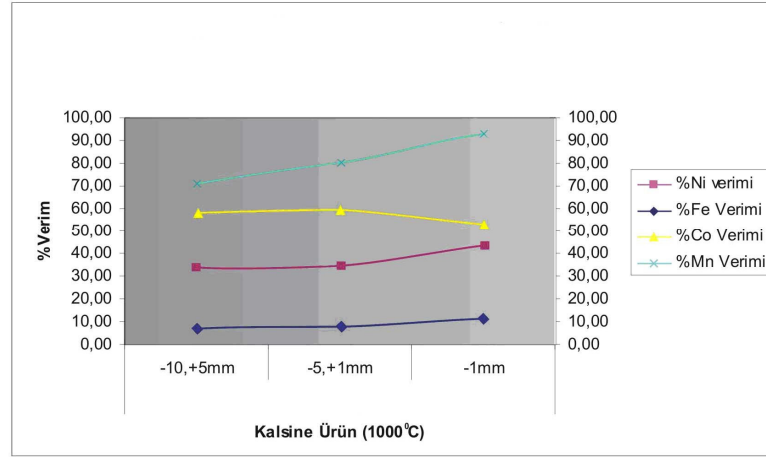
Şekil 3.26:Asitle Çözündürmede 850 °C'de Kalsine Edilmiş Ürünlerin Tane İriğine Bağlı Olarak Çözültiyen Metallerin Verim Dağılımı

950°C'de kalsine edilmiş cevher sabit koşullarda, (sıcaklık;80 °C, karıştırma süresi:12 saat, katı/sıvı oranı:1/10 ve karıştırma hızı:700 rpm) çeşitli tane boyutlarında çözündürme işlemine tabi tutulmuştur.Elde edilen sonuçlar Şekil3.27'de ve Ek17'de sunulmuştur.



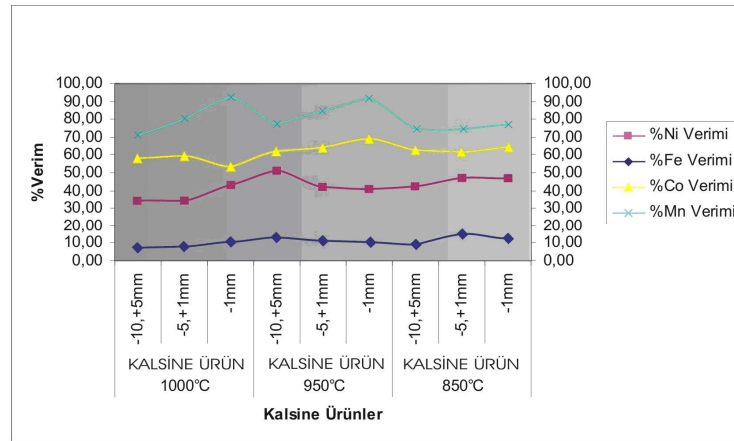
Şekil 3.27:Asitle Çözündürmede 950°C de Kalsine Ürünlerin Farklı Tane İriğine Bağlı Olarak Metal Çözündürme Verimleri

1000 °C'de kalsine edilmiş cevher yine sabit koşullarda, çeşitli tane boyutlarında çözündürme işlemine tabi tutulmuş olup elde edilen sonuçlar Şekil 3.28'de ve Ek 17'de sunulmuştur.



Şekil 3.28 :Asitle Çözündürmede 1000°C'de Kalsine Ürünlerin Farklı Tane İriliklerine Bağlı Olarak Metal Çözündürme Verimleri

Bu sonuçlara göre; kalsine işlemine tabi tutulmuş nikel cevherindeki nikel çözünürlüğü, kavru lan cevherin tane iriliğine göre çok az bir değişim göstermektedir. Örneğin; 850°C'de kalsine edilen -10 mm'nin altındaki cevherde % 42,55 olan Ni çözünürlüğü,-5mm'nin altında % 47,24'e yükselmekte, -1mm'nin altındaki cevherde de çok cüzi bir azalış göstererek %46,42 olmaktadır.



Şekil 3.29: Kalsine Ürünlerde Metal Çözünürlüğün Etkisi

Çözündürme deneylerinde en uygun koşulları uygulamak amacıyla endüstriyel uygulama için -10,-5 ve -1 mm'nin altı temel alınmıştır.

Özetlenecek olursa, yapılan çözündürme deneyleri sonunda en uygun koşullar;
-Tane boyutu: Endüstriyel uygulama için 1 mm'nin altı yeterli olacaktır.

- Kalsine sıcaklığı:950 °C
- Kalsine süresi:12 saat
- Çözündürücü cinsi: Sülfürik asit
- Çözündürücü konsantrasyonu:75 gr/lit
- Çözündürme sıcaklığı:80°C
- Karıştırma süresi:12 saat
- Karıştırma hızı:700 rpm şeklinde bulunmuştur.

Optimal koşulların kullanıldığı deneyde ise kalsine cevher (950°C'de -10 mm boyutunda) cevher içindeki nikelin %51,43'ü;ham cevherde ise nikelin %69,91'i (-1mm boyutunda) çözündürülebilmıştır. Çözündürmedeki Ni verimi açısından en optimal 950°C de -10+5 mm de Co verimi açısından ise 850 °C de -1 mm' saptanmıştır. Bu olgu Ni'nin daha iri Co'nun ise daha ince tane boyutunda serbestleşmesinden ileri gelmektedir.

Çözündürme işlemi için harcanan asit miktarı da 1 TON cevher için=750,000gr olarak hesaplanmıştır. Hesaplama yöntemi Ek 14'de verilmiştir.

BÖLÜM DÖRT

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çaldağ nikel cevherinin zenginleştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada önce hammadde olarak nikel tanıtılmış ve nikelin doğadaki bulunuşu ile yatak tipleri hakkında bilgi verilmiştir. Önemli bir kullanım alanına sahip nikel, doğada sülfürlü ve lateritik olmak üzere iki ana tipte yatak oluşturmaktadır. Dünya Nikel üretiminin %60'ını sülfürlü nikel yatakları karşılamakta ancak dünya rezervinin % 73'üne yakını lateritik nikel yatakları oluşturmaktadır. Ni'in laterit denilen, oksidik ve silikatik olmak üzere iki ayrı tipine rastlanır.

Çaldağ Ni cevherinde daha önce yapılan çalışmalar analitik ve X-ray ölçümleri ile nikelin götit içinde homojen bir dağılım gösterdiği çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiştir.

Liç dışında zenginleştirme yöntemlerinde elde edilen bulgular gravimetrik yöntemlerin başarılı olmayacağını göstermesine rağmen, manyetik ayırma, yoğunluğa dayalı ve sallantılı masa, jig çalışmaları yapılmıştır. Bu yöntemle yapılan araştırma bulgularının çizelgeler ve grafiklerinden de anlaşılacağı gibi Çaldağ nikel cevheri için anılan çalışmaların verimsiz olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak; cevherin çok ince tane boyutlarında dahi bir serbestleşmenin olmaması, kompleks bir yapıya sahip olmasından dolayı gravimetrik zenginleştirme çalışmaları başarısız olmuştur. Orjinal cevherde demir hidroksit halinde bulunan demir mineralinin infiltrasyon (mikro boyutta) halinde cevherin iç yapısına girdiğinden yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıda ayırma mümkün olmamıştır. Cevherde nikel mineralinin cevher içindeki diğer minerallerle grift bir yapıya sahip olduğundan en ince fraksiyonların da bile serbestleşme sağlanamamıştır.

Kalsite bağlı yüksek Ca oranlarına rağmen, Ni'in götit içinde homojen dağılması nedeniyle, en uygun Ni elde etme yönteminin ancak hidrometalurjik yöntemler olacağı belirtilerek, asitle çözündürme deneyleri yapılmıştır.

Asitle çözdürme işleminde Ni'in götite içinde bulunmasına bağlı olarak yüksek asit sarfiyatını önlemek için cevher, kalsine edilmiştir. Ancak, bu şekilde Ni'in tamamen çözdürülmesi, götiten tamamen çözdürülmesine karşılık olacak ve böylece asit sarfiyatına neden olacaktır. -Yapılan seri deneylerde cevherin asitle çözdürülmesi için optimal koşullar aşağıdaki şekilde belirlenmiştir;

-Karıştırma hızı:700 rpm

-Karıştırma süresi:12 saat

-Asit konsantrasyonu:75 gr/lit

-Sıcaklık:80°C

-Tane boyutu:Endüstriyel uygulama için en uygun boyut -1.0 mm 'nin altı

-Çözdürücü cinsi:Sülfürik asit (H₂SO₄)

Bu koşullar altında %63,91 Ni verimi elde edilmiştir. 1 TON cevher başına 750.000 gr asit sarfiyatı saptanmıştır.

Cevherdeki %15'i aşan kalsit oranı yanında, yüksek asit sarfiyatının başlıca nedeni bu işlemde Ni ile birlikte Fe'in çözülmüş olmasıdır. Daha sonra yapılan kalsine işlemi ile cevher içindeki asit yiyici karbonatın uzaklaştırılması amaçlanmış, ancak 950°C sıcaklıkta kalsine olan -10 mm boyutundaki cevher de en iyi sayılabilecek %51.43 Ni verimi ile elde edilmiştir. Buradaki nikel veriminin ham cevhere uygulanan çözdürme testi sonuçlarından düşük olmasının nedeni kalsine işlemi sırasında cevherde sinterleşme meydana gelmesidir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda;

-Ni çözünürlüğünü azaltmadan, daha az Fe'nin çözeltilmeye geçmesini sağlayıcı önlemler belirlenmelidir.

-Bu metotla, %0,6–1,35 arasındaki nikel cevheri de ekonomik olarak işlenebilmektedir.

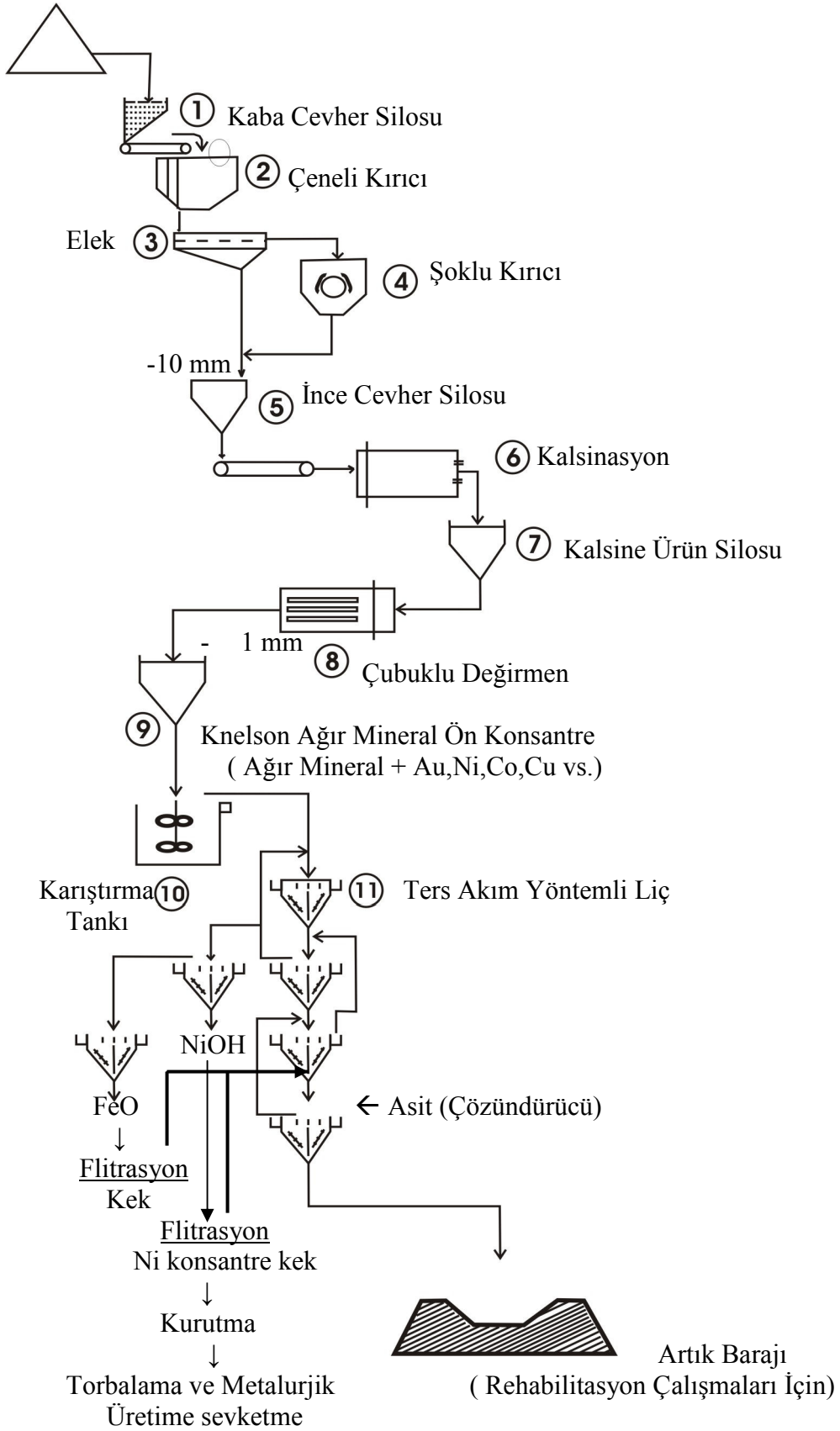
-Ayrıca değerlendirilecek olunursa demir yerel imento sektöründe de kullanılabilir. Sanayi demir cevherine ihtiyaç duymaktadır.

-Demir içerikli atık maddeyi imento üreticilerine satma potansiyeli mevcuttur. Dolayısı ile demir oksit yan ürün olarak değerlendirilebilecek ve atıkların elde tutma gereğini ortadan kaldıracaktır.

—İhraç edilebilmesi için cevherin % bileşiminin 1,25'in altında olmaması gerekmektedir.

-Cevher içerisinde bulunan hematit tane yüzeylerinde önce bazik ortamda zor çözünen NiO olarak bilinen Ni'in metalik nikel indirgenmesi gerekir. Böylece bazik çözüldürme yönteminin, düşük kalsine sıcaklıklarında (CaCO_3 , CO'e dönüşüp bazik çözelti içindeki $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 'in sarfiyatına neden olacaktır) uygulaması bu tip cevherler için gerekli teknik donanım ve olanakların araştırılarak denenmesi önerilmektedir.

Endüstriyel bir uygulama için örnek akım şeması sunulacak olunursa:



Şekil 3.30: Deneysel Araştırmaya Dayalı Endüstriyel Uygulama İçin Önerilebilen Üretim Akım Şeması.

KAYNAKLAR

- Akar,A. (1974) Ni-Hard Fund II als Werkstoffen Gopen Verschleiss In Aubbereitungstechnik ,Seminer Çalışması
- Anales Des Mines, (1978) “*Valeur de la Prduction Miniere Mandi Ale*” s.h. 180-181
- Aslaner, M. (1979) *Nikel Yatakları ve Türkiye’deki Nikel Olanaklarına Toplu ve Yeni Bir Bakış*: TMMOB- LMO yayını 8. sh .25.36
- Brennich, G. (1960), *MTA Ege Bölgesi Çaldağ Aşağı Demir Zuhurları Çalışma Raporu No:12686*(yayınlanmamış)
- Caneb, G. , (17 Ocak 2007) , *Nikel, Madencilik Dergisi Cilti EC Sayı 5*, [www.maden.org.tr /resimler/ekler/558.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/558.pdf).
- Canter Ford, J.H,(January 1975), “*The Treatment of Micheli Fereus Laterites Minerals*” Sc: Enging vol.7,No-1s.3–15
- C. Osbarne,R. Bacan,. G .Dalvi,A.(2004) *The Past and The Future of Nickel Laterites, İnternational Convention*, PDAC 2004 İnternational Convention, Trade show 8: İntestors Exchange Marc (7-10-2004)
- www.pdac.co/pdac/publivations/papers/2004/techprgm-dat-si-bacan.pdf
- Cöcen, Ü. (1980), *Çaldağ Nikel Cevherinin Değerlendirme, Koşulları Yüksek Lisans Tezi*
- Çağatay,A. , Altun.Y. ve Arman,B. (2005), *Çaldağ (Manisa-Turgutlu)Laletirik Demir, Nikel, Kobalt Yatağının Mineralojisi* www.mta.gov.tr /mta-web/kütüphane/mta-dergi/95–96.pdf.

Çalapkulu, F.Pişkin, Ö.(1980) *Contributron to the Metallojenic Study of The Çaldağ (Manisa-Turkey) Nickel-Ferrous Mineralisatiron* (14 April 2005)

European Nickel PLC [www.enickel.co.uk /turkish/www.enickel.co.uk](http://www.enickel.co.uk/turkish/www.enickel.co.uk)

Gümüş, A. (1999) *Dış Olaylara Bağlı Maden Yatakları*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi yayınları No:276.(20-29)

Haslam,M.and Arnall,. (1999)” *An Investigation İntro The Feasibility of Extracting Scandium from Nickel Laterites Ores*”, perth Western Australia

Kaestner,H. Ve Arkadaşları,(1978), “*Nickel” UntersuchungenÜber Angebot und Nachfrage Mineralischer Rohstoffe, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*, S.348

Kleinberger,R.,(2000) ,”*Nilco-sx Demonstration Plant Based on Bateman Pulsed Column Technolgy*”, ALTA Ni /Co 2000, perth Western Australia

LME *London Metal Exchange* (22 February 2007) <http://www.lm.co.uk>

Meta Madencilik (Haziran 2005), www.metamaden.com/index-tr.html

Minerals Engineering İnternational www.mm-eng.com/ops/eu/42.html.

Nikel-kobalt (10 Ocak 2007) www.jmo.org.tr/resimler/ekler

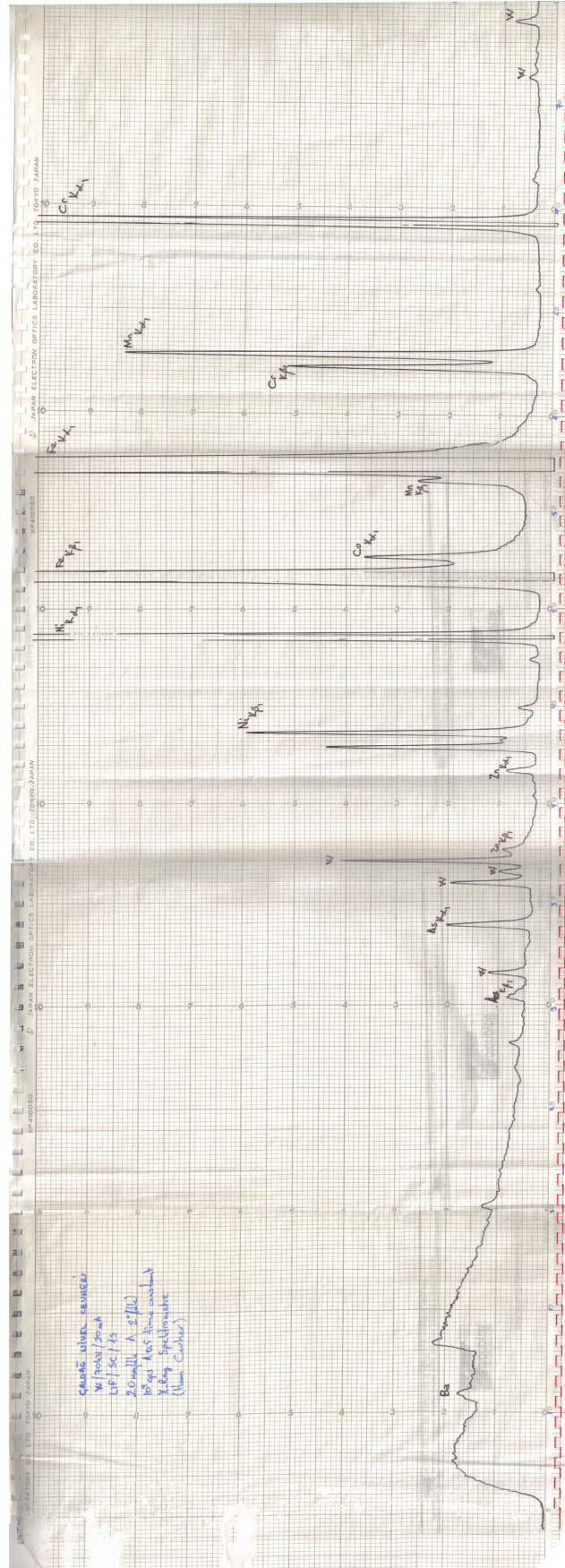
Öztunalı, Ö. (1973) *Maden Yatakları Oluşumları ve Değerlendirmeleri*, Latin matbaası.

Phılıps, H. 1964, *Wristshchaftige Geologie Erzkunde* 1967 *Çaldağ'da (Manisa) Jeolojik Bir Araştırma* MTA dergisi 68

Sekizinci beş yıllık kalkınma planı, (BL) Ağustos 2005, *Madencilik ÖİK Raporu*
Metal Madenleri Alt komisyonu, Diğer metal madenler çalışma Grubu raporu
Nikel, (<http://www.ekurup.dtp.gov.tr/madencil/metal/mad/dik640.pdf>)

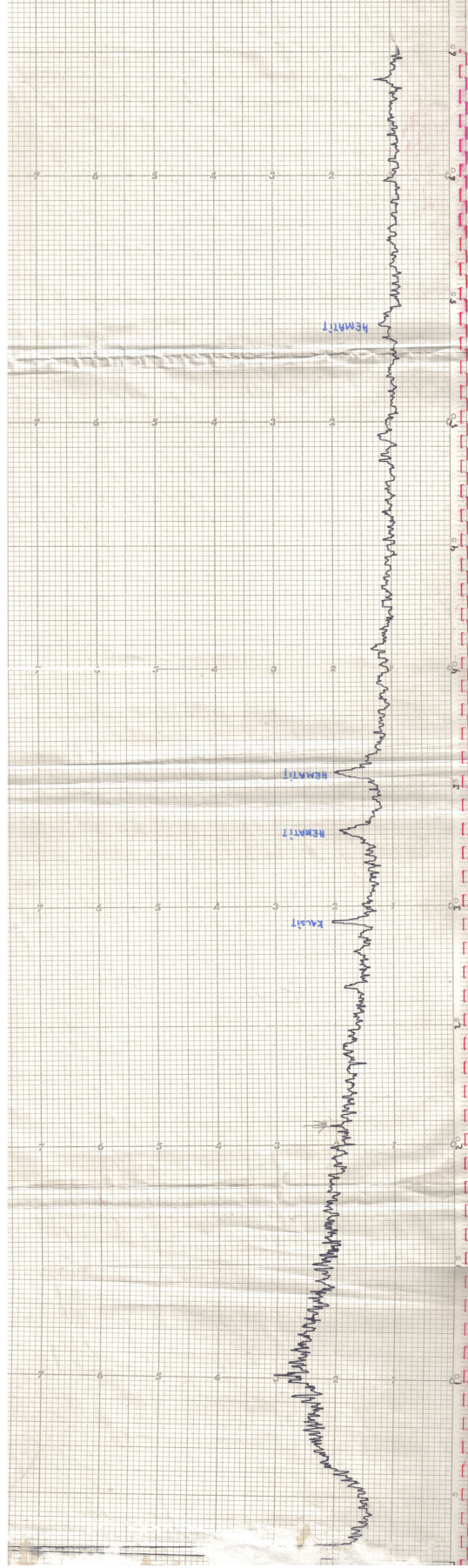
Yaman,M., ve Ertekin,H. (1982): *MTA teknoloji dairesi başkanlığı ön rapor*
(yayınlanmamış).

EK - 1



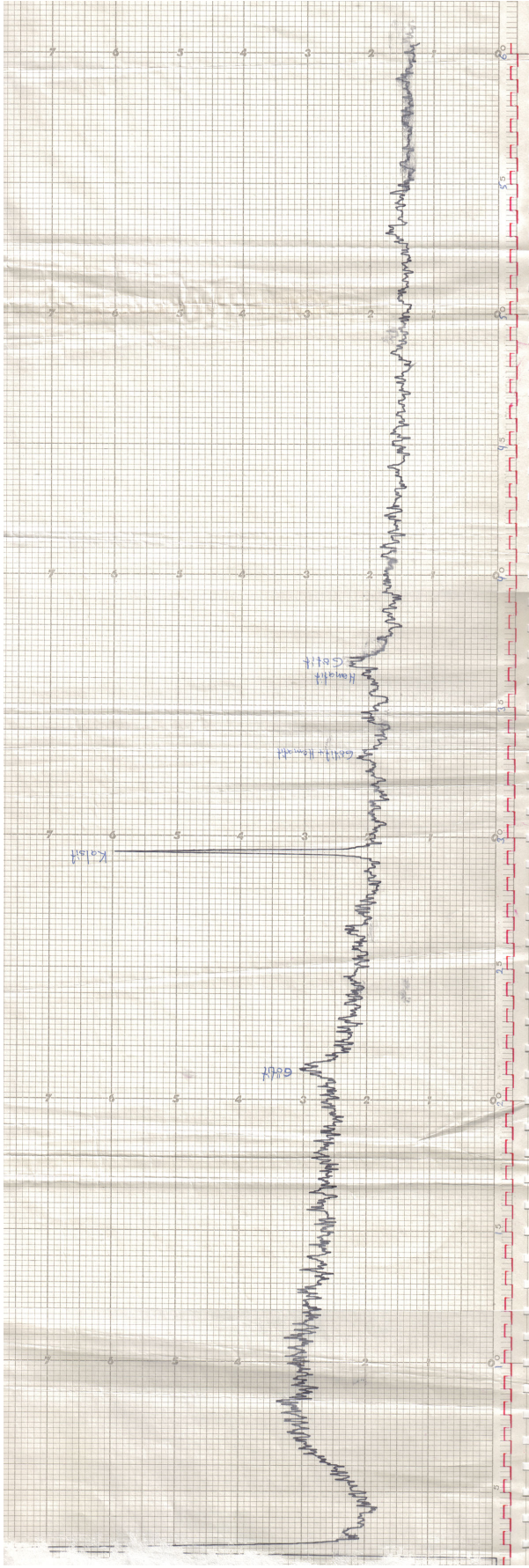
Çaldağ Nikel Ham Cevheri: X-Ray Spektrometre, w/70 kV/30 Ma, LİF/SC/15, 20 mm/dk -2°/dk, 10⁴ cps, 10.5 time constant

EK - 1



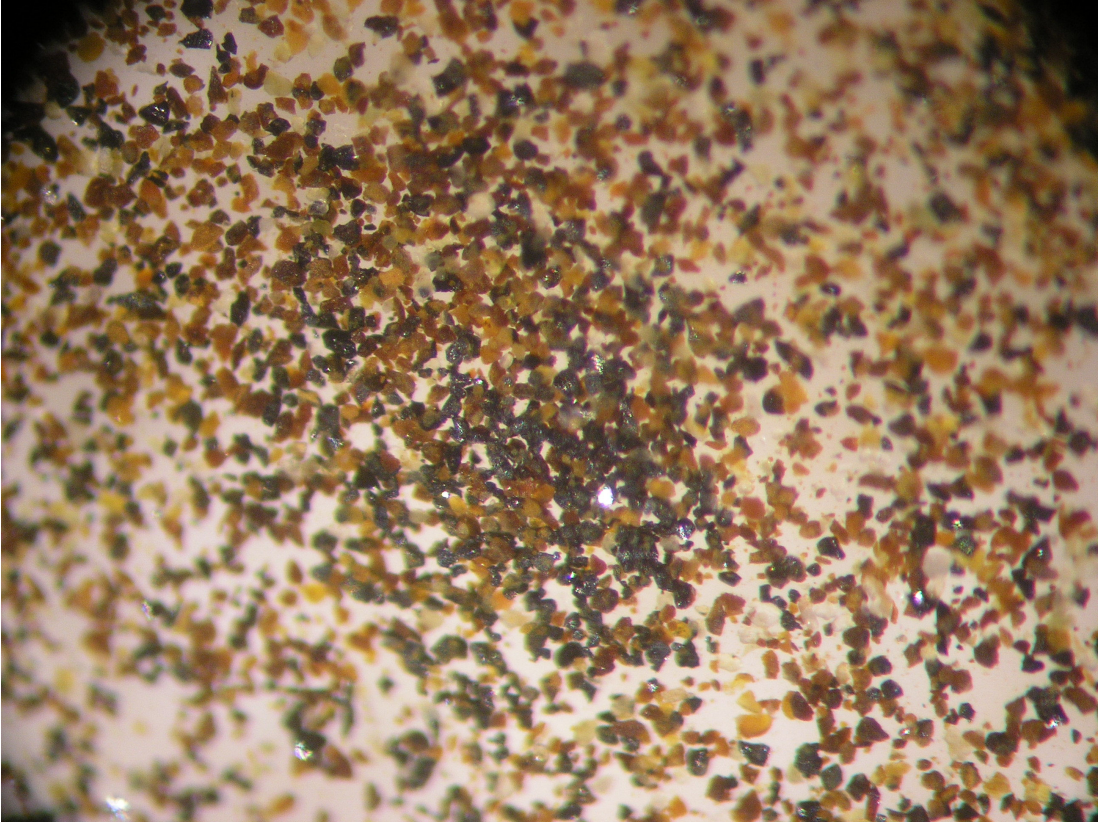
Çaldag Nikel Ham Cevheri: X-Ray Diffraktometre, Co/ 30 Kv/20mA $1 \cdot 10^3$ cps , 1 time constant-2° /dk, 20 mm/dk

EK - 1

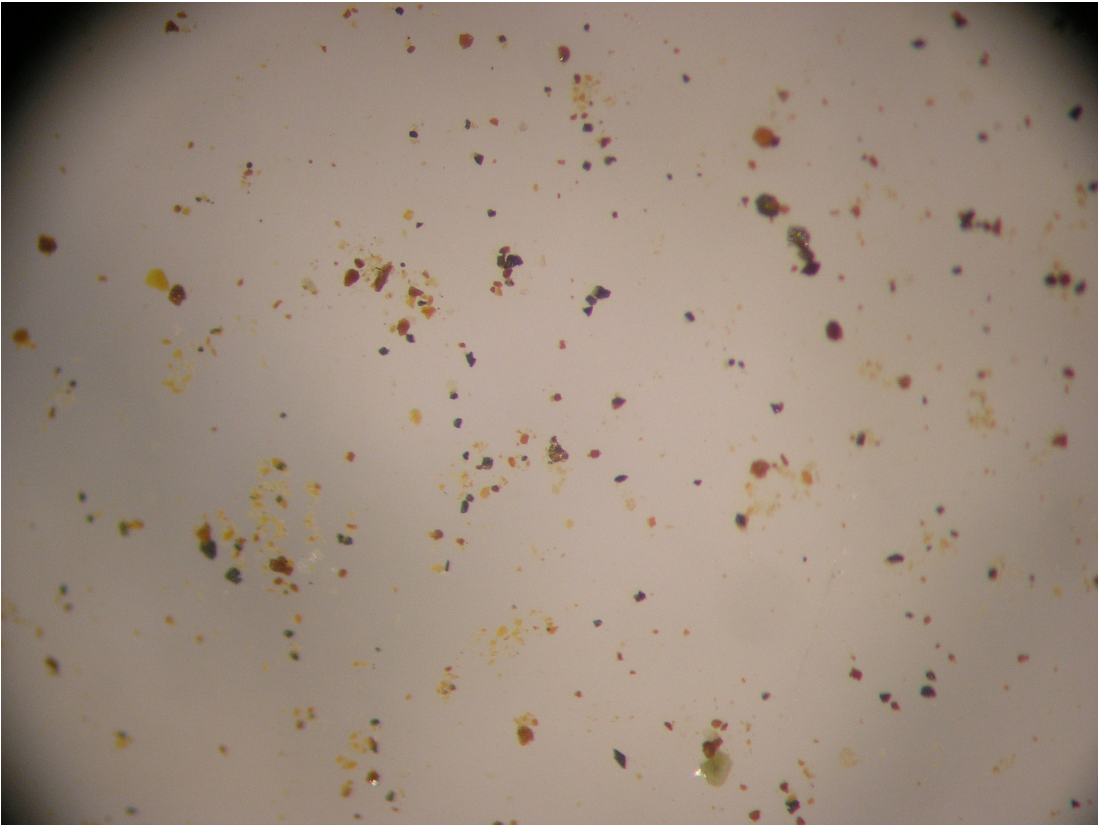


Kavrulmuş Cevher: Cu/30kV/20 Ma- 1.10^3 cps, 1 time constant, $2^\circ/\text{dk}$ -20 mm/dk

EK 2



Şekil 3.6 Mikroskopik görüntüler (-0,1+0,063mm.Fraksiyonun mikroskopik görüntüsü)



Şekil 3.7 Mikroskopik görüntüler. (-0,038 mm Fraksiyonun mikroskopik görüntüsü)

Tane İriliği (mm)	Toplam Elek Üstü %E.Ü.	Ni		Fe	
		Ni Tenör %	Ni Dağılım%	Fe Tenör %	Fe Dağılım %
+10	0,74	1,92	0,08	19,30	0,07
-10,+5.00	19,66	1,80	2,03	36,63	3,28
-5.00,+3.00	32,38	1,76	3,28	38,28	5,65
-3.00,+2.00	46,40	2,40	6,40	35,37	7,48
-2.00,+1.00	60,29	1,54	5,34	26,64	7,32
-1.00,+0.8	64,28	1,74	6,43	20,36	5,96
-0.8,+0.5	73,55	1,76	7,44	18,29	6,13
-0.5,+0.3	81,55	1,96	9,19	19,25	7,15
-0.3,+0.2	83,65	2,14	10,29	20,07	7,65
-0.2,+0.1	91,51	2,13	11,20	22,56	9,41
-0.1,+0.063	96,05	1,97	10,87	22,39	9,80
-0.063,+0.038	98,90	2,06	11,71	34,15	15,39
-0.038	100,00	2,74	15,75	32,34	14,73
		1,74	100,00	21,95	100,00

Çizelge 1: Kuzey 1 Elek-metal analizi

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	Toplam Elek Üstü (%)	
			Toplam Elek Üstü (%)	Toplam Elek Altı (%)
+10	7,33	0,74	0,74	100,00
-10,+5.00	186,53	18,92	19,66	99,26
-5.00,+3.00	125,37	12,72	32,38	80,34
-3.00,+2.00	138,24	14,02	46,40	67,62
-2.00,+1.00	136,89	13,88	60,29	53,60
-1.00,+0.8	39,34	3,99	64,28	39,71
-0.8,+0.5	91,40	9,27	73,55	35,72
-0.5,+0.3	78,83	8,00	81,54	26,45
-0.3,+0.2	20,67	2,10	83,64	18,46
-0.2,+0.1	77,49	7,86	91,50	16,36
-0.1,+0.063	44,78	4,54	96,04	8,50
-0.063,+0.038	28,11	2,85	98,89	3,96
-0.038	10,92	1,11	100,00	1,11
	985,90	100,00		

Çizelge 2: Kuzey -1- ocaktan alınan cevherin elek analizi sonuçları

Tane İriliği (mm)	Toplam Elek Üstü %E.Ü.	Ni		Fe	
		Ni Tenör %	Ni Dağılım%	Fe Tenör %	Fe Dağılım %
10	1,76	0,5	0,04	37,33	0,18
-10,+5.00	20,08	2,3	1,97	42,86	2,33
-5.00,+3.00	34,48	1,99	2,93	45,61	4,26
-3.00,+2.00	50,48	2,06	4,44	47,28	6,47
-2.00,+1.00	67,5	1,96	5,65	40,28	7,37
-1.00,+0.8	73,14	1,92	6,00	30,45	6,04
-0.8,+0.5	80,38	1,96	6,73	30,85	6,72
-0.5,+0.3	86,65	2,89	10,70	32,95	7,74
-0.3,+0.2	88,96	2,98	11,33	36,78	8,87
-0.2,+0.1	92,5	2,92	11,54	40,23	10,09
-0.1,+0.063	96,7	2,99	12,36	48,05	12,60
-0.063,+0.038	98,3	3,07	12,90	49,17	13,10
-0.038	99,36	3,15	13,38	52,86	14,24
		2,34	100,0	36,89	100,00

Çizelge 3: Kuzey 2 Elek-metal analizi

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	Toplam Elek Üstü (%)	Toplam Elek Altı (%)
+10	17,62	1,76	1,76	100,00
-10,+5.00	196,38	19,64	21,40	98,24
-5.00,+3.00	136,83	13,68	35,08	78,60
-3.00,+2.00	160,06	16,01	51,09	64,92
-2.00,+1.00	170,25	17,03	68,11	48,91
-1.00,+0.8	56,45	5,65	73,76	31,89
-0.8,+0.5	72,49	7,25	81,01	26,24
-0.5,+0.3	62,70	6,27	87,28	18,99
-0.3,+0.2	23,16	2,32	89,59	12,72
-0.2,+0.1	35,46	3,55	93,14	10,41
-0.1,+0.063	42,00	4,20	97,34	6,86
-0.063,+0.038	16,00	1,60	98,94	2,66
-0.038	10,60	1,06	100,00	1,06
	1000,00	100,00		

Çizelge 4: Kuzey 2 ocaktan alınan cevherin elek analizi tablosu

Tane iriliği (mm)	Toplam Elek Üstü %E.Ü.	Ni		Fe	
		Ni Tenör %	Ni Dağılım %	Fe Tenör %	Fe Dağılım %
+10	4,21	1	0,34	28,56	0,49
-10,+5.00	23,62	1,18	2,27	25,98	2,50
-5.00,+3.00	32,85	1,25	3,34	30,5	4,08
-3.00,+2.00	43,75	1,56	5,55	32,03	5,71
-2.00,+1.00	56,48	1,11	5,10	24,54	5,65
-1.00,+0.8	61,66	1,09	5,46	24,04	6,04
-0.8,+0.5	69,11	1,23	6,91	25,22	7,10
-0.5,+0.3	76,63	1,43	8,91	27,87	8,70
-0.3,+0.2	79,51	1,3	8,40	27,42	8,88
-0.2,+0.1	86,25	1,5	10,52	28,23	9,92
-0.1,+0.063	92,58	1,29	9,71	32,64	12,31
-0.063,+0.038	96,05	2,05	16,01	36,21	14,17
-0.038	99,95	2,15	17,47	35,53	14,47
		1,23	100,0	24,5	100,00

Çizelge 5: Güney 1 Elek-metal analizi

Tane iriliği (mm)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	Toplam Elek Üstü (%)	Toplam Elek Altı (%)
+10	42,14	4,21	4,21	100,00
-10,+5.00	194,13	19,41	23,63	95,79
-5.00,+3.00	92,30	9,23	32,86	76,37
-3.00,+2.00	109,06	10,91	43,76	67,14
-2.00,+1.00	127,32	12,73	56,50	56,24
-1.00,+0.8	51,83	5,18	61,68	43,51
-0.8,+0.5	74,54	7,45	69,13	38,32
-0.5,+0.3	75,21	7,52	76,65	30,87
-0.3,+0.2	28,87	2,89	79,54	23,35
-0.2,+0.1	67,48	6,75	86,29	20,46
-0.1,+0.063	63,35	6,34	92,62	13,71
-0.063,+0.038	34,76	3,48	96,10	7,38
-0.038	39,01	3,90	100,00	3,90
	1000,00			

Çizelge 6: Güney 1 ocaktan alınan cevherin elek analizi sonuçları

Tane İriliği (mm)	Toplam Elek Üstü %E.Ü.	Ni		Fe	
		Ni Tenör %	Ni Dağılım%	Fe Tenör %	Fe Dağılım %
+10	3,44	2,06	0,34	14,03	0,17
-10,+5.00	30,79	2,26	3,31	29,11	3,22
-5.00,+3.00	42,77	2,90	5,91	30,92	4,75
-3.00,+2.00	55,38	2,36	6,22	28,65	5,70
-2.00,+1.00	68,51	1,60	5,22	30,35	7,47
-1.00,+0.8	73,41	1,80	6,29	22,68	5,98
-0.8,+0.5	79,93	1,84	7,00	19,67	5,65
-0.5,+0.3	86,03	1,77	7,25	16,31	5,04
-0.3,+0.2	88,60	2,36	9,96	22,87	7,28
-0.2,+0.1	92,81	2,67	11,80	27,57	9,19
-0.1,+0.063	97,02	2,34	10,81	38,62	13,46
-0.063,+0.038	98,72	2,48	11,66	47,29	16,77
-0.038	99,94	2,99	14,23	42,7	15,33
		2,10	100,00	27,84	100,00

Çizelge 7: Güney 2 Elek-metal analizi

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	Toplam Elek Üstü (%)	Toplam Elek Altı (%)
+10	34,43	3,44	3,44	100,00
-10,+5.00	273,54	27,35	30,80	96,56
-5.00,+3.00	119,85	11,99	42,78	69,20
-3.00,+2.00	126,13	12,61	55,40	57,22
-2.00,+1.00	131,35	13,14	68,53	44,61
-1.00,+0.8	49,03	4,90	73,43	31,47
-0.8,+0.5	65,21	6,52	79,95	26,57
-0.5,+0.3	61,01	6,10	86,06	20,05
-0.3,+0.2	25,76	2,58	88,63	13,95
-0.2,+0.1	42,16	4,22	92,85	11,37
-0.1,+0.063	42,18	4,22	97,07	7,15
-0.063,+0.038	17,09	1,71	98,77	2,94
-0.038	12,26	1,23	100,00	1,23
	1000,00	100,00		

Çizelge 8: Güney 2 ocaktan alınan cevherin elek analizi sonuçları

EK - 7

Tane İrliđi (mm)	Ürünler	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	Tenör %Ni	İçerik	Verim %Ni
+2mm	Ağır Mineral	370,88	39,16	1,74	68,14	41,83
	Hafif Mineral	538,94	56,91	1,47	83,65	51,35
	Jig Altı(şlam)	37,22	3,93	2,83	11,12	6,83
	Beslenen Cevher (Hesaplanan)	947,04	100,00	1,62	162,92	100,00
	Beslenen Cevher (Ölçülen)	1000,00				

Çizelge 9: Jig ile zenginleştirme metalurjik denge çizelgesi

Tane İriliği (mm)	BM'ye Göre Ağırlık (gr)	BM'ye Göre Ağırlık (%)	Ürünler	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	BM'ye Göre % Ağırlık	Tenör %	İçerik	Tane Sınıfı Verim %	BM'ye Göre % Verim
-2,+1 mm	1164,23	26,22	Konsantre Orta Ürün Artık BM(s)	297,73 243,60 622,90 1164,23	25,57 20,92 53,50 100,00	6,71 5,49 14,03 26,22	1,41 2,03 2,29 2,01	9,45 11,14 32,13 52,70	17,94 21,13 60,96 100,00	4,06 4,78 13,80 22,63
-1,+0,5 mm	1083,7	24,40	Konsantre Orta Ürün Artık BM(s)	116,37 369,33 598,00 1083,70	10,74 34,08 55,18 100,00	2,62 8,32 13,46 24,40	1,55 1,83 2,68 2,27	4,06 15,22 36,08 55,39	7,33 27,47 65,15 100,00	1,74 6,54 15,50 23,79
-0,5,+0,3 mm	1009,87	22,74	Konsantre Orta Ürün Artık BM(s)	137,49 112,78 759,60 1009,87	13,61 11,17 75,22 100,00	3,10 2,54 17,10 22,74	1,41 1,91 2,67 2,41	4,37 4,85 45,67 54,80	7,97 8,85 83,34 100,00	1,87 2,08 19,61 23,54
-0,3,+0,2 mm	344,22	7,75	Konsantre Orta Ürün Artık BM(s)	76,60 129,85 137,77 344,22	22,25 37,72 40,02 100,00	1,72 2,92 3,10 7,74	1,65 2,39 2,79 2,39	2,84 6,98 8,64 18,50	15,36 37,72 46,72 100,00	1,22 3,00 3,71 7,94
-0,2,+0,1 mm	220,15	4,97	Konsantre Orta Ürün Artık BM(s)	49,70 32,30 138,15 220,15	22,58 14,67 62,75 100,00	1,12 0,73 3,12 4,97	1,52 1,78 2,73 2,32	1,71 1,30 8,51 11,53	14,79 11,26 73,85 100,00	0,73 0,56 3,66 4,95
-0,1 mm	618,2	13,92	Konsantre Orta Ürün Artık BM(s)	68,77 333,89 215,54 618,20	11,12 54,01 34,87 100,00	1,55 7,52 4,85 13,92	2,23 2,86 3,07 2,86	3,45 21,50 14,90 39,81	8,67 54,01 37,43 100,00	1,48 9,23 6,40 17,10
Beslenen Cevher Toplam:	4440,37	100,00								

BM=52,72+55,36+54,89+18,5+11,52+39,86=232,85

Ürünler	BM: Ağırlığı %	Tenör %	Verim	İçerik
Konsantre	16,8	1,54	11,11	25,87
Orta ürün	27,52	2,22	26,2	61,01
Artık	55,68	2,62	62,69	145,97
Besleme	100	2,33	100	232,85

Çizelge 10: Sallantılı Masa İle Zenginleştirme (Metalurjik denge çizelgesi)

EK - 9

Tane İriliği (mm)	BM'ye Göre Ağırlık gr	BM'ye Göre Ağırlık %	Ürünler	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	BM'ye Göre % Ağırlık	Tenör %	İçerik	Tane Sınıfı Verim %	BM'ye Göre % Verim
-2,+1 mm	1500	21,61	Manyetik Ürün	904,10	60,27	13,03	2,30	29,96	64,77	11,48
			Ara Ürün	561,70	37,45	8,09	1,95	15,78	34,12	6,05
			Manyetik Olmayan Ürün	34,20	2,28	0,49	0,95	0,47	1,01	0,18
-1,+0,5 mm	1500	21,61	BM(s)	1500,00	100,00	21,61	2,14	46,25	100,00	17,73
			Manyetik Ürün	1366,00	91,07	19,68	2,58	50,77	92,87	19,46
			Ara Ürün	119,00	7,93	1,71	2,20	3,77	6,90	1,45
-0,5,+0,3 mm	1500	21,61	Manyetik Olmayan Ürün	15,00	1,00	0,22	0,74	0,16	0,29	0,06
			BM(s)	1500,00	100,00	21,61	2,53	54,67	100,00	20,96
			Manyetik Ürün	1113,96	74,26	16,05	2,90	46,54	75,57	17,84
-0,3,+0,2 mm	600	8,66	Ara Ürün	369,34	24,62	5,32	2,80	14,90	24,19	5,71
			Manyetik Olmayan Ürün	16,70	1,11	0,24	0,83	0,20	0,32	0,08
			BM(s)	1500,00	100,00	21,61	2,85	61,59	100,00	23,61
-0,2,+0,1 mm	340	4,90	Manyetik Ürün	320,22	53,37	4,62	2,96	13,68	55,43	5,24
			Ara Ürün	270,62	45,10	3,91	2,80	10,94	44,31	4,19
			Manyetik Olmayan Ürün	9,16	1,53	0,13	0,63	0,08	0,34	0,03
-0,1 mm	1500	21,61	BM(s)	600,00	100,00	8,66	2,85	24,68	100,00	9,46
			Manyetik Ürün	251,08	73,85	3,62	3,28	11,87	77,62	4,55
			Ara Ürün	80,85	23,78	1,17	2,79	3,25	21,26	1,25
Besl. Cev. Top.:	6940	100,00	Manyetik Olmayan Ürün	8,07	2,37	0,12	0,85	0,10	0,65	0,04
			BM(s)	340,00	100,00	4,90	3,12	15,29	100,00	5,86
			Manyetik Ürün	1397,77	93,18	20,14	2,73	54,97	94,22	21,08
			Ara Ürün	90,44	6,03	1,30	2,49	3,24	5,56	
			Manyetik Olmayan Ürün	11,79	0,79	0,17	1,05	0,18	0,31	0,07
			BM(s)	1500,00	100,00	21,61	2,70	58,35	100,00	22,37

$$BM=46,2+54,67+61,65+24,71+15,01+58,41=260,85$$

Ürünler	BM. Ağırlığı %	Tenör %	İçerik	Verim %
Manyetik Ürün	77,12	2,69	207,76	79,64
Ara Ürün	21,5	2,41	51,89	19,88
Manyetik Olmayan Ürün	1,38	0,87	1,2	0,48
Besleme	100		260,85	100

SONUÇ

Çizelge 11: Manyetik Separatör (Metalurjik denge Çizelgesi)

EK - 10

Ürünler	Ağırlık		Ni			Fe		
	(gr)	(%)	Ni(%)	İçerik	Ni Verimi (%)	Fe(%)	İçerik	Fe Verimi (%)
Oksit Konsantre	72,35	36,18	2,33	84,29	36,81	20,02	724,22	30,05
Ara Ürün	23,36	11,68	2,49	29,08	12,70	19,83	231,61	9,61
Artık	104,29	52,15	2,23	116,28	50,78	20,33	1.060,11	43,99
Besleme Mali	200,00	100,00	2,29	229,00	100,00	24,10	2.410,00	100,00

Çizelge 12: Flotasyon testi 1 (oksit flotasyonu tenör-verim ilişkisi)

Ürünler	Ağırlık		Ni			Fe		
	(gr)	(%)	Ni(%)	İçerik	Ni Verimi (%)	Fe(%)	İçerik	Fe Verimi (%)
Oksit Konsantre	157,78	52,59	2,96	155,68	51,04	30,83	1621,47	50,80
Ara Ürün	56,72	18,91	2,86	53,98	17,70	29,67	560,91	17,57
Artık	85,49	28,50	3,37	95,90	31,44	35,41	1009,11	31,61
Besleme Mali	300,00	100,00	3,05	305,00	100,00	31,92	3192,00	100,00

Çizelge 13: Flotasyon testi 1

Ürünler	Ağırlık		Ni			Fe		
	(gr)	(%)	Ni(%)	İçerik	Ni Verimi (%)	Fe(%)	İçerik	Fe Verimi (%)
Oksit Konsantre	124,83	41,61	2,76	114,85	40,87	27,91	1161,35	39,60
Ara Ürün	41,13	13,71	2,77	37,91	13,49	29,13	399,41	13,62
Artık	134,03	44,68	2,89	128,90	45,87	30,72	1372,51	46,80
Besleme Mali	300,00	100,00	2,81	281,00	100,00	29,33	2933,00	100,00

Çizelge 14: Flotasyon testi -2-

EK - 11

Units Detection Limit Method SAMPLES	Solutions						Free Acid BHP method 0,10
	Ni	Fe	Co	Mn			
	10	100	1	1			
	ppm	ppm	ppm	ppm			g/L
KARIŞTIRMA HIZI	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L			
500 rpm	116	580	< 5	21,7			*****
600 rpm	142	739	< 5	20,2			*****
700 rpm	211	2500	< 5	61,0			*****
800 rpm	177	896	5,42	32,8			*****
Besleme Malı Analizleri							
ÜRÜNLER	Tane İriğiği(mm)	Ni %	Fe %	Mn %	Co %		
	-10,+5mm	1,81	21,2	0,58	0,13		
	-5,+1mm	1,76	22,6	0,43	0,12		
	-1mm	2,3	26,2	0,55	0,14		

Çözelti Hacmi:	0,5L	KARIŞTIRMA HIZI	%Ni VERİMİ	%Fe VERİMİ	%Co VERİMİ	%Mn VERİMİ
Asit Miktarı:	75gr/lt	500 rpm	6,59	2,57	4,17	5,05
Cevher Boyutu:	-5,+1mm	600 rpm	8,07	3,27	4,17	4,70
Cevher Ağırlığı:	50 gr=50,000mg	700 rpm	11,99	11,06	4,17	14,19
Sıcaklık:	25 °C	800 rpm	10,06	3,96	4,52	7,63
Süre:	10 saat					

Çizelge 15: Asit liçinde çeşitli karıştırma hızlarındaki metal verimlerinin dağılımı

EK - 12

SAMPLES	Units Detection Limit Method	Ni	Fe	Co	Mn
2 Saat		121	620	1,71	12,0
4 Saat		201	966	2,72	21,0
6 Saat		244	1220	3,2	28,0
8 saat		310	1680	4,94	42,0
10 Saat		211	2500	5	61
12 Saat		319	3310	12	96
14 Saat		288	3100	11	91

Bestleme Malı Analizleri	Tane İriliği(mm)	Ni %	Fe %	Mn %	Co %
HAM CEVHER	-10,+5mm	1,81	21,2	0,58	0,13
	-5,+1mm	1,76	22,6	0,43	0,12
	-1mm	2,3	26,2	0,55	0,14

Çözelti Hacmi:	1L
Asit Miktarı:	75gr/lt
Cevher Boyutu:	-5,+1mm
Cevher Ağırlığı:	100 gr=100,000mg
Sıcaklık:	25° C
Karıştırma Hızı:	700 rpm

SÜRE (saat)	%Ni VERİMİ	%Fe VERİMİ	%Co VERİMİ	%Mn VERİMİ
2 Saat	6,88	2,74	1,43	2,79
4 Saat	11,42	4,27	2,27	4,88
6 Saat	13,86	5,40	2,67	6,51
8 saat	17,61	7,43	4,12	9,77
10 Saat	11,99	11,06	4,17	14,19
12 Saat	18,13	14,65	10,00	22,33
14 Saat	16,36	13,72	9,17	21,16

Çizelge 16: Asit Liç'inde Çeşitli Sürelerde Metal Veriminin Dağılımı

Units		Solutions				
		Ni	Fe	Co	Mn	Free Acid
Detection Limit	10	100	1	1		BHP method
Method						0,10
SAMPLES						
25 gr/lt	ppm	ppm	ppm	ppm	g/l	
50 gr/lt	167	777	< 5	24,8	12,9	
75 gr/lt	218	1190	< 5	28,3	80,6	
100 gr/lt	319	3310	8,07	96,0	39,6	
150 gr/lt	219	1080	< 5	27,0	65,8	
	237	1250	< 5	26,1	130	

Besleme Malı Analizleri		Tane İriliği(mm)		Ni %	Fe %	Mn %	Co %
ÜRÜNLER		-10,+5mm		1,81	21,2	0,58	0,13
HAM CEVHER		-5,+1mm		1,76	22,6	0,43	0,12
		-1mm		2,3	26,2	0,55	0,14

Çözelti Hacmi:	0,5L
Karıştırma Hızı:	700 rpm
Cevher Boyutu:	-5, +1 mm
Cevher Ağırlığı:	50 gr=50,000mg
Sıcaklık:	25° C
Süre:	12 saat

ASİT KONSANTRASYONU	%Ni VERİMİ	%Fe VERİMİ	%Co VERİMİ
25gr/lt	9,49	3,44	4,17
50 gr/lt	12,39	5,27	4,17
75 gr/lt	18,13	14,65	10,00
100 gr/lt	12,44	4,78	4,17
150 gr/lt	13,47	5,53	4,17

Çizelge 17: Asit İçinde çeşitli H2SO4 konsantrasyonlarındaki metal verimlerinin dağılımı.

**75 GR/LT ASİT KONSANTRASYONUNDA
ÇALIŞILDIĞI İÇİN KULLANILAN SOLİSYON
MİKTARI:**

0,5 L olduğunu düşünelim

0,5X75 = 37,5 gr asit

BU TEST İÇİN 37,5 GR ASİT SARFIYATI VAR
DEMEKTİR..

EK - 14

AYNI TESTE 50 GR CEVHER KULLANILDIĞINI DÜŞÜNELİM
O ZAMAN

50

37,5

GR ASİT
KULLANILDI

GR CEVHER İÇİN

ASİTLİK	KULLANILAN SOLİSYON HACMI (L)	CEVHER MİKTARI(GR)	TESTTE KULLANILAN ASİT MİKTARI (GR)	1 TON CEVHER İÇİN ASİT TÜKETİMİ (GR)
25	0,5	50	12,5	250000
50	0,5	50	25	500000
75	0,5	50	37,5	750000
100	0,5	50	50	1000000
150	0,5	50	75	1500000

**BU TABLODA RAKAMLARI DEĞİŞTİRİP 1 TON CEVHER İÇİN
TÜKETİMDEKİ DEĞİŞİME BAKILABİLİR** 

1 TON CEVHER İÇİN KULLANILAN ASİT MİKTARI

1 TON = 1000KG= 1000000GR

1000000 GR CEVHER İÇİN = (1000000*750)/250 GR ASİT KULLANILIR

(1000,000*37,5)/50=750,000GR /50=**750.000 GR** ASİT TÜKETİMİ VARDIR.

ÇİZELGE 18: 1 TON CEVHER İÇİN KULLANILAN ASİT MİKTARI HESABI

Units Detection Limit Method SAMPLES	Solutions			
	Ni	Fe	Co	Mn
	10	100	1	1
	ppm	ppm	ppm	ppm
25°C	223	1120	< 5	26,6
45°C	451	2560	11,7	72,3
60°C	769	6040	23,6	143
80°C	981	9250	31,3	196

Besleme Mah. Analizleri ÜRÜNLER	Tane İriliği(mm)				
	Ni %	Fe %	Mn %	Co %	
HAM CEVHER	-10,+5mm	1,81	21,2	0,58	0,13
	-5,+1mm	1,76	22,6	0,43	0,12
	-1mm	2,3	26,2	0,55	0,14

Çözelti Hacmi:	0,2L
Asit Miktarı:	75gr/lt
Cevher Boyutu:	-5,+1mm
Cevher Ağırlığı:	20 gr=20,000mg
Karıştırma Hızı:	700 rpm
Süre:	12 saat

SICAKLIK	%Ni VERİMİ	%Fe VERİMİ	%Co VERİMİ	%Mn VERİMİ
25 °C	12,67	4,96	4,17	6,19
45 °C	25,63	11,33	9,75	16,81
60 °C	43,69	26,73	19,67	33,26
80 °C	55,74	40,93	26,08	45,58

Çizelge 18: Asit içinde metal çözünürlüklerinin sıcaklıkla değişimi

EK – 16

		Solutions			
Units		Ni	Fe	Co	Mn
Detection Limit					
Method		10	100	1	1
Besleme Malı Analizleri	SAMPLES				
ÜRÜNLER	Tane İriliği(mm)	ppm	ppm	ppm	ppm
HAM CEVHER	-10,+5mm	1010	8500	37,0	218
	-5,+1mm	981	9250	31,3	196
	-1mm	1470	12200	46,9	307

Besleme Malı Analizleri					
ÜRÜNLER	Tane İriliği(mm)	Ni %	Fe %	Mn %	Co %
HAM CEVHER	-10,+5mm	1,81	21,2	0,58	0,13
	-5,+1mm	1,76	22,6	0,43	0,12
	-1mm	2,3	26,2	0,55	0,14

TANE BOYUTU	%Ni VERİMİ	%Fe VERİMİ	%Co VERİMİ	%Mn VERİMİ
-10,+5mm	55,80	40,09	28,46	37,59
-5,+1mm	55,74	40,93	26,08	45,58
-1mm	63,91	46,56	33,50	55,82

Karıştırma Hızı:	700rpm
Çözelti Hacmi:	0,5L
Asit Miktarı:	75gr/lit
Cevher Boyutu:	-5,+1mm
Cevher Ağırlığı:	50 gr=50,000mg
Sıcaklık:	80° C
Süre:	12 saat

Çizelge 20: Asitle çözüldürmede tane boyutuna bağlı olarak çözeltiye geçen metallerin verim dağılımı.

EK – 17

Units Detection Limit Method SAMPLES		Solutions			
		Ni	Fe	Co	Mn
		10	100	1	1
SOLUTION SAMPLES		ppm	ppm	ppm	ppm
1000°C	-10,+5mm	928	2530	114	552
1000°C	-5,+1mm	943	2690	98,0	487
1000°C	-1mm	991	2640	95,9	482
950°C	-10,+5mm	1280	3930	113	519
950°C	-5,+1mm	1130	3720	110	538
950°C	-1mm	1260	3220	125	631
850°C	-10,+5mm	1040	3000	116	522
850°C	-5,+1mm	1220	5200	96,9	466
850°C	-1mm	1420	4090	115	553
Besleme Malı Analizleri					
ÜRÜNLER	Tane İriliği(mm)	Ni %	Fe %	Mn %	Co %
KALSİNE ÜRÜN-1000°C	-10,+5mm	2,08	26,6	0,59	0,15
	-5,+1mm	2,16	27,3	0,48	0,13
	-1mm	1,92	20,4	0,43	0,15
KALSİNE ÜRÜN-950°C	-10,+5mm	2,07	24,9	0,56	0,15
	-5,+1mm	2,21	27,6	0,52	0,14
	-1mm	2,56	26,6	0,57	0,15
KALSİNE ÜRÜN-850°C	-10,+5mm	1,99	25,5	0,57	0,15
	-5,+1mm	2,13	27,3	0,52	0,13
	-1mm	2,56	27,6	0,6	0,15

Karıştırma Hızı:	700rpm
Çözelti Hacmi:	0,2L
Asit Miktarı:	75gr/lt
Cevher Ağırlığı:	20 gr=20,000mg
Sıcaklık:	80 °C
Süre:	12 saat

ÜRÜNLER	TANE İRİLİĞİ(mm)	%Ni VERİMİ	%Fe VERİMİ	%Co VERİMİ	%Mn VERİMİ
KALSİNE ÜRÜN-1000°C	-10,+5mm	34,01	7,25	57,97	71,36
	-5,+1mm	34,40	7,76	59,40	79,95
	-1mm	42,86	10,75	53,08	93,07
KALSİNE ÜRÜN-950°C	-10,+5mm	51,43	13,13	62,65	77,08
	-5,+1mm	41,88	11,04	64,36	84,75
	-1mm	40,88	10,05	69,21	91,94
	-10,+5mm	42,56	9,58	62,97	74,57
KALSİNE ÜRÜN-850°C	-5,+1mm	47,24	15,71	61,47	73,91
	-1mm	46,42	12,40	64,16	77,13

Çizelge 21: Kalsine ürünlerde asitle çözdürmede tane iriliğine bağlı olarak çözeltiye geçen metallerin verim dağılımı.