

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE KROMİT YATAKLARININ PLATİNGRUBU
METALLER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Maden Müh. Mehmet MAMİL**

Anabilim Dalı : MADEN MÜHENDİSLİĞİ

Program : CEVHER VE KÖMÜR HAZIRLAMA

OCAK 2006

**TÜRKİYE KROMİT YATAKLARININ PLATİNGRUBU
METALLER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Maden Müh. Mehmet MAMİL
(505021103)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Aralık 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Ocak 2006

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali GÜNEY
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Neşet ACARKAN
Doç. Dr. Özgül ÖZCAN

OCAK 2006

**TÜRKİYE KROMİT YATAKLARININ PLATİN
GRUBU METALLER VE NİKEL AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
M. d. M. h. M. h. n. e. t. M. A. M. L.**

**Anabilim Dalı: MADEN MÜHENDİSLİĞİ
Program: CEVHER VE KÖMÜR HAZIRLAMA**

OCAK 2006

ÖNSÖZ

Tezi msüresince bana hep destek olan Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Neşet Acarkan'a, İ. T. Ü'deki yüksek lisans çalışmalarımın her kademesinde her türlü desteğini ve ilgisini benden esirgeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ali Güney'e sonsuz teşekkür ederim

Ayrıca, tez çalışmalarım boyunca bana hep yardımcı olan Dr. Vecihi Gürkan'a, Arş. Gör. Dr. Oğaç Kangal'a, Yük. Müh. Mustafa Özer'e ve Kim Müh. Sezin Bakan'a teşekkürü bir borç bilirim

Tez çalışmalarım sırasında bana her zaman destek olan, deneyimlerini ve dostluklarını paylaştığım Arş. Gör. Ozan Kökkılıç ve Arş. Gör. Frat Burat'a teşekkür ederim

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

OCAK 2005

Mehmet Mustafa AMİL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR

v

TABLO LİSTESİ

vi

ŞEKİL LİSTESİ

vii

ÖZET

viii

SUMMARY

ix

1. GİRİŞ

1

2. GENEL BİLGİLER

3

2.1. Kromit ve Buna Bağlı Hatın Yataklarının Oluşumu

4

2.1.1. Türkiye pgmyatıkları

4

2.1.2. Türkiye pgmyatıklarının oluşumu

5

2.2. PGMİçeren Minerallerin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

5

2.3. PGMİçeren Cevherlerin Sınıflandırılması

8

2.3.1. Yoğun pgmiçeren cevherler

8

2.3.2. Nikel-bakır içeren cevherler

8

2.3.3. Çeşitli cevherler

9

2.4. Dünya PGM Rezervleri ve Tüketimi

9

2.4.1. Dünya pgm üretimi

10

2.4.2. Dünya pgmt tüketimi

11

2.4.3. Dünya pgmfi yatları

13

2.5. PGM'nin Kullanım Alanları

13

2.6. PGM'nin Zenginleştirilmesi

18

2.6.1. Norilsk madeni, Rusya

19

2.6.2. Merensky yatağı, Güney Afrika

20

2.6.3. Stillwater kompleksi, Montana

21

2.6.4. Lac Des Iles madeni, Kuzey Amerika

22

2.6.5. Sudbury bölgesi, Ontario

22

2.6.6. Talnakh bölgesi (Norilsk Madeni), Rusya

23

2.6.7. Güney Afrika Waterfall İzabe Kompleksi

24

2.7. Nkel Hakkında Genel Bilgiler	26
2.7.1. Nkel rezervleri	27
2.7.2. Dünya nikel üretimi	27
2.7.3. Dünya nikel tüketimi	30
2.7.4. Nkel fiyatları	30
2.7.5. Nkelin kullanı malanları	31
2.7.6. Türkiye nikel rezervleri	32
2.7.7. Manisa Çal dağ Madeni, European Nickel PLC	32
3. DENEYSEL ÇALIŞ MALAR	34
3.1. Numunenin Fiziksel Özellikleri	34
3.2. Numunenin Kimyasal Özellikleri	34
3.3. Numunelerin Mineralojik Özellikleri	36
3.4. Fiziksel, Fizikokimyasal Zenginleştirme	39
3.4.1. Sarsıntılı masada deneyleri	40
3.4.2. Flotasyon deneyleri	43
3.4.2.1. Ksantat ile yapılan flotasyon deneyleri	44
3.4.2.2. Dithi ofosfat ile yapılan flotasyon deneyleri	46
3.4.3. Knelson cihazı ile yapılan deneyler	48
3.5. Kimyasal Zenginleştirme Deneyleri	56
3.5.1. Tane boyutunun çözündürme verimliliğini incelemesi	56
3.5.2. Sıcaklığın çözündürme verimliliğini incelemesi	58
3.5.3. Asit konsantrasyonunun çözündürme verimliliğini incelemesi	59
3.5.4. Sürenin çözündürme verimliliğini incelemesi	61
4. SONUÇLAR	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	66

KISALTMALAR

PGM	: Hatın Grubu Metaller
IMA	: International Mineralogy Association
FCV	: Fuel Cell Vehicles
PMR	: Precious Metal Refinery
MCP	: Magnetic Concentration Plant
BMR	: Base Metal Refinery
CMC	: Karboksi Metil Selüloz

TABLO LİSTESİ**Sayfa No**

Tablo 1.1	Platin Grubu Metallerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	1
Tablo 2.1	PGM Minerallerinin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri	7
Tablo 2.2	Dünya PGM Rezervleri	9
Tablo 2.3	Dünya Platin Üreti mi	11
Tablo 2.4	Dünya Paladyum Üreti mi	11
Tablo 2.5	Dünya Rodyum Üreti mi	11
Tablo 2.6	Dünya Platin Tüketi mi	12
Tablo 2.7	Dünya Paladyum Tüketimi	12
Tablo 2.8	Dünya Rodyum Tüketi mi	13
Tablo 2.9	Dünya PGM Fiyatları	13
Tablo 2.10	Yaygın Nkel Minerallerinin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri ...	27
Tablo 2.11	Dünya Nkel Rezervleri	28
Tablo 2.12	Dünya Nkel Üreti mi	29
Tablo 2.13	İkincil Kaynaklardan Nkel Üreti mi	30
Tablo 2.14	Dünya Nikel Tüketimi	30
Tablo 2.15	Dünya Nkel Fiyatları	30
Tablo 2.16	Nikelin Kullanım Alanları	31
Tablo 2.17	Türkiye Nkel Rezervleri	32
Tablo 3.1	Tüm Bölgelerin Değerli Metal İçeri kleri	35
Tablo 3.2	Muğla Bölgesi Numunesinin Kimyasal Özellikleri	35
Tablo 3.3	Muğla Bölgesi Sarsıntılı Masa Deneyi Sonuçları	40
Tablo 3.4	Denizli Bölgesi Sarsıntılı Masa Deneyi Sonuçları	40
Tablo 3.5	Dalaman Çayı Sarsıntılı Masa Deneyi Sonuçları	42
Tablo 3.6	Sülfür Flotasyonu Deney Sonuçları	45
Tablo 3.7	Nikel Flotasyonu Deney Sonuçları	46
Tablo 3.8	Dithi ofosfat Kullanılarak Yapılan Flotasyon Deneyi Sonuçları ...	47
Tablo 3.9	-74 Mikron Boyutunda Konsantreye Yapılan Knelson Deneyleri	50
Tablo 3.10	-74 Mikron Boyutunda Artığa Yapılan Knelson Deneyleri	51
Tablo 3.11	-38 Mikron Boyutunda Konsantreye Yapılan Knelson Deneyleri	53
Tablo 3.12	Dalaman Çayı Konsantresine Uygulanan Knelson Deneyleri ...	55
Tablo 3.13	Dalaman Çayı Artığa Uygulanan Knelson Deneyleri	55
Tablo 3.14	Tane Boyutunun Çözündür me Veri mine Etkisi nin İncelenmesi ...	57
Tablo 3.15	Sıcaklığın Çözündür me Veri mine Etkisi nin İncelenmesi	58
Tablo 3.16	Asit Konsantrasyonunun Çözündür me Veri mine Etkisi	60
Tablo 3.17	Sürenin Çözündür me Veri mine Etkisi nin İncelenmesi	61

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 : PGMİçeren Cevherlerin Sınıflandırılması	8
Şekil 2.2 : Dünya PGM Rezervleri.....	10
Şekil 2.3 : Ookatalizörün Yapısı.....	15
Şekil 2.4 : PGM Zenginleştirilmesi ne At Genel Akı m Şeması	19
Şekil 2.5 : Norilsk Madeni Akı m Şeması	20
Şekil 2.6 : Still water Kompleksi	21
Şekil 2.7 : Norilsk Madeni Flotasyon Tesisi	23
Şekil 2.8 : Güney Afrika Wáterval Tesisi	24
Şekil 2.9 : Güney Afrika Wáterval İzabe Tesisi Akı m Şeması	25
Şekil 3.1 : Mığla Bölgesi Cevherine At Parlak Kesit	36
Şekil 3.2 : Bursa Bölgesi Cevherine At Parlak Kesit	37
Şekil 3.3 : Kayseri Bölgesi Cevherine At Parlak Kesit	38
Şekil 3.4 : Denizli Bölgesi Cevherine At Parlak Kesit	38
Şekil 3.5 : Deneylerde Uygulanan Genel Akı m Şeması	39
Şekil 3.6 : Laboratuvar Tipi Knelson Ghazı	49
Şekil 3.7 : Tane Boyutunun Çözündürme Verimine Etkisi.....	57
Şekil 3.8 : Sıcaklığın Çözündürme Verimine Etkisi	59
Şekil 3.9 : Asit Konsantrasyonunun Çözündürme Verimine Etkisi	60
Şekil 3.10 : Sürenin Çözündürme Verimine Etkisi	62

TÜRKİYE KROMİT YATAKLARININ PLATİN GRUBU METALLER VE NİKEL AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Platin Grubu Metaller ağır ve hafif olmak üzere iki gruba incelenmektedir. Ağır olan grup; platin (Pt), iridyum (Ir), Osmiyum (Os) dan oluşmaktadır. Hafif olan grup ise paladyum (Pd), rutenyum (Ru) ve rodyum (Rh) elementlerinden oluşmaktadır.

Türkiye önemli kromit rezervlerine sahip ve aynı zamanda önemli bir kromit üreticisidir. Kromit cevheri içeren ultrabazik oluşumlar, ülkenizin Marmara, Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Gerek ultrabazik oluşumlar, gerekse bu oluşumların içinde yer alan kromit cevherleşmeleri genel olarak kromitin yanı sıra değişik formlarda çeşitli metalleri de içermektedir. Bu metaller içinde en çok bilinenleri PGM (Platin, Paladyum, Osmiyum), Nikel ve Kobalt'tır.

Bu çalışmada Türkiye kromitlerinin PGM ve Nikel açısından değerlendirilmesi ve kazanımları araştırılmıştır. Muğla bölgesine ait temsili numunenin kimyasal analizi sonucu değerli metal içerikleri olarak PGM içeriğinin 0,02 g/t, Altın içeriğinin 0,03 g/t ve Nikel içeriğinin 881 g/t olduğu tespit edilmiştir.

Cevher üzerinde özgül ağırlık farkına dayalı zenginleştirme deneyleri ve flotasyon deneyleri yapılmıştır. Flotasyon deneyleri sonucunda elde edilen konsantrenin PGM içeriği 0,24 g/t olmuştur.

Kimyasal zenginleştirme deneyleri kapsamında en uygun liç parametrelerinin belirlenmesi için 5 ayrı asit konsantrasyonunda (60, 90, 120, 150 ve 180g/L), 3 farklı sıcaklıkta (30, 60 ve 90°C), 4 farklı sürede (1, 2, 4 ve 6) ve 3 farklı boyutta karıştırıcı asit liçi deneyleri yapılmıştır.

Optimum çözündürme koşullarında (120g/L H_2SO_4 , 90°C ortam sıcaklığı ve 2 saatlik çözündürme); %62,8 N çözünme verilerine ulaşılmıştır.

THE EVALUATION OF THE PLATINUM GROUP OF METALS AND NICKEL FROM TURKISH CHROMITE DEPOSITS

SUMMARY

Platinum group metals (PGM) have two sub groups. One of these groups is named as heavy group which consists of platinum (Pt), iridium (Ir), and osmium (Os) elements. The other one is light group containing palladium (Pd), ruthenium (Ru), rhodium (Rh) elements.

Turkey has an important chromite reserves at the same time an important chromite producer. Ultrabasic rock series of Turkey containing chromite ores are shown especially in the part of Marmara, Mediterranean and East Anatolia. Both ultrabasic series and chromite ores have much kind of metals on various mineral forms such as PGM (platinum, palladium, and osmium) nickel and cobalt.

In this study, Turkey's chromites were processed and investigated the recovery possibilities of the Platinum Group Metals and Nickel. PGM, Gold and Nickel content of the Miğla ore is 0.02 g/t, 0.03 g/t and 881 g/t, respectively.

Gravity concentration methods and Flotation tests were applied to the ore. PGM content in flotation concentrate is 0.24 g/t.

In the following leaching experiments 5 different acid concentrations (60, 90, 120, 150 and 180 g/L), 3 different temperatures (30, 60 and 90°C), 4 different leaching times (1, 2, 4 and 6 hours) and 3 different particle sizes were tested.

Optimum leaching conditions were found as 120 g/L H_2SO_4 , 90°C temperature and 2 hours of leaching time. At these conditions 62.8% Ni were extracted.

1. GİRİŞ

6 farklı platin grubu metali Rutenyum(Ru), Rodyum(Rh), Paladyum(Pd), Osmiyum(Os), İridyum(Ir) ve Platin(Pt) altın ve gümüş ile birlikte değerli metaller olarak adlandırılmaktadır. Bu elementler, altının özgül ağırlığı ile karşılaştırma yapılarak iki grupta sınıflandırılabilirler. Altından hafif olan elementler; Rutenyum Rodyum ve Paladyumdur. Bu elementlerin özgül ağırlıkları 12,0 ile 12,4 gr/cm³ arasında değişmektedir. Altından daha ağır olan elementler ise; Osmiyum İridyum ve Platin'dir. Bu elementlerin özgül ağırlıkları ise 21,0 ile 21,5 gr/cm³ arasında değişmektedir. Platin grubu metallerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1.1'de verilmiştir [1].

Tablo 1.1: Platin Grubu Metallerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri [1]

PGM	Atom No	Atom Ağırlığı	Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	Sertlik (Mohs)
Platin	78	195,08	21,45	4,3
İridyum	77	192,22	22,65	6-6,5
Osmiyum	76	190,20	22,61	7
Paladyum	46	106,42	12,02	4,8
Rodyum	45	102,91	12,41	-
Rutenyum	44	101,07	12,45	6

Korozyona ve oksidasyona karşı gösterdikleri direnç, yüksek ergime noktaları, elektriksel iletkenlikleri ve katalitik aktiviteleri bu elementlere endüstride yaygın kullanım alanları oluşturmuştur. Önemli kullanım alanları; kimya endüstrisi, elektrik-elektronik, kuyuculuk, cam ve otomobil endüstrileridir. Amerika'da emisyon gazlarının kontrolü hakkında çıkan yasalardan sonra otomobil sektöründeki kullanım artmıştır.

Önemli rezervler Güney Afrika, Rusya ve Kanada'da bulunmaktadır. Güney Afrika'daki Bushveld Masifinde platin grubu metaller birincil olarak kazanılmaktadırlar. Kanada'da ise platin grubu elementler Nikel-Bakır üretiminden

kazanılmaktadır. Bunlar Sudbury de bulunan Falcon Bridge ve Inco sahalarından üretilmektedir [1].

Türkiye’de bu konuda daha önce sınırlı çalışmalar yapılmıştır. Türkiye PGM potansiyeli yaklaşık olarak 170 tondur [2]. Türkiye kromit yataklarının PGM açısından değerlendirilmesi ve kazanma olanaklarının araştırılması gereklidir. Bu konuda yapılan çalışmaların artmasıyla daha net sonuçlar alınacak ve stratejik bir öneme sahip bu metallere olan ihtiyaç yerli kaynaklar tarafından karşılanabilecektir. Bu tez kapsamında cevherin fiziksel ve kimyasal zenginleştirme yöntemleriyle kazanılabilirliği incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Platin ilk olarak 16. yüzyılın başında Kolombiya'nın Choco bölgesinde bulunmuştur. Paladyum, Rodyum, Osmiyum, İridyum gibi bazı elementler ise 1803 yılında yani platinin bulunmasından 300 yıl sonra bulunmuştur. Son bulunan platin grubu elementi rutenyumdur. Platin grubu metaller gümüşümsü beyaz renktedir. Fakat Osmiyum maviimsi renktedir. Tümü dövülebilir, tel ve levha haline getirilebilirler. PGMler, pahalı metaller olmaları ve geniş kullanımları ile tüm dünyanın ilgisini çekmektedir [3].

Platin parlak bir görüntüye sahiptir. Bu yüzden kuyumculuk sektöründe tıpkı altın gibi önemli bir yere sahiptir. Hem petrolden benzin ve diğer yakıtların elde edilmesinde kullanılır. PGM metaller içinde önemli bir grupta yer alırlar. Ayrıca kanser tedavi ilaçlarının yapısında da kullanılmaktadır. Değerli olduğu kadar vazgeçilmez olan bu metaller geri dönüşüm yoluyla da kullanılabilirler; fakat günden güne artan talebi karşılayamamaktadırlar. Örneğin arabalaradaki katalitik konvertörlerin yapısında PGM metalleri kullanılmaktadır. Bu PGM metalleri için yeni ve çok büyük bir kullanım alanı açacaktır [3].

Çoğunlukla platin grubu metallerin üretimi gizli tutulmuş, akademik araştırmacılara araştırma olanakları sağlanmamıştır. Bu durum gün geçtikçe ortadan kalkmaktadır. Son zamanlarda platin grubu metallere olan talebin artması platin grubu metallerin ekonomik bir önem kazanmasını sağlamıştır. Böylece değerli metal madenciliğinde yeni araştırmalar ve gelişmeler başlamıştır. Platin grubu metallerin aranmasına daha fazla önem verilmiştir. Bu madenleri üreten şirketler, akademik araştırmacılarla işbirliği yaparak, platin grubu metallerin kazanılmasında yeni yöntemler geliştirmişlerdir [3].

Platin grubu metallerin ana cevherden flotasyon yolu ile kazanılması için çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda Nikel-Bakır cevherlerinden gravite ve flotasyon yöntemleri kullanılarak platin grubu elementlerin kazanımı sağlanmıştır.

2.1 Kromit ve Buna Bağlı Hatin Yataklarının Oluşumu

Kromit yatakları magmalarda kayaç yapıcı minerallerden önce ve sonra olmak üzere iki devrede oluşabilirler. Bunlar, şekil biçimi ve boyutlarına göre;

- Stratiform Yataklar (Yalancı katmanlı)
- Podiform Yataklar (Alpin Tipi Sokulumlar) olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

Yalancı katmanlı sokulumların en tipik örnekleri Bushveld Masifinde (Güney Afrika) bulunmaktadır. Bu masif dünyanın en ilginç ve en zengin maden bölgelerinden birisidir. Bu bölgede maden yatakları lopolit biçiminde çok büyük bir magmal sokuma bağlıdır [2].

2.1.1 Türkiye PGM Yatakları

Türkiye kromit yataklarının PGM açısından değerlendirilmesi konusunda daha önce sınırlı çalışmalar yapılmıştır [2]. Yapılan bu proje kapsamında üç farklı bölge numuneleri üzerinde mineralojik incelemeler yapılmış, kimyasal analiz değerleri jeostatiksel olarak değerlendirilerek PGM ve toplam değerli metal içerikleri verilmiştir [2].

Bu projede bölgesel olarak; Marmaris-Köyceğiz-Fethiye (MKF), Mersin-Akarca-Erdemli (MAE), Adana-Pozantı-Karsantı (APK) yörelerine ait numuneler incelenmiştir. Alınan sonuçlar bakımından Mıgla yöresine ait numunelerin platin, iridyum ve krom ortalamaları diğer bölgelere oranla daha yüksektir. Altın ve paladyum açısından umutlu bölge Mersin-Akarca-Erdemli bölgesidir [2].

Çalışmalar sonucunda platin ve altın açısından en umutlu yöre Dalaman Çayı'nın batı yakasında yer alan Türk Maden Şirketi Ocağı ile, batısında yer alan Hibank'a ait Andızlık Ocağı'dır. Özellikle bu iki madende altın açısından çok yüksek değerler elde edilmiştir. Türk Maden Ocağı'nda 27 g/t a ulaşan altın değeri saptanmıştır. Aynı madende bir başka altın değeri 4,3 g/t'dur. Aynı zenginlikte olmasa bile Andızlık Ocağı'nda da 2,5-11 g/t değerlere ulaşan analiz sonuçları vardır. Bu iki ocak platin açısından da en umutlu bölgelerdir. Dalaman Çayı kumlarına taşıyan platinin bu yöre ocaklarından geldiği düşünülmektedir [2].

Mersin-Akarca-Erdemli yöresinde; Platin 10-1500 ppb, Paladyum 4-1429 ppb, İridyum 10-587 ppb, Altın 1-26500 ppb, Nikel 900-2200 ppm, Kobalt 125-262 ppm, Bakır 135-382 ppm Krom %13-40 arasında değişmektedir [2].

Adana-Pozantı-Karsantı yöresinde Platin 5-273 ppb, Paladyum 144-6877 ppb, İridyum 14-90 ppb, Altın 54-917 ppb, Nikel 1200-2900 ppm, Kobalt 136-229 ppm, Bakır 80-280 ppm, Krom %0-30 arasında değişmektedir [2].

Muğla yöresinden alınan numuneler içerisinde yapılan mineralojik çalışmalar sonucunda PGMi çeren mineraller olarak; bragit, irasit, sperilit, laurit, osmi iridyum, platin, altın, nikel mineralleri olarak; pentlandit, millerit, avaruit, valereit saptanmıştır. Platin açısından en yüksek değerler Muğla yöresi Andızlık Ocağına ait 1,5-1,8 g/t ve Türk Maden Ocağında 0,4-0,8 g/t analiz değerleridir. Bu yörenin toplam değerli metal içeriği ortalaması ise 0,4-0,5 g/t olarak verilmiştir [2].

2.1.2 Türkiye PGM Yataklarının Oluşumu

Ülkemiz kromit yatakları Alpin tipi kromit sokulumlarındandır. Ultrabazik ana yapı içerisinde gelişigüzel, düzensiz şekil ve boyutlarda bulunmaktadır. Alpin tipi kromit yataklarının çok değişik dış görünüşleri ile içyapılarının farklılığı başlıca iki ana etken nedeniyle meydana gelmektedir. Bunlar; magmasal evredeki olaylar, katılaşmadan sonraki evrede cevher kütlelerinin uğradıkları tektonik olaylar ve deformasyonlardır. Türkiye’de toplam 22.000 km²’lik peridotitler içinde tek tek ve grup olarak 80 kadar kromit yatağı bulunmaktadır [2].

Alpin türü yataklarda, kromitlerin oluşumu, mantoda krom PGM ve diğer metalleri az veya çok oranda içeren bir magmanın dalma veya ıraksama koşullarında gelişmesi ve nanto içinde yükselmesiyle başlar [2].

2.2 PGMi Çeren Minerallerinin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Altın ve diğer az bulunan metallerden farklı olarak 109 tane Platin Grubu Mineral saptanmıştır. Bu saptama IMA tarafından (International Mineralogy Association) yapılmıştır. Bu sınıflandırma sülfütlere, tellürlere, antimonitlere, arsenitlere ve alaşımlara bağlı olarak yapılmıştır. Örnek olarak sülfitler için Braggite (Pt, PdS), Tellür için (Pt Bi Te) Antimonitler için Sudburit (Pt Sb), Arsenitler için Sperilit (Pt As₂) ve alaşımlar için Ferro Platinyum alaşımları (Fe-Pt) ve nabit platinler verilebilir [4].

Üç ana mineral pirrotit, kalkopirit ve pentlandit Güney Afrika Merensky yatağında yer almaktadır. UG-2 resifi düşük bakır, nikel ve sülfür oranına rağmen yüksek oranda kromit içermektedir. Stillwater resifi ise sülfür mineralleri içerir ve kalkopirit (CuFeS₂) ve pentlandit (NiFe₉S₈) içerir. Çoğu platin minerali bakır sülfürleri ile

birlikte bulunur, paladyum ise nikel sülfürler ile birlikte bulunmaktadır. Cevherin serpantin ve talk içerikleri de (MgO) önemlidir. Çoğunlukla Nikel-Bakır cevherleri içerisinde yer alan platinin arsenitlerden Sperrilit ($PtAs_2$) içinde olduğu bilinmektedir (Kanada-Sudbury Bölgesi).

PGM'in mineralojik çalışmalarında minerallerin varlığı ve şekli, tane boyutu ve yan mineralleri, metalurjik dizaynları ve çalışmaları da etkilemektedir. Farklı cevher tipleri metalurjik özellikleri de değiştirir.

Tüm PGM minerallerinin ideal formleri ve kompozisyonları Tablo 2.1'de verilmektedir. Özgül ağırlık ve sertlik, gravite ayırması, öğütme ve sınıflandırma gibi işlemlerde kritik faktörlerdir.

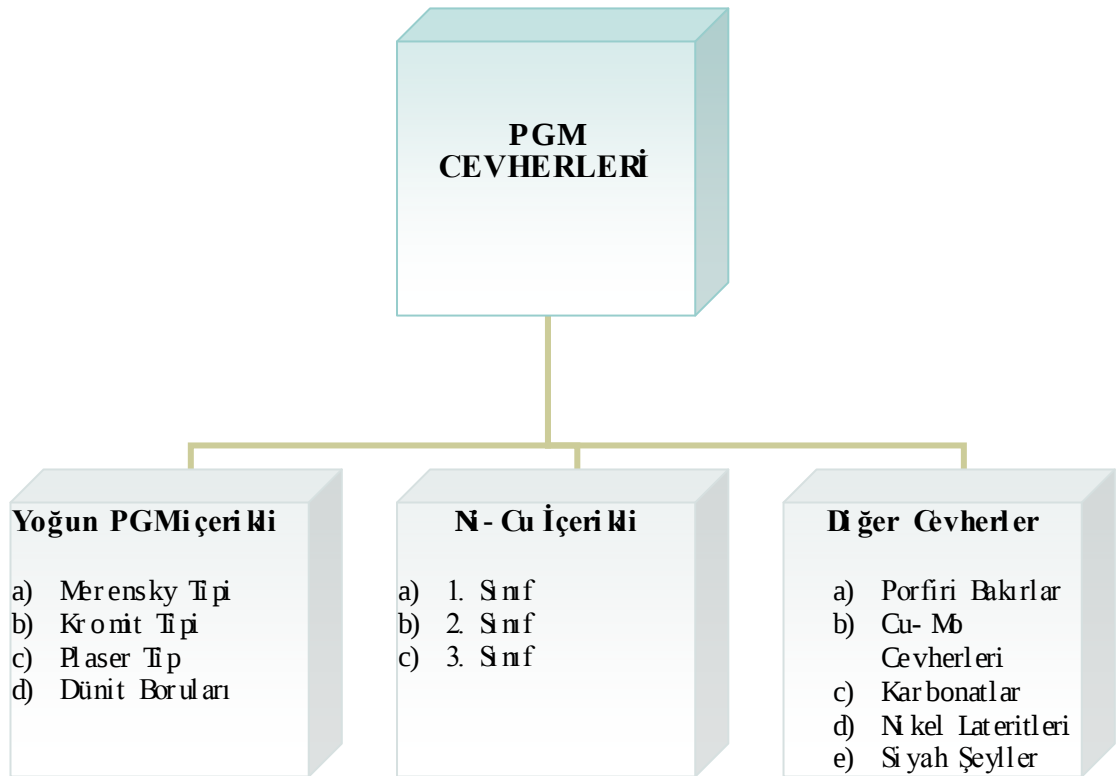
Cevherin mineralojisi ile metalurjik performans arasında bir ilişki olduğu daha önceki çalışmalarda gösterilmiştir. Buna ek olarak mineraloji, PGM üretiminde de etkin bir rol alır ve üretim metodu seçiminde etkindir. Farklı cevher tipleri için farklı üretim metodları geliştirilebilir [1].

Tablo 2 1: PGMİçeren M nerallerin K myasal ve Fیزیksel Özellikleri [1]

M neral Adı	For mül ü	Özgöl Ağırlık (gr/ c m ³)	Sertlik (Mōhs)
Bor ovskit	Pd ₃ SbTe	8, 25	-
Bragit	(Pt, Pd) S	9, 36	5
Cherepanovite	Rh As	9, 72	-
Kooperit	Pt S	10, 10	4-4, 5
Fudīt	PdH ₂	11, 62	-
Genkit	(Pt, Pd) ₄ Sb ₃	9, 26	5, 5
Geversit	Pt Sb ₂	10, 91	4, 5-5
İnsizvait	Pt B ₂	12, 86 - 13, 59	5
İzoferro Platin yu m	Pt ₃ Fe	18, 23	-
Kot ulskit	PdTe	9, 18 - 10, 54	-
Laurit	RuS ₂	6, 39 - 6, 43	7
Masl ovit	Pt B Te	11, 23	4-5
Mērenskit	PdTe ₂	8, 30	3, 5-4
M shenerit	PdH Te	9, 81	4-4, 5
Mōnseit	Pt Te ₂	10, 24	3, 5
Palladoarsenit	Pd ₂ As	10, 59	4, 5
Sperilit	Pt As ₂	10, 80	6-7
Still waterit	Pd ₈ As ₃	10, 95	4, 5-5
Sadburit	PdSb	9, 41	4-4, 5
Tetraferroplatin yu m	Pt Fe	15, 81	-
Vyst oskit	PdS	6, 74	-
Rut enyu m	Ru	12, 20	6, 5
Rodyu m	Rh	16, 50	3, 5
Pal adyu m	Pd	12, 00	4, 5-5
Osmi yu m	Os	22, 10	7
İridyu m	Ir	22, 20	6-6, 5
Platin	Pt	19, 10	4-4, 5

2.3 Hatin Grubu Metalleri İçeren Cevherlerin Sınıflandırılması

Bu cevherlerin sınıflandırılmasında; mineralojik içerik, kromit içeriği, tenör, sülfür içeriği gibi özellikler kullanılmaktadır. PGM içeriği ve cevherin jeolojik oluşumu da göz önünde tutularak çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. Genel olarak PGM cevherleri bu yöntem kullanılarak Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi üç farklı gruba ayrılabilir [1, 5].



Şekil 2.1: PGMİçeren Cevherlerin Sınıflandırılması [1]

2.3.1 Yoğun PGMİçerikli Cevherler

Bu grup öncelikle PGM içeriği açısından ele alınır. Bakır, Nikel, Kobalt ile birlikte bulunabilir. PGM içeriği Bakır, Nikel, Kobalt'a oranla daha fazla bulunmaktadır [1].

2.3.2 Nikel-Bakır İçerikli Cevherler

Bu cevherler Nikel-Bakır içeriği PGM içeriğine göre daha fazla olan cevherlerdir. PGE yan ürün olarak bulunur. Genellikle bu cevherlerde PGM içeriği fazla değildir fakat PGM ekonomik olarak değerlendirilebilir [1].

2.3.3 Çeşitli Cevherler

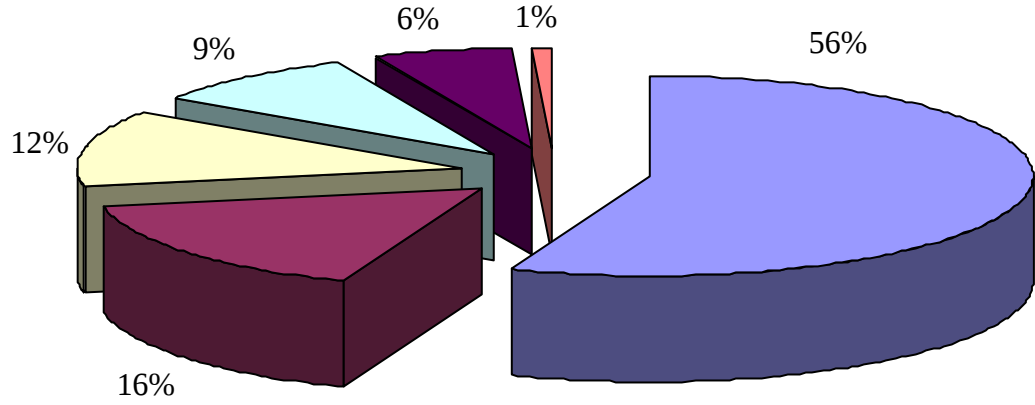
Bu tip cevherler diğer iki gruba oranla çok düşük miktarda PGM içerirler. PGM içeriği ya çok düşük ya da ekonomik değere sahip olacak miktarda değildir [1].

2.4 Dünya PGM Rezervleri ve Tüketimi

Dünya PGM rezervleri yaklaşık olarak 110 bintondur. Bu miktarın 63 bintonu Güney Afrika Cumhuriyeti'nde, 18 bintonu Rusya ve Orta Asya ülkelerinde, 14 bintonu Finlandiya'da, 10 bintonu Zimbabve'de, 6.6 bintonu Amerika Birleşik Devletleri'nde ve geri kalan kısmında Kanada, Çin, Kolombiya, Avustralya ve diğer ülkelerde yer almaktadır. Dünya PGM rezervleri Tablo 2.2'de gösterilmektedir. Dünya PGM rezervleri dağılımı Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2: Dünya PGM Rezervleri [7]

Ülkeler	Rezerv (Bintön)	Toplamda Oran (%)
Güney Afrika	63	56
Rusya	18	16
Finlandiya	14	12
Zimbabve	10	9
Amerika	6,6	6
Diğer Ülkeler	1	1
Toplam	113	100



■ Güney Afrika ■ Rusya ■ Finlandiya ■ Zimbabve ■ Amerika ■ Diğer Ülkeler

Şekil 2.2: Dünya PGM Rezervleri [7]

2.4.1 Dünya PGM Üretimi

Dünya platin gereksinimi günden güne artmaktadır. Yıllara göre en çok üretim Güney Afrika Cumhuriyetinde daha sonra ise Rusya, Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri gelmektedir. Artan talebi karşılamak amacıyla üretim günden güne artmaktadır. Yıllara göre dünya platin üretimi Tablo 2.3. de verilmiştir. Dünya paladyum üretimi Tablo 2.4' de, dünya rodyum üretimi ise Tablo 2.5' de verilmiştir.

Tablo 2.3: Dünya Platin Üretimi [7]

Üretim(ton)	2000	2001	2002	2003	2004
Güney Afrika	118,2	127,5	138,1	144,0	154,9
Rusya	34,2	40,5	29,6	32,6	26,4
Kuzey Amerika	8,9	10,9	11,0	9,2	11,2
Diğer	3,3	3,4	4,2	7,0	7,5
Toplam	164,6	182,3	182,9	192,8	200,0

Tablo 2.4: Dünya Paladyum Üretimi [7]

Üretim(ton)	2000	2001	2002	2003	2004
Güney Afrika	57,8	62,5	68,1	72,2	78,1
Rusya	161,7	135,0	49,8	91,7	127,5
Kuzey Amerika	19,8	26,4	30,2	29,1	32,2
Diğer	3,3	3,7	4,6	7,6	8,2
Toplam	242,6	227,6	152,7	200,6	246,0

Tablo 2.5: Dünya Rodyum Üretimi [7]

Üretim(ton)	2000	2001	2002	2003	2004
Güney Afrika	14,2	14,1	15,0	16,9	17,9
Rusya	9,0	3,9	2,0	4,4	3,3
Kuzey Amerika	0,5	0,7	0,8	0,8	0,5
Diğer	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5
Toplam	23,8	18,8	18,0	22,5	22,2

2.4.2 Dünya PGM Tüketimi

PGM'ye özellikle otomotiv endüstrisinden gelen yoğun bir talep bulunmaktadır. Bunun yanında kimya, elektronik, cam, kuyumculuk, petrol ve diğer alanlarda günden güne artan bir talep olmaktadır. Teknoloji alanındaki önemli gelişmelerden birisi de Yakıt Hücresel araçlar (FCVs) üretimindeki gelişmelerdir. Tüketim miktarı 2004 yılında bir önceki yıla oranla % 0.77 artmıştır. Yıllara göre dünya platin tüketimi Tablo 2.6'da verilmektedir. Paladyum tüketiminde ise kimya ve dişçilik sektörleri öne çıkmaktadır. Paladyum tüketim miktarları Tablo 2.7'de verilmektedir. Rodyum tüketiminde ise kimya ve elektrik sektörlerinin yanında cam sektöründeki

kullanılarda öne çıkmaktadır. Rodyum tüketim miktarları Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.6: Dünya Hatin Tüketimi [7]

Talep (ton)		2000	2001	2002	2003	2004
Okat alizör	Üretim	58,8	78,4	78,4	99,8	106,7
	Geri Kazanım	-14,6	-16,2	-17,8	-20,0	-21,6
Kınya		9,2	9,0	9,3	9,8	10,9
Elektrik		14,2	12,0	12,0	8,1	8,7
Cam		7,9	8,9	8,1	5,1	7,5
Yatırım	Küçük	1,2	1,6	1,6	0,9	0,8
	Büyük	-3,1	0,9	1,2	-0,5	-0,6
Kuyumculuk		88,0	79,3	86,5	75,9	68,4
Petrol		3,4	3,9	4,2	4,7	4,7
Diğer		11,7	13,5	14,6	15,9	15,8
Toplam		176,7	191,3	198,1	199,7	201,3

Tablo 2.7: Dünya Paladyum Tüketimi [7]

Talep (ton)		2000	2001	2002	2003	2004
Okat alizör	Üretim	175,4	158,9	98,3	107,3	115,7
	Geri Kazanım	-7,1	-9,0	-11,5	-12,7	-16,6
Kınya		7,9	7,3	7,9	8,2	9,6
Dişçilik		25,5	20,8	22,7	25,7	26,5
Elektrik		67,2	21,8	23,3	28,0	28,6
Kuyumculuk		7,9	7,5	8,3	7,8	28,6
Diğer		1,9	2,0	2,8	4,3	9,2
Toplam		278,7	209,3	151,8	168,6	201,6

Tablo 2.8: Dünya Rodyum Tüketimi [7]

Talep (ton)		2000	2001	2002	2003	2004
Otomotiv katalizör	Üretim	24,7	17,6	17,8	20,5	23,6
	Geri Kazanım	-2,5	-2,9	-3,1	-3,9	-4,4
Kimya		1,2	1,4	1,2	1,2	1,3
Elektrik		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Cam		1,3	1,2	1,2	0,8	1,5
Diğer		0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
Toplam		25,2	17,9	17,6	19,3	22,6

2.4.3 PGM Fiyatları

PGM fiyatları, yıllara göre artış göstermiştir. Bu artışın sebebi olarak stratejik ve değerli bir metal olması gösterilebilir [1]. Dünya PGM fiyatları Tablo 2.9’da verilmiştir.

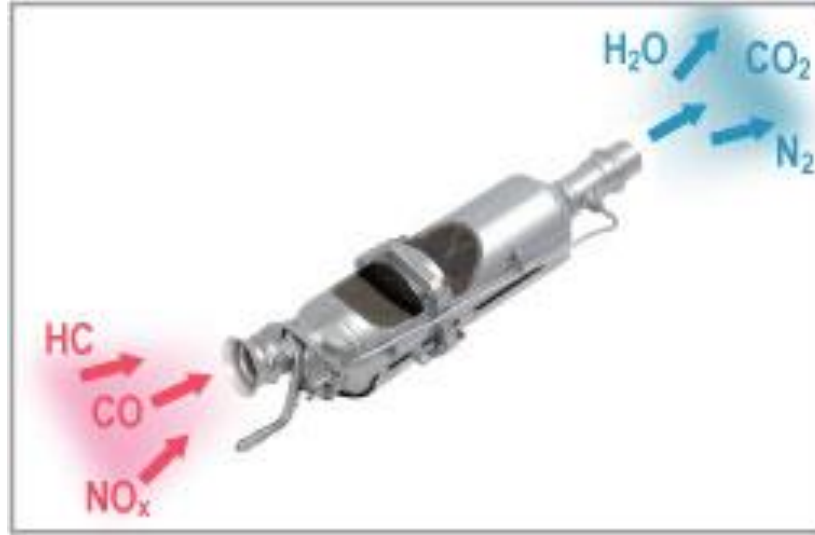
Tablo 2.9: Dünya PGM Fiyatları [7, 8]

ons/\$	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Platin	598	582	559	664	810	970
Paladyum	791	620	339	182	231	248
Rodyum	2043	1699	802	494	973	2935
İridyum	415	415	324	90	210	188
Rutenyum	160	140	70	33	60	85

2.5 PGM’nin Kullanım Alanları

Korozyona ve oksidasyona karşı gösterdikleri direnç, yüksek ergime noktaları, elektriksel iletkenlikleri ve katalitik aktiviteleri platin grubu metallere, endüstride yaygın kullanım alanları oluşturmuştur. Önemli kullanım alanları; otomobil endüstrisi, kimya endüstrisi, elektrik-elektronik, kuyumculuk ve cam endüstrileridir [1, 10].

- Otomotiv endüstrisinde otokatalizörlerde PGM kullanılmaktadır. Tipik bir otokatalizörün şekli silindir ya da elips şeklindedir. Seramik ya da metalden yapılmaktadırlar. Otokatalizörün içinde platin grubu metalleri içeren bir çözelti bulunmaktadır. Bir otomobil katalitik dönüştürücüsü %0.08 Pt, %0.04 Pd, %0.005-0.007 Rh içermelidir. Bu çözelti paslanmaz çelikten yapılmış bir kutunun içindedir. Bu katalitik konvertör eksoz borusu içinde yer almaktadır. Arabalarda çıkan zararlı gazlar PGM içeren otokatalizörler ile kontrol altına alınmaktadır. Önemli hava kirleticiler; zehirli bir gaz olan karbon monoksit, nitrojen oksit, hidrokarbonlar ve küçük boyutlu partiküllerdir. Nitrojen oksit asit yağmurlarına neden olur ve kirli bir hava oluşturarak nefes almada güçlükler ortaya çıkarır. Hidrokarbonlar sise neden olur ve kötü koku verirler. Partiküller ise kanser vakalarına neden olmaktadır. Otokatalizör bu zararlı gazların %90'dan fazlasını karbondioksit, nitrojen ve suya çevirmektedir. Otokatalizörler dizel yakıtlı araçlarında çevreye bıraktığı zararlı gazları büyük oranda azaltmaktadır. Bu tip araçlarda hidrokarbon ve karbon monoksitin %90'ından fazlasını, küçük partiküllerin ise %40'ından fazlasını zararsız hale getirerek karbondioksit ve suya çevirmektedir. 1975 yılında, Amerika'da, otomobillerin yarattığı çevre kirliliği ile ilgili önlemler alınmaya başlanmıştır. Temiz hava standartları belirlenerek arabaların havaya bıraktığı gazlar konusunda sınırlamalar getirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nden sonra Japonya da bu düzenlemeleri yaparak uygulamaya başlamıştır. Bu düzenlemeler ile otokatalizörlere olan talep artmış dolayısıyla platin grubu metallerin üretimi de artmıştır. Sonraki yıllarda Güney Kore (1987), Meksika (1989), Avrupa Birliği (1993), Brezilya (1994) ve Çin (2000) bu düzenlemeleri yaparak standartları uygulamaya başlamıştır. Günümüzde yeni üretilen araçların %85'den fazlası katalitik konvertör içermektedir. Üretilen araç sayısındaki artış hava kalitesini olumsuz yönde etkileyecektir. Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Avrupa Birliği 2000 yılından sonra daha sıkı emisyon yasaları uygulamaya başlamıştır. Benzinli ve dizel araçların yanında ağır araçlar içinde yeni otokatalizörler geliştirilmektedir. Bu yüzden katalizör üretmek için platin, paladyum ve rodyuma olan talep artacaktır. Şekil 2.3' de otokatalizörün yapısı gösterilmektedir [7, 10].



Şekil 2.3: Katalizörün Yapısı

- Birçok kimyasal süreçte kullanılan maddelerin yanı sıra platin de önemli bir kısımda özel silikonların üretiminde kullanılan platin katalizörlerdir. Silikonlar korozyona karşı oldukça dirençlidirler. Ayrıca yanmaya ve yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedirler. Silikonlar bükülebilir, su geçirmez ve elektrik izole ederler. Bu yüzden silikonlar günlük hayatımızda çok büyük kullanım alanına sahiptirler. Silikonlar, yapıştırıcılar ve yapışkanlı kağıtlarda da kullanılmaktadır. Yüksek gerilime dayanıklı elektrik kablolarının kaplanmasında, tıbbi cihazlarda ve kişisel bakım ürünlerinde de kullanılmaktadırlar [7, 10].
- Kimya endüstrisinde platin grubu metaller katalizör olarak kullanılmaktadır. Böylelikle çeşitli reaksiyonların verimi artmaktadır. Nitrik asit üretiminde yüzümlü aşkın bir süredir platin bazlı katalizörler kullanılmaktadır. Nitrik asit üretiminde platinin yanı sıra paladyum ve rodyum içerikli katalizörlerde kullanılmaya başlanmıştır [7, 10].
- Dişçilik platin ve paladyumun önemli kullanım alanlarından biridir. Çoğunlukla platin ve paladyum altın ve gümüş ile birlikte alaşımlı haline getirilir. Bu alaşımlar köprü ve kaplamada kullanılmaktadır. Bazı durumlarda alaşımların içine rutenyum ve iridyumda eklenmektedir. Bu alaşımlar Yüksek Altın İçerikli alaşımlar (%10 Pt içerir) ve Düşük Altın İçerikli alaşımlar (%50-80 Pd içerir) olarak iki grupta incelenebilir [7, 10].
- Petrol rafinerilerinde platin grubu metaller kullanılmaktadır. Universal Petrol Şirketi 1949 yılında platin katalizör kullanarak, düşük oktanlı petrolden yüksek

kalitede ürünler elde etmiştir. Bu yöntem ile yüksek oktanlı yakıtlar araçlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bunun yanında platin katalizörler petrokimyasal atıklardan plastik, sentetik ve polyester ürünlerin üretilmesinde de kullanılmaktadır. Petrol üretiminde kullanılan bir katalizörün platin içeriği katalizörün ağırlığının en az % 0.6'sı kadar olmalıdır. Birçok tesiste performansı arttırmak için platinin yanı sıra rutenyum da katalizörlerde kullanılmaktadır [7, 10].

- Kuyumculuk sektörü platin grubu metallerin kullanıldığı önemli bir sektördür. Kuyumculukta platinin ilk kullanımı günümüzden 2000 yıl öncesine dayanmaktadır. Kuzey Afrika'da yaşayan yerliler dere yatağında buldukları nabit platinden yüzük yapmışlardır. En eski örnek ise MS 7. yüzyılda Mısırlılara ait bir süs eşyasıdır. Kuyumculukta modern olarak kullanılması 18. yüzyılda başlamaktadır. 1960'ların sonunda Japonya'da platine olan talep oldukça artmıştır. Japonya hızla kuyumculuk sektörünün merkezi haline gelmiştir. 1970'lerin sonunda Avrupa'da özellikle Almanya'da ünlü tasarımcıların çalışmalarıyla platin kuyumculukta önemli bir yer kazanmıştır. İlerleyen dönemlerde İtalya, İngiltere, Amerika ve Çin'den gelen platin talebi artmıştır. Platin kuyumculukta vazgeçilmez bir hammadde olmuştur. Platinin yanı sıra paladyum, rutenyum ve iridyumda alaşımlar olarak kullanılmaktadır. Platin grubu metaller defalarca eritilip şekillendirilebilirler ve oksidasyona uğramazlar [7, 10].

- Yakıt hücreleri elektrik üretmek amacıyla geliştirilmiştir. Böylece daha sessiz çalışan araçlar üretilmektedir. Ayrıca güç üretmek için pillerdeki gibi tekrar şarj etmeye gerek yoktur. Benzin sağlandığı sürece şarj etmeden sonsuza dek kullanılabilirler. Hücreler elektriği, yakıttan hidrojen ve havadan da oksijen alarak üretirler. Burada katalizör olarak platinden yararlanılır. Bu konu otomotiv sektörünün ilgisini çekmektedir. 1997 yılında Daihatsu-Chrysler ve Ford ortak bir girişimde bulunarak bu konuda çalışmalarını sürdürmektedirler. Yakıt hücreli araçların kullanılması hem ekonomik açıdan hem de çevre açısından oldukça yararlıdır. Yakıt hücreli araçlar emisyon standartlarına tamamen uyumaktadır. Hidrojen ile çalıştılarından çevreye karbondioksit gazı çıkışı olmamaktadır. Son yıllarda evlerin ve ofislerin elektrik ihtiyaçlarını karşılamak üzere yakıt hücreli araçlar geliştirilmektedir. Amerika, Avrupa Birliği ve Japonya'da bu konuda uygulamalar başlamıştır. Yakıt hücreleri taşınabilir olarak da kullanılabilir. Böylece dizüstü bilgisayarların enerji ihtiyaçlarını karşılayabilirler. Teknolojik gelişmeler

sonucunda yakıt hücreli dizüstü bilgisayarlardan, cep telefonlarına kadar yaygın bir kullanım alanı olacaktır. Yakıt hücreleri hidrojen ile çalışmaktadır. Hidrojen sıkıştırılmış gazlardan ya da sıvılaştırılmış gazlardan üretilmektedir. Yakıt hücreleri günden güne gelişmektedir [7, 10].

- Tıp sektöründe platin grubu metaller, çoğunlukla kanser tedavisinde kullanılan ilaçların yapısında kullanılmaktadır. Bu konuda ilk çalışmalar 1962 yılında Amerika’da yapılmıştır. Platin içeren ilaçların birçok kanser türünü tedavi edici özellikte olduğu görülmüştür. Yapılan testlerden alınan olumlu sonuçlar üzerine platin içeren ilaçlar birçok kanser türünün tedavi edilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca platin ve iridyum kalp atışı düzensizliğini tedavi etmek içinde kullanılmaktadır [7, 10].

- Cam endüstrisinde, yüksek kalitede camların üretiminde platinden yararlanılmaktadır. Platin ve bazı durumlarda rodyum kullanılarak yüksek kalitede camlar üretilmektedir. Elektrikli fırın camları gibi yüksek ısılara dayanabilen camların yapısında da platin kullanılmaktadır [7].

- Platin alaşımları da birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Platin alaşımları yüksek kaliteli optik camların üretiminde kullanılmaktadır. Burada platinin yüksek ergime noktasından yararlanılmaktadır. Bazı metal alaşımların tersine platin ve platin alaşımları cam ile reaksiyona girmezler ve okside olmazlar. Camyunu üretiminde, LCD monitörlerin yapısında, dijital saatlerde, dizüstü bilgisayarların ekranlarında platin ile birlikte rodyumda kullanılmaktadır. Böylelikle ince ve nitelikli camlar yapılabilir [7].

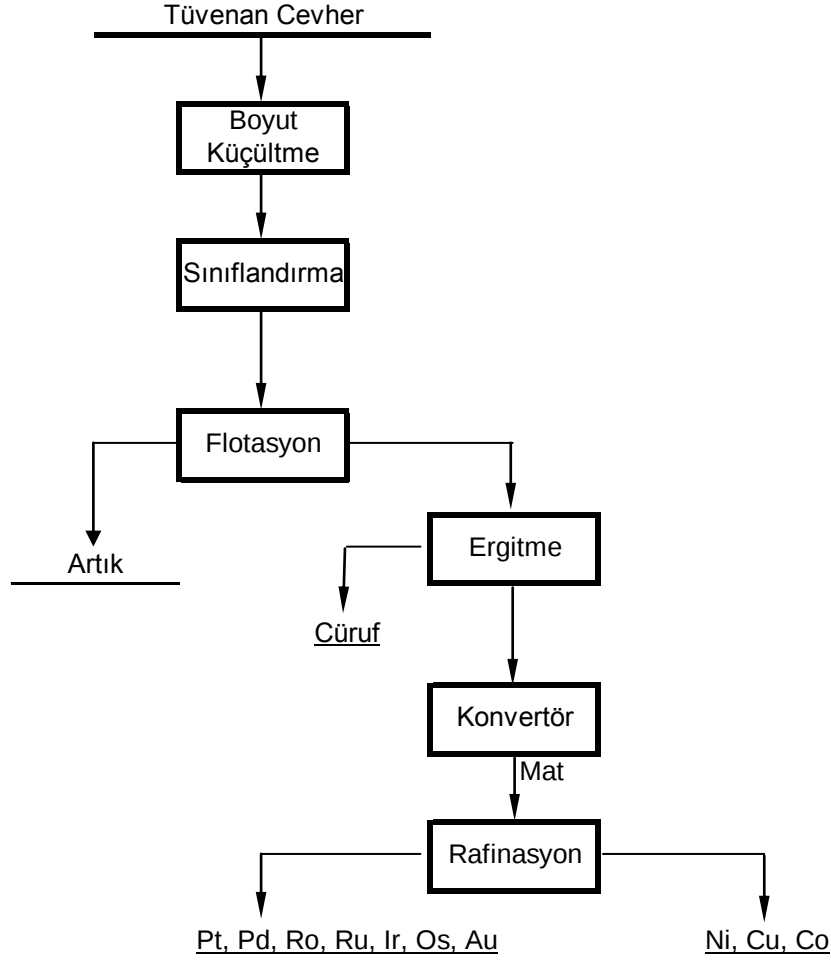
- Paladyum ise elektrik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektrik iletkenleri ve dayanıklı olmaları bu endüstride kullanılmalarını arttırmıştır. Basit elektronik devrelerden, üstün nitelikli cihazların yapısına kadar birçok yerde kullanılmaktadırlar. Genellikle paladyumgümüş alaşımı kullanılmaktadır [7].

- Bilgisayar sabit disklerinin kapasiteleri günden güne artmaktadır. Disklerin kapasitelerinin artması platin kullanımını arttırmaktadır. Diskler kobalt bazlı metal alaşımlardan oluşmaktadır. Disklerin yapısında platin kullanımı diskin dayanımını arttırmaktadır ve diskte istenilen bilgiye daha hızlı ulaşılmasını sağlamaktadır. Bu tip diskler dizüstü bilgisayarlarda ve yüksek kapasiteli bilgisayarlarda kullanılmaktadır. Günümüzde tüm diskler manyetik tabakalarında platin içerir [7].

2.6 PGM'nin Zenginleştirilmesi

Platin grubu metallerin özgül ağırlıklarının kromit ve yan kayaca göre daha yüksek olması gravite ile zenginleştirme yöntemlerini öne çıkarır. Fakat gravite yöntemleri uygulanan her cevher çok yüksek oranlarda kazanılamamıştır. Gravite yöntemlerine ek olarak flotasyon yöntemi de uygulanmaktadır. Flotasyon konusunda birçok çalışma yapılmış, farklı cevher tiplerine göre farklı reaktifler kullanılmıştır [6, 11]. PGM içeren bir cevherin genel akışması Şekil 2.4'te gösterilmektedir.

Gravite yöntemi PGM'nin kazanılmasında önemli bir yere sahiptir. Sadece kazanımda değil ön konsantre elde etmekte de oldukça verimli bir yöntemdir. Son zamanlarda PGM'nin gravite yöntemleri ile kazanılması tekrar gündeme gelmiştir. Gravite ayırmasında kullanılan yeni cihazlar geliştirilmektedir. PGM kazanımı hakkında yeniden araştırmaların yapılması PGM'ye olan büyük ekonomik talepten kaynaklanmaktadır [9, 12, 13].



Şekil.2.4: PGM Zenginleştirme İşlemi için Genel Akış Şeması

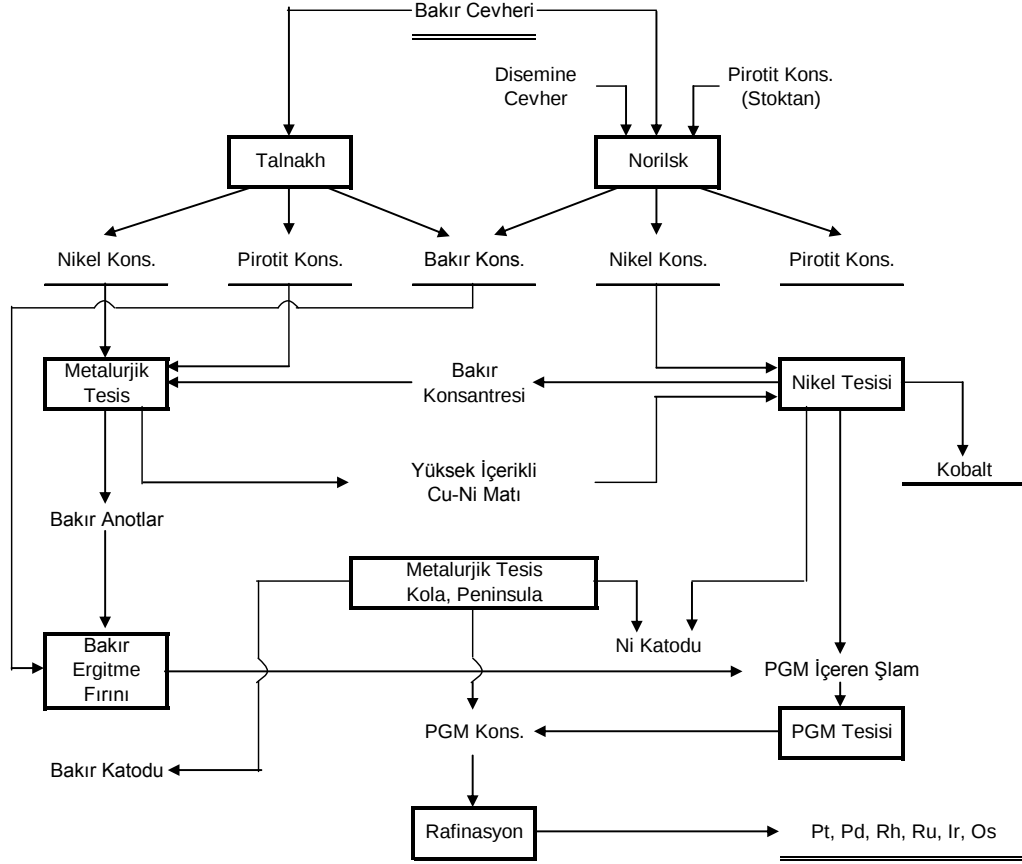
2.6.1 Norilsk Madeni, Rusya

Norilsk Maden Şirketi dünyanın önde gelen PGM üreticilerinden biridir. Norilsk yatağı, Sülfürlü Bakır-Nikel cevherleri ve PGM içerir [10].

Norilsk yatağı, mineralojik olarak, Kooperit (PtS), Sperilit ($PtAs_2$) ve $Pt-Fe$ alaşımları içerir. Cevherin platin içeriği 1,1-1,3 g/t, paladyum içeriği 3,4-4,6 g/t ve altın içeriği ise 0,16-0,2 g/t'dur.

Kazanım yöntodu ise gravite zenginleştirme'dir. Zenginleştirme için Knelson ci hazı kullanılmaktadır. Konsantre ve artıkların boyut dağılımları incelendiğinde platin ve paladyum için serbestleşme boyutunun $-70\mu m$ olduğu görülmektedir. Öğütme işleminin sonuna gravite ayırması uygulanmaktadır. Knelson ci hazı (KS-SD 48) kullanılarak yapılan gravite ayırması sonucunda platinin %50-60'ı, paladyumun

%10-13'ü altın nise %17-20'si kazanılmaktadır. Toplam değerli metal içeriği 400-500 g/t'a kadar çıkmaktadır [1] Norilsk Madeni akış şeması Şekil 2.5'de verilmiştir.



Şekil 2.5: Norilsk Madeni Akış Şeması

2.6.2 Merensky Yatağı, Güney Afrika

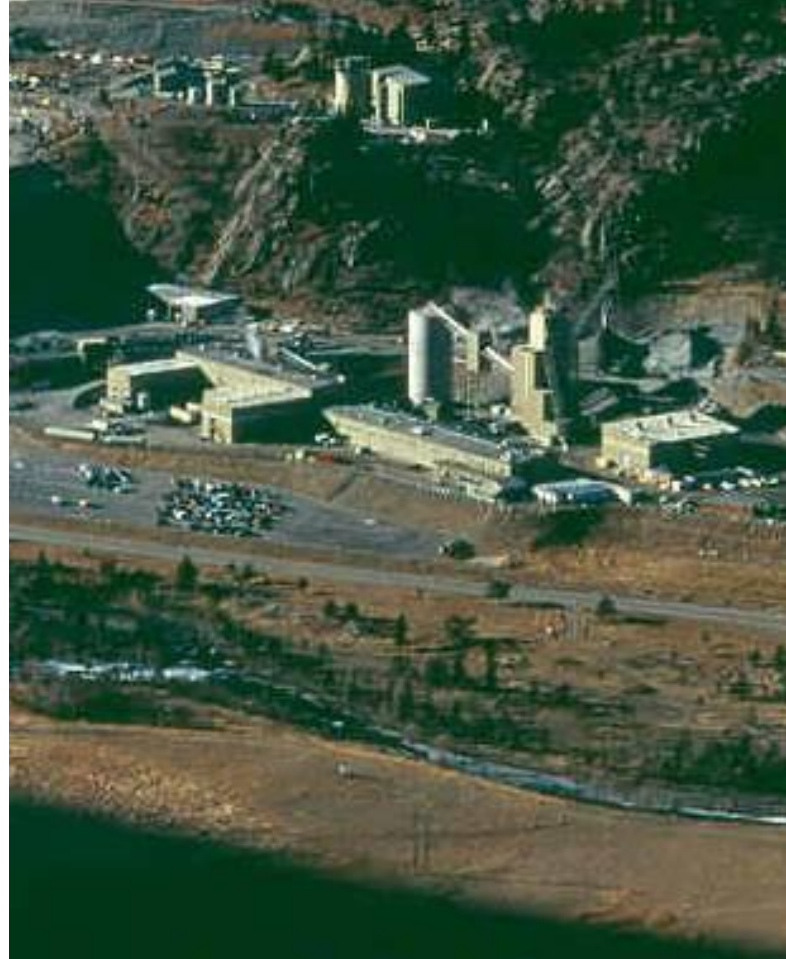
Merensky yatağı mineralojik olarak çok çeşitli mineraller içerir. PGM içeriği 4-7 g/t arasındadır. Bu mineraller; Bragit (Pt, PdS), kooperit (PtS), laurit (RuS₂), Sperilit (PtAs₂), monşeit (PtTe₂), kotulskit (PdTe)'dir. PGM içeriğine bağlı olarak bu yatak, silikat cevheri ve kromit cevheri olarak iki grupta değerlendirilir [10].

Kazınım metodu olarak ilk adımda kırma, öğütme (bilyalı ve yarı otoben), uygulanmaktadır. Değirmen çıkışı hidroklona beslenmektedir. Flotasyon sülfid minerallerine bağlı olarak yapılır. Flotasyon doğal pH (7,5-9) değerinde yapılır. Reaktif olarak ksantat kullanılır. Bazı cevherler için ksantata ilave olarak Cynamid 3477 (ditiyofosfat) eklenir. Canlandırıcı olarak bakır sülfat

kullanılmaktadır. Talk mineralini bastırarak için detrin ve CMC (Karboksi Metil Selüloz) kullanılmaktadır. Flotasyon sonucu PGM'nin %60'ı kazanılmaktadır [1, 14].

2.6.3 Still water Kompleksi, Montana

Still water Kompleksi mineralojik olarak, bragit (Pt, PdS), kooperit (PtS), monşeit (PtTe₂) ve izoferroplatinyum (Pt-Fe) içermektedir. Cevherin PGM içeriği 5-20 g/t arasındadır. PGM çoğunlukla sülfürler ve metal alaşımlarla bulunmaktadır. Birincil sülfür mineralleri, kalkopirit (CuFeS₂) ve pentlandit ((Ni, Fe)₉S₈)'dir. Platin bu bakır ve nikel mineralleri ile bulunmaktadır [10]. Şekil 2.6'da Still water Kompleksi gösterilmektedir.



Şekil 2.6: Stillwater Kompleksi

Kazanım metodu olarak, öğütme işleminde yarı otajen değirmen ve bilyalı değirmen kullanılmaktadır. Değirmen çıkışı hidroklona beslenmektedir [11]. Flotasyon uygulamasında reaktif olarak potasyum amil ksantat ve dihidrofosfat kullanılmaktadır. Talk mineralini bastırma için CMC kullanılmaktadır. Konsantre 60-70 g/t Pt ve Pd içermektedir [1].

2.6.4 Lac Des Iles Madeni, Kuzey Amerika

1993 yılında Kuzey Amerika'da üretime geçmiştir. 1500 ton/gün kapasite ile çalışan bu madenden paladyum üretilmektedir. Cevher 2 g/t paladyum içermektedir [10].

Mineralojik olarak incelendiğinde, pentlandit ($(\text{Ni}, \text{Fe})_9\text{S}_8$), pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2) içermektedir. Ayrıca bu minerallerin yanı sıra galen, manyetit, ve sfalerit de içermektedir.

PGM kazanımı için flotasyon yöntemi uygulanmaktadır. Tesiste bir adet yarı otajen değirmen ve iki adet bilyalı değirmen kullanılmaktadır. Flotasyon uygulamasında reaktif olarak amil ksantat ve dihidrofosfat kullanılmaktadır. Talk mineralini bastırma için CMC kullanılmaktadır [1].

2.6.5 Sudbury Bölgesi, Ontario

Kanada Sudbury bölgesinden Bakır-Nikel üretiminin yanında yan ürün olarak PGM üretilmektedir. Cevher 0,2-1,2 g/t platin içermektedir. Günümüzde bu şekilde üretilen PGM dünya PGM üretiminde önemli bir yere sahiptir. Bu tip yataklar PGM üretimi için önemli kaynaklardır [10].

Bu bölge cevheri mineralojik olarak incelendiğinde, pirotit, kalkopirit, pentlandit içerir. Bu minerallerin yanında, kobaltit, pirit, millerit, galen, sfalerit ve manyetit minerali de içermektedir.

PGM bu yataktan Bakır-Nikel üretiminde eritme ve rafinasyon işlemlerinden sonra üretilmektedir [1].

2.6.6 Talnakh Bölgesi (Norilsk Madeni), Rusya

Norilsk Talnakh cevheri Bakır-Nikel cevheri ve PGM içerir. Mineralojik içeriği diğer yataklara göre farklı olduğundan farklı üretim metodları geliştirilmiştir. Norilsk Madeni flotasyon Tesisi Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Norilsk Madeni Flotasyon Tesisi

Cevher mineralojik olarak %70'den fazla sülfürlü mineral içerir. Bu mineraller; pirrotit, kalkopirit, ve kübanit'tir. Ayrıca sperilit, merenskit, izoferroplatinyum ve nabit altın da içerir.

Cevher %85'i 45µm altına geçecek şekilde öğütüldükten sonra cevhere selektif flotasyon uygulanmaktadır. Bu yöntemle bakır, nikel ve pirrotit konsantreleri alınmaktadır. Bakır flotasyonunda reaktif olarak dihidrofosfat ve köpürtücü olarak çamaşır kullanılmaktadır. Nikel flotasyonunda ise reaktif olarak potasyum bitülsantat ve pH düzenleyici olarak da CaO kullanılmaktadır [1].

2.6.7 Güney Afrika Waterval İzabe Kompleksi

4,5 ile 6,5 ppm platin ve platin grubu metalleri içeren ultrabazik yapıların zenginleştirilmesi için, genel olarak % 65'i 74 mikron altı olacak şekilde boyut küçültme işlemlerinden sonra, platin grubu metallerin bulunduğu yapının özelliğine bağlı olarak flotasyon, manyetik ayırma ve gravite ayırmasının uygulandığı bir ön zenginleştirme kademesi yer almaktadır. Bu işlem sonucunda nispeten platince zengin bir ön konsantre ve sistemden atılacak üzere artık elde edilmektedir. Ön konsantre, ısıtılma işlemi kimyasal çözündürme gibi proseslerin yer aldığı Değerli Metaller Rafinasyonu (PMR) kademesine gönderilmektedir. Bu tesisten elde edilen çözünmeyen kısımlar, Manyetik Ayırma Tesisi (MCP) beslenmektedir. Manyetik kısımlar izabe sistemine gönderilmekte, manyetik olmayan kısımlar ise sisteme geri gönderilmektedir. PMR ve MCP tesislerinden elde edilen ürünler, Bazı Metal Rafinasyon Tesisi (BMR) beslenmekte ve buradan da Nikel, Bakır, Kobalt gibi ürünler ile sodyum sülfat elde edilmektedir. Platin Grubu Metallerin kazanımı ise son kademe de yer alan izabe işlemlerinden sonra elde edilmektedir [7]. Şekil 2.8'de Waterval Tesisi gösterilmektedir. Güney Afrika Waterval İzabe Tesisi'nin akış şeması Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.8: Güney Afrika Waterval Tesisi

The flowchart illustrates the metal refining process, starting from mining and ending with final products and waste management.

Yeraltı Madenciliği (Underground Mining) leads to **Artık** (Waste).

Yerüstü Madenciliği (Surface Mining) leads to **Artık** (Waste).

Zenginleştirme (Concentration) leads to **Artık** (Waste).

Öğütme (Grinding), **Filtrasyon** (Filtration), and **Flotasyon** (Flotation) processes lead to **Precious Metal Rafinasyonu** (Precious Metal Refining).

Precious Metal Rafinasyonu involves **Çözündürme** (Dissolution), **Değerli Metalleri Kazanma Tesisi İşleme (Processing)** (Valuable Metal Recovery Plant Processing), and **Saf Metal Üretimi** (Pure Metal Production). It leads to **Metal ve Tuzlar** (Metals and Salts).

Metal ve Tuzlar includes **CuSO₄**, **CuSO₄**, **Ni**, **Pt**, **Pd**, **Ir**, **Au**, **Ru**, **Os**, and **Rh**.

Manyetik Ayırma Tesisi (Magnetic Separation Plant) receives **Orta dereceli artık** (Medium-grade waste) from **Precious Metal Rafinasyonu** and **Konvertör Matı** (Converter Slag) from **Base Metal Rafinasyonu**. It leads to **Base Metal Rafinasyonu** and **İzabe Tesisi** (Leaching Plant).

Base Metal Rafinasyonu involves **Kurşunlaştırma Proses** (Lead Refining Process) and **Elektro kazanım** (Electrolysis). It leads to **İzabe Tesisi** and **Konvertör Matı**.

İzabe Tesisi involves **Konverting** and **Ergitme** (Smelting). It leads to **Curuf** (Slag) and **Sülfirik asit** (Sulfuric acid).

Yüksek kaliteli çinko sülfat (High quality zinc sulfate) is produced from **İzabe Tesisi**.

Şekil 2 9: Güney Afrika Wat erval İzabe Tesi si Akı mŞe ması

2.7 Nikel Hakkında Genel Bilgiler

Nikel yer kabuğundaki belli başlı elementlerden olup, yüzyıllı aşkın bir süredir endüstride kullanılmaktadır. Atom numarası 28, atom ağırlığı 58,71 olan nikel periyodik cetvelde kobalt ile bakırın arasında yer alır. Bu durum nikelin tabiatta en çok bu iki elementle ilişkili olarak bulunmasının bir açıklamasıdır. Doğada çoğunlukla demirle birlikte olmak üzere sülfürler, arsenürler ve silikatlar (lateritik kökenli) şeklinde bulunur [15]. Dünyadaki en önemli nikel yatakları Kanada, Yeni Kaledonya, Küba, ABD, Avustralya, Endonezya ve Rusya'da bulunmaktadır [16].

Bir çok ticari şekilde bulunan nikel kolaylıkla soğuk ve sıcak işlenebilir, kaynak edilebilir ve tornadan geçirilebilir, yüksek sıcaklıklarda mukavemetini ve sıfırın altındaki sıcaklıklarda ise sünekliğini ve tokluğunu olduğu kadar mukavemetini de mükemmel derecede korur. İşlenmiş nikel, mekanik özelliklerinin çoğu bakımından yumuşak çeliğe benzer fakat çeliğin aksine korozyona karşı yüksek bir mukavemet gösterir. Nikelin korozyona karşı dayanıklı bir metal olarak en fazla göze çarpan özelliklerinden biri de alüminyumun aksine alkalilerin etkisine karşın tam bir mukavemete sahip olmasıdır. Nikel yüksek sıcaklıklarda kırılğan hale gelmez.

Nikelin alternatiflerinin kullanılması maliyetleri arttırmaktadır. İkame ürünleri nikel oranla, daha düşük kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olup, performansları da düşüktür. Bu nedenle, nikelin gerçek anlamda alternatifi, günümüz şartlarında, söz konusu değildir [16].

Nikel mineralleri birçok jeolojik ortamda yatak ve kayaların bileşimine girmektedir. Ancak ekonomik nikel yatakları başlıca erken magmatik evre sülfür cevherleşmeleri, hidrotermal nikel yatakları ve nikel lateritler olmak üzere üç şekilde bulunmaktadır [15].

Önemli Nikel minerallerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 2.10'da verilmiştir.

2.7.1 Nikel Rezervleri

Dünya nikel rezervlerinin büyük bir kısmı Rusya, Küba ve Kanada’da bulunmaktadır. Ayrıca Avustralya, Çin, Yeni Kaledonya, Endonezya gibi ülkelerde de önemli rezervler bulunmaktadır. Dünya nikel rezervleri Tablo 2.11’de verilmiştir.

Tablo 2.10: Yaygın Nikel Minerallerinin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Mineral Adı	Kimyasal Bileşimi	Renk
Nikkolit- Nikelin	NiAs	Bakır kırmızısı, gümüş beyazı
Pentlandit	(Fe, Ni) ₉ S ₈	Kahverengi bronz
Bravoyit	(Fe, Ni)S ₂	
Millerit	NiS	Tunç sarısı
Umannit	NiSbS	
Skutterudit	(Ni, Co, Fe)As ₃	Gümüş beyazı
Gersdorfit	NiAsS	Gümüş beyazı
Garnerit	4(Mg, Ni).3SiO ₂ .4H ₂ O(OH) ₄	Griimsi beyaz
Asbolan	Mn(Co, Ni)(OH) ₂	
Nikkeli antigorit	(Mg, Ni).2Si ₂ O ₅ (OH) ₅	Griimsi yeşil

2.7.2 Dünya Nikel Üretimi

Farklı kullanım alanları ve endüstri için vazgeçilmez bir metal olması nikel talebini arttırmaktadır. Bu nedenle nikel üretimi de hep geçerliliğini korumaktadır. Nikel üretiminde ikincil kaynaklardan geri kazanım da oldukça önemli bir yere sahiptir. Ülkelere göre dünya nikel üretimi Tablo 2.12’de verilmiştir. İkincil kaynaklardan üretilen nikel miktarı ise Tablo 2.13’de verilmiştir.

Tablo 2 11: Dünya Nkel Rezervleri [17]

Ü keler	Rezerv (M t ton)	Toplamda Oran (%)
Rusya	6.600	16,6
Küba	5.549	14,0
Kanada	5.334	13,4
Yeni Kaledonya	4.500	11,3
Çin	3.700	9,3
Avustralya	3.700	9,3
Endonezya	3.200	8,1
Güney Afrika	2.540	6,4
Dominik Cumhuriyeti	1.002	2,5
Botswana	783	2,0
Brezilya	670	1,7
Kolombiya	558	1,4
Yunanistan	454	1,1
Filipinler	410	1,0
Zimbabve	243	0,6
Norveç	123	0,3
Diğerleri	100	0,3
Ukrayna	90	0,2
Finlandiya	80	0,2
Yugoslavya	60	0,2
ABD	43	0,1
TOPLAM	39.739	100

Tablo 2 12: Dünya Nkel Üreti mi [17]

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

Tablo 2.13: İkincil Kaynaklardan Nikel Üretimi [17]

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

TOPLAM	260.000	250.800
--------	---------	---------

2.7.3 Dünya Nikel Tüketimi

Kullanı malanlarının artması ile nikelin tüketimi de yıllara göre artış göstermiştir.

Dünya nikel üretimi ve büyüme oranları Tablo 2.14’de verilmiştir.

Tablo 2.14: Dünya Nikel Tüketimi [17]

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

2.7.4 Nikel Fiyatları

Üretim ve tüketim miktarlarına bağlı olarak nikel fiyatlarında düşme ve artma gözlenmektedir. Yıllara göre dünya nikel fiyatları Tablo 2.15’te verilmiştir.

Tablo 2.15: Nikel Fiyatları [8]

Yıllar	Fiyat (\$/ton)
2002	6514
2003	9034
2004	15000
2005	13150

2.7.5 Nikelin Kullanım Alanları

Nikel sahip olduğu üstün nitelikler nedeniyle endüstride en çok kullanılan metallere biridir. Gerek metal ve alaşımları, gerekse paslanmaz çelik olarak geniş kullanım alanları olan bir metaldir. Ticari olarak saf olan (%99,5) dövülmüş ve dökülmüş haldeki nikelin endüstri bakımından geniş ve önemli kullanım alanları vardır. Bunun nedeni nikelin sahip olduğu iyi mekanik ve fiziksel özelliklerin yanı sıra korozyona karşı gösterdiği yüksek dirençtir. Nikelin başlıca kullanım alanları Tablo 2.16’de verilmektedir.

Tablo 2.16: Nikelin Kullanım Alanları [16]

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

Metalurji dışında nikelin kullanım alanları şöyle sınıflandırılabilir:

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

2.7.6 Türkiye Nikel Rezervleri

Türkiye nikel rezervi yaklaşık olarak 40 milyon ton'dur. Bu rezervin büyük bir bölümü Manisa Çaldağ, Bursa Orhaneli, Bitlis Pancarlı ve Eskişehir Yunus Emre'de yer almaktadır. Manisa Çaldağ ve Eskişehir Yunus Emre'de bulunan yataklar lateritik, Bursa Orhaneli ve Bitlis Pancarlı'da yer alan yataklar ise sülfürlü yataklardır. Ayrıca Sivas Divriği'de hidrotermal nikel yatakları bulunmaktadır [16]. Türkiye Nikel rezervleri Tablo 2.17'de verilmektedir.

Tablo 2.17: Türkiye Nikel Rezervleri (bin ton) [16]

Yeri	Tipi	Tenör %	Görünen+Muhtemel	Mümkün	Toplam
------	------	---------	------------------	--------	--------

Mnisa Çal dağ	Laterit	0,93 N 0,042 Co	65.600		65.600
		1,21 N 0,048 Co	39.400		39.400
		1,37 N 0,053 Co	35.400		35.400
		1,43 N 0,053 Co	34.400		34.400
		1,59 N 0,060 Co	21.000		21.000
		1,95 N 0,060 Co	4.400		4.400
Bursa Yapköy	Sülfit	1-4 N	82	81	163
Bitlis Pancarlı	Sülfit	1,41 N		15,5	15,5
Toplam			200.282	96,5	200378,5

2.7.7 Mnisa Çal dağ Madeni, European Nickel PLC

Çal dağ lateritik demir, nikel-kobalt yatağı Mnisa İli, Turgutlu İlçesi'nin yaklaşık 25 km kuzeyinde bulunmaktadır. Ayşekızı Tepesi'nin güneyinde yüzeylenen yukarı ve aşağı lateritik demir, nikel-kobalt yatakları yaklaşık 2 km²'lik bir alan içindedir. Demir-nikel-kobalt oluşumunun tabanda bulunan serpantinli lateritleşmesi sonucu oluştuğu düşünülmektedir [18].

Yatağın ekonomik nikel minerali asbolandır. Asbolanın eser olarak izlenebildiği kil minerallerinin kimyasal analizinde çok düşük nikel kobalt değerleri bulunmuştur. Buradan da nikelin çok az bir kısmının nikel silikatlarına bağlı olduğu anlaşılmaktadır [18].

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

European Nickel PLC 2004 yılının nisan ayında fizibilite çalışmalarına, aynı yılın eki mayısında ise denemelere başlamıştır. İlk deneme, 4200 ton %1,14 nikel içeren cevherin kırılması ve çok katlı plastik taban üzerinde asit çözündürmesi işlemi ile

başlamıştır. 16 haftanın sonunda yığındaki nikelin yaklaşık %25'i çözeltiye geçmiştir. Süzülme oranının yüksek olması ve nikelin rafine edilmesi için gerekli olan çözeltideki minimum nikel miktarının aşılması üzerine ikinci ve üçüncü yığınların oluşturulması kararlaştırılmıştır. Birinci yığının başarısı sonucu 9000 tonluk ikinci yığınışleme konmuştur. 8 metre yüksekliğindeki 14.000 tonluk üçüncü yığının yapımı devam etmektedir.

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

2007'de faaliyete geçecek olan madenin planlanan yıllık nikel üretimi 15.000 ton/yıl'dır [19].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Numunelerin Fiziksel Özellikleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan numuneler, Bursa ve Kayseri bölgesini temsilen Orhaneli ve Pınarbaşı zenginleştirme tesislerinden konsantre ve artık olarak, Muğla ve Denizli bölgelerinden ise cevher olarak alınmıştır. Bursa ve Kayseri bölgesi numuneleri sırasıyla ŞETAT (Orhaneli) ve Dede man Madencilik A.Ş. (Kayseri) krom zenginleştirme tesisleri konsantre ve artık stoklarından belli aralıklarla, kanal kesit numunesi olarak alınmıştır. Muğla ve Denizli bölgesi numuneleri ise tüvenan cevher stoklarından aynı yöntemlerle alınmıştır. Tüvenan cevherin maksimum tane boyutu 100 mm'dir ve kademeli olarak 1 mm'nin altına indirilmiştir. Cevher olarak alınan numuneler üzerinde 1 mm'nin altında sarsıntılı masa yapılarak konsantre ve artık numuneleri elde edilmiştir. Platin konusunda Türkiye genelinde yapılan çalışmalarda, Dalaman Çayı çökellerinden söz edilmekte ve umutlu sonuçlar alınabileceği belirtilmektedir [2]. Bu amaçla Dalaman Çayı çökellerinden alınan numuneler bu kapsamda deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Dalaman Çayı çökellerinden alınan numune ise, belli aralıklarla yaklaşık 15 cm'lik derinlikten alınmış olup, numuneler daha sonra konileme dörtleme yöntemi ile azaltılmıştır.

3.2 Numunelerin Kimyasal Özellikleri

Dört bölgeye ait konsantre ve artık numuneleri üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.1'de verilmiştir. Kimyasal analizler "Fire Assay" yöntemiyle yaptırılmıştır. Tablo 3.2'de deneysel çalışmaların ağırlıkla gerçekleştirildiği Muğla bölgesi numunesine ait komple kimyasal analiz sonuçları yer almaktadır.

Tablo 3.1: Tüm Bölgelerin Değerli Metal İçerikleri

Ürünler	Pt (g/t)	Pd (g/t)	Au (g/t)	Ag (g/t)	Ni (g/t)
Bursa Konsantre	0.02	0.02	0.03	2	600
Bursa Artık	0.02	0.05	0.03	2	2200
Muğla Konsantre	0.05	0.04	0.01	2	100
Muğla Artık	0.01	0.01	0.03	2	2300
Kayseri Konsantre	0.01	0.01	0.01	2	400
Kayseri Artık	0.06	0.01	0.01	2	1900
Denizli Konsantre	0.01	0.01	0.01	2	600
Denizli Artık	0.04	0.01	0.01	2	1200
Dalaman Konsantre	0,02	0,01	0,03	2	994
Dalaman Artık	0,04	0,01	0,05	2	1019

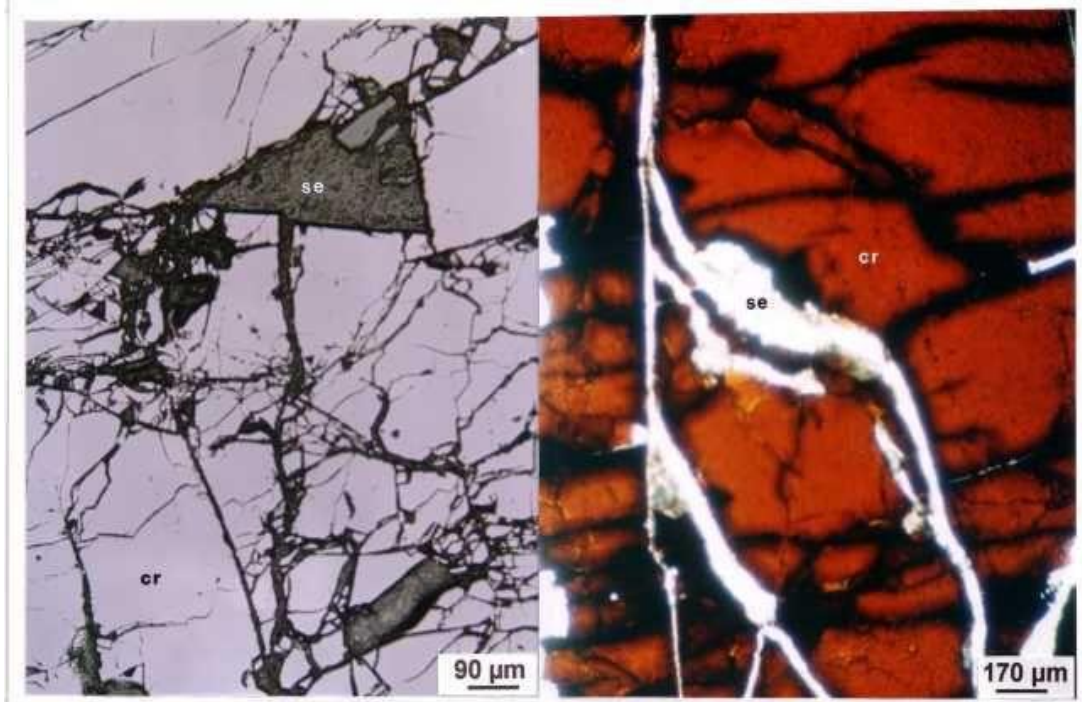
Tablo 3.2: Muğla Bölgesi Numunesinin Kimyasal Özellikleri

İçerik	(%)
Cr ₂ O ₃	48,94
SiO ₂	7,49
Al ₂ O ₃	7,52
Fe ₂ O ₃	16,85
MgO	15,78
CaO	0,20
Na ₂ O	0,08
K ₂ O	0,04
TiO ₂	0,05
P ₂ O ₅	0,01
MnO	0,08
Toplam	96,96

3.3 Numunelerin Mineralojik Özellikleri

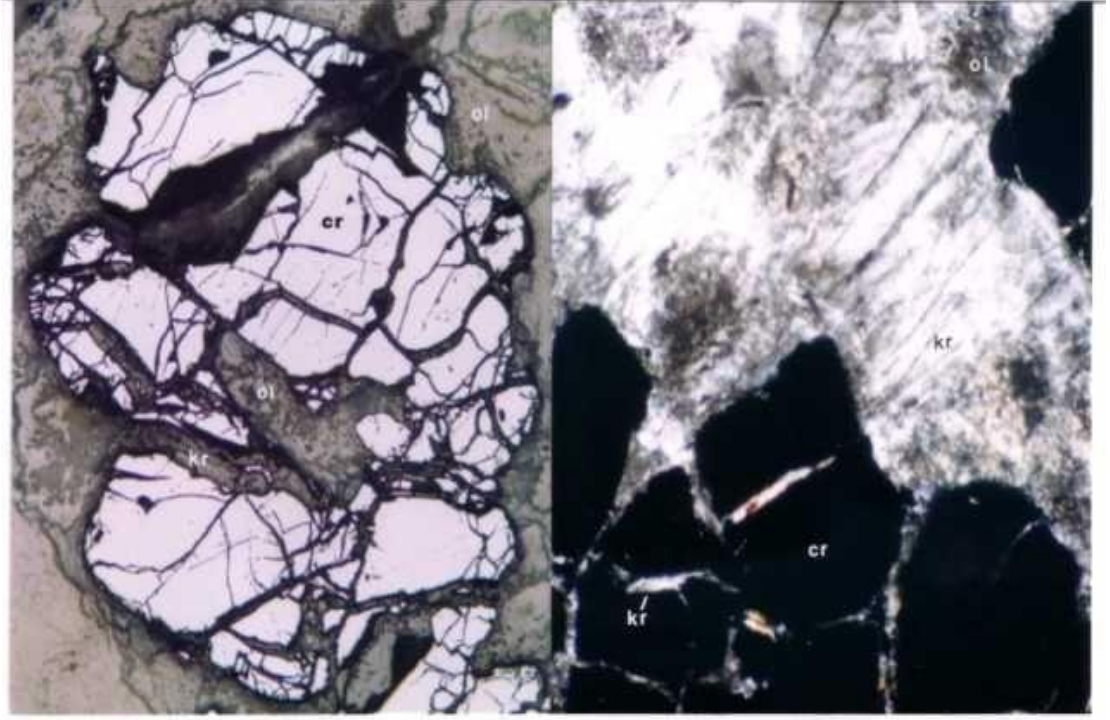
Tez kapsamında dört farklı bölgeden gelen numuneler için ayrıntılı mineralojik çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan çok sayıda parlak kesitlerin mikroskop altında mineralojik incelemesi yapılmıştır.

Mığla bölgesi numunesi için kesitlerin mikroskopik incelemeleri sonucunda cevher bileşiminin büyük bir çoğunluğunu kromit oluşturmakta ayrıca serpantin grubu mineraller (kriyotil ve antigorit) talk ve avaruit (Nikel- Demir) bulunduğu tespit edilmiştir. Kromit tektonizması sonucunda çok kırıklı bir yapıya sahip olmuş kırık ve çatlaklar daha sonraki aşamada serpantin grubu mineraller ve ayrışma sonucunda ortaya çıkan talk tarafından doldurulmuştur. Kesitlerde hem kromit hem olivin içerisinde 2-3 mikron boyutunda avaruit (Nikel- Demir) tanelerinin bulunduğu saptanmıştır. Avaruitin kristal yapısı kübik sistemdedir. Şekil 3.1’de Mığla bölgesi cevherine ait parlak kesit gösterilmektedir.



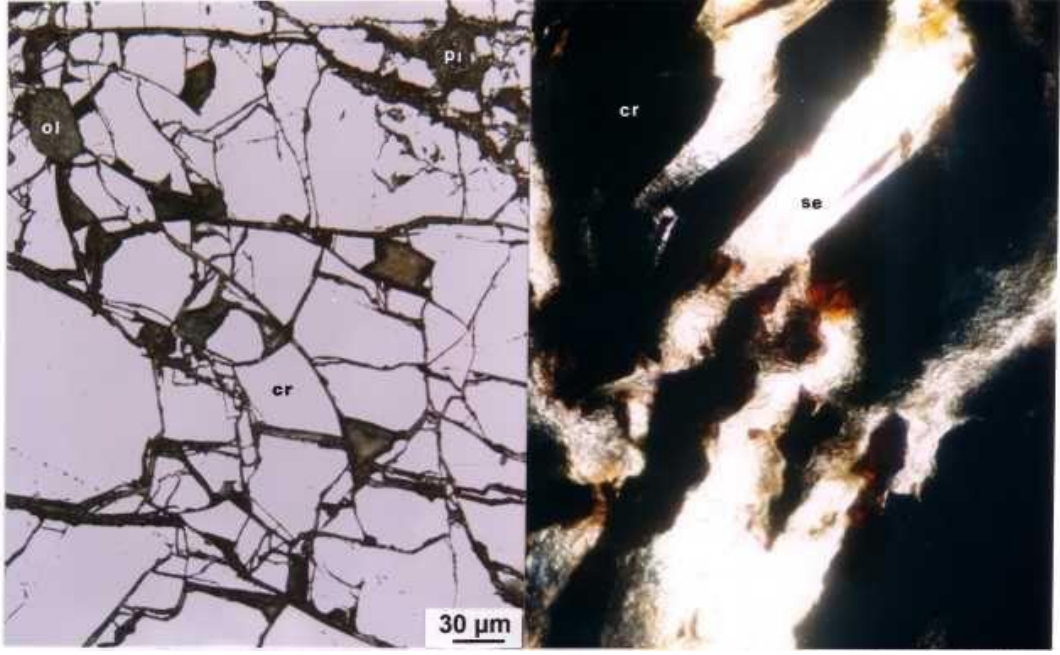
Şekil 3.1: Mığla Bölgesi Cevherine Ait Parlak Kesit

Bursa Bölgesi numunesi için dünit (olivinin ağırlıklı) içerisinde saçılmalı ve bantlı yapıda kromit taneleri yer yer yağışmalar göstererek bantlı bir yapı göstermektedir. Deformasyon sonucunda kromit tanelerinin kırıklı bir yapı kazandıkları tespit edilmiştir. Kromit tanelerinin dışında serpantin ayrışma sonucunda kriptitile dönüşmüştür. Şekil 3.2’de Bursa bölgesine ait numunenin ince kesit görüntüsü verilmiştir.



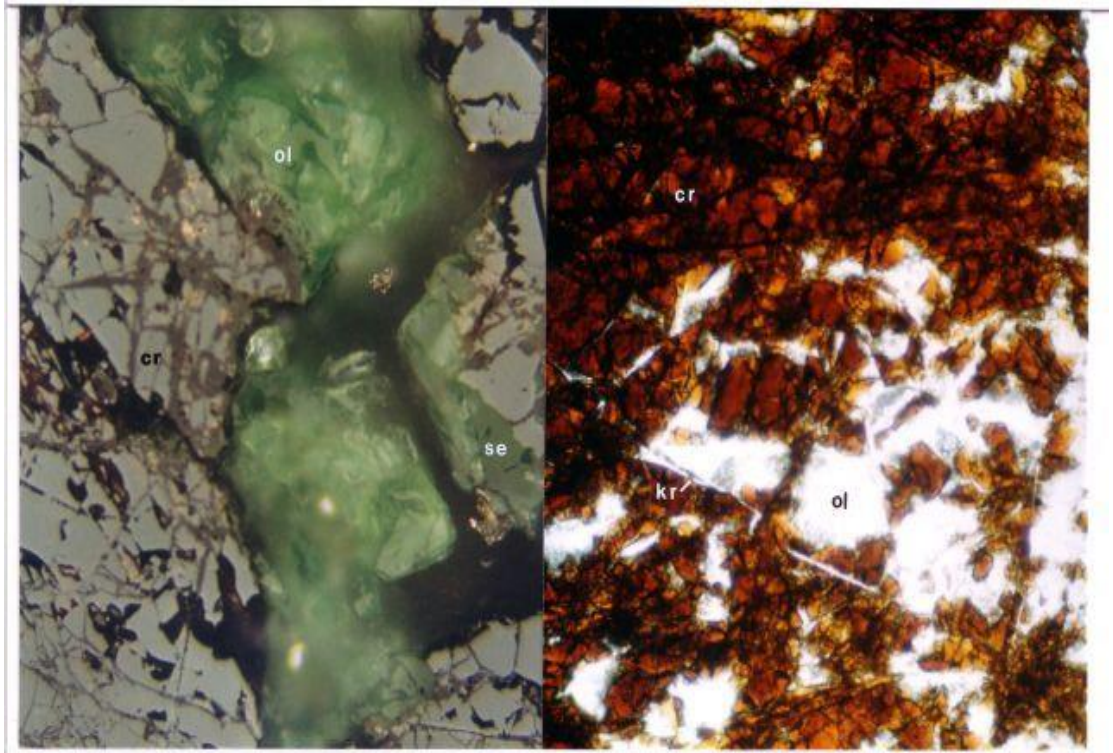
Şekil 3.2: Bursa Bölgesi Cevherine At Parlak Kesit

Kayseri bölgesi numunesi için masif görünümü kayaç içerisinde kromitin kırılanmış ve gang içerisinde saçılmalı halinde izlendiği tespit edilmiştir. Kayseri bölgesi cevherine ait ince kesit görüntüsü Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Kayseri Bölgesi Cevheri ne At Parlak Kesit

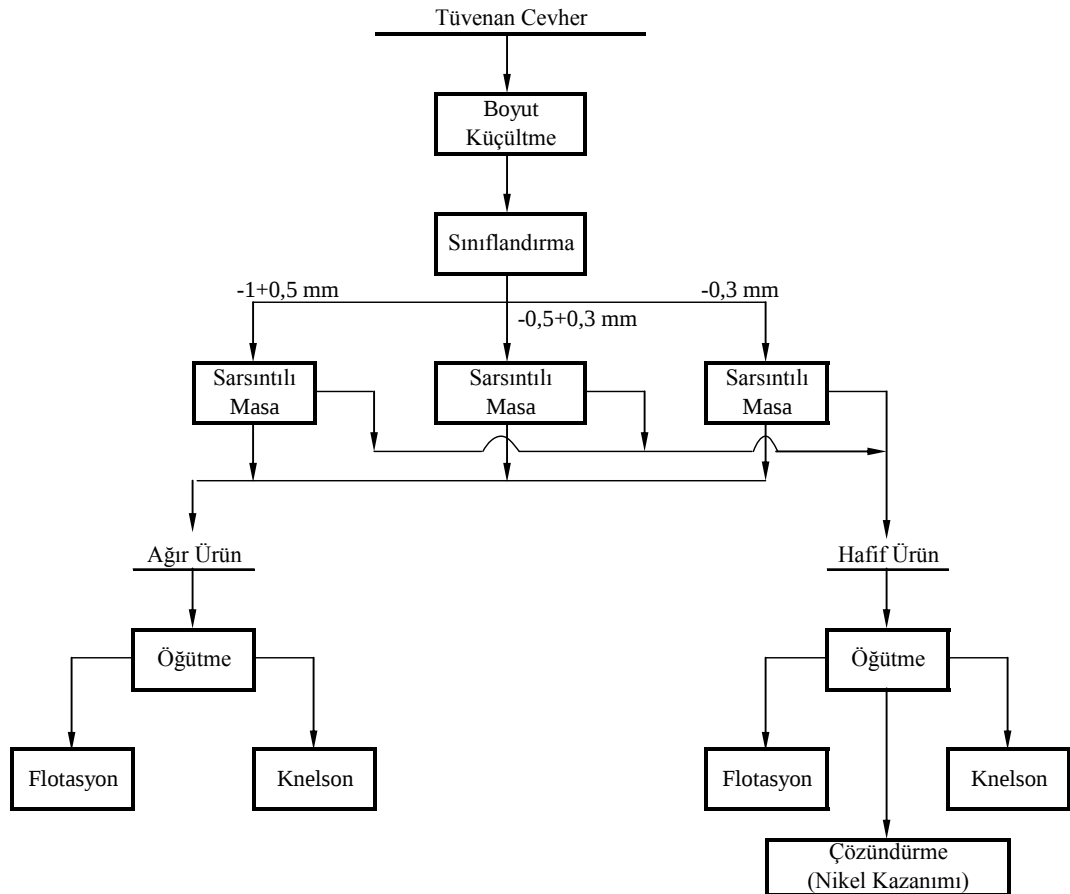
Denizli bölgesi numunesi için; masif görünümünü cevher numunesinde kromit taneleri genellikle deformasyon sonucunda çok kırıklı bir yapı göstermekte ve kromit tanelerinin siyah köşeli taneler halinde bulunduğunu gözlenmiştir. Şekil 3.4’de Denizli bölgesi cevheri ne ait ince kesit görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.4: Denizli Bölgesi Cevheri ne At Parlak Kesit

3.4 Fiziksel, Fizikokimyasal Zenginleştirme

Cevherin mineralojik incelemesinden sonra deneysel çalışmalara başlanılmıştır. Muğla ve Denizli bölgesi cevherleri tüvenan cevher olduklarından sarsıntılı masada zenginleştirilerek o bölgelere ait konsantre ve artık elde edilmiştir. Yine tez kapsamında dalaman Çayı'na ait numuneye sarsıntılı masa deneyi yapılarak bir konsantre ve artık üretilmiştir. Kromit artıklarına sülfür flotasyonu uygulanmıştır. Ayrıca Knelson gravite ayırıcısı ile zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Deneylerde uygulanan genel akış şeması Şekil 3.5'de gösterilmektedir.



Şekil 3.5: Deneylerde Uygulanan Genel Akış Şeması

3.4.1 Sarsıntılı Mısa Deneyleri

Denizli bölgesi, Muğla bölgesi ve Dalaman Çayı'na ait numuneler tüvenan cevher olduklarından, konsantre ve artık üretmek amacıyla bu cevherlere sarsıntılı mısa deneyleri uygulanmıştır. Temsili bir numunenin sarsıntılı masada zenginleştirilmesi amacıyla yaklaşık 10 kg numune tamamı 1 mm altına geçecek şekilde hazırlanmış, -1+0,5 mm -0,5+0,3 mm ve -0,3 mm boyut gruplarına sınıflandırılarak sarsıntılı mısa deneyleri yapılmıştır. Mısa deneylerinden elde edilen ürünler birleştirilerek analiz yapılmıştır. Muğla bölgesi ürünlerinin içerik ve verimleri Tablo 3.3'de verilmiştir. Denizli bölgesi ürünlerinin içerik ve verimleri ise Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.3: Muğla Bölgesi Sarsıntılı Mısa Deneyi Sonuçları

Ürünler	Miktar, %	Pt		Pd		Au	
		g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V
Konsantre	65,4	0,05	90,43	0,04	87,2	0,01	40,8
Artık	34,6	0,01	9,57	0,01	12,8	0,03	59,2
Beslenen	100	0,0362	100,00	0,03	100	0,016	100

Tablo 3.4: Denizli Bölgesi Sarsıntılı Mısa Deneyi Sonuçları

Ürünler	Miktar, %	Pt		Pd		Au	
		g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V
Konsantre	49,6	0,01	19,70	0,01	49,6	0,01	49,6
Artık	50,4	0,04	80,30	0,01	50,4	0,01	50,4
Beslenen	100	0,0251	100,00	0,01	100	0,01	100

Muğla bölgesi cevheri için sarsıntılı masada ağır ürün olarak alınan konsantrenin Pt içeriği 0,05 g/t, Pd içeriği ise 0,04 g/t'dur. Hafif ürün olarak alınan artık 0,01 g/t Pt, 0,01 g/t Pd içerir.

Denizli bölgesi cevheri için sarsıntılı masada ağır ürün olarak alınan konsantre 0,01 g/t Pt, 0,01 g/t Pd içerir. Hafif ürün olarak alınan artık 0,04 g/t Pt, Pd 0,01 g/t Pd içerir.

Kayseri Pınarbaşı zenginleştirme tesisinden gelen Kayseri bölgesine ait ağır ürünün Pt içeriği 0,01 g/t, Pd içeriği 0,01 g/t'dur. Hafif ürünün Pt içeriği ise 0,06 g/t, Pd

içeriği ise 0,01 g/t olmaktadır. Bursa Orhaneli zenginleştirme tesisiinden gelen Bursa bölgesine ait ağır ürünün Pt içeriği 0,02 g/t, Pd içeriği ise 0,02 g/t'dur. Hafif ürün 0,02 g/t Pt, 0,05 g/t Pd içer mektedir.

Dalaman Çayı'na ait numuneden bir konsantre ve bir artık elde etmek amacıyla sarsıntılı masa deneyleri yapılmıştır. Temsili bir numunenin tamamı 1 mm'nin altına indirilerek, -1+0,5 mm, -0,5+0,3 mm ve -0,3 mm boyut gruplarına sınıflandırılmıştır. Dalaman Çayı numunesine yapılan sarsıntılı masa deneyi sonuçları Tablo 3.5'de veril mektedir.

Tablo 3.5: Dalaman ayı Sarsıntılı Masa Deneyi Sonuçları

Boyut, mm	rnler	Miktar, %	Pt		Pd		Au		Ni	
			g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V
-1+0,5	Konsantre	16,0	0,07	27,6	0,02	14,6	0,01	13,1	996	15,6
	Artık	7,2	0,05	8,9	0,02	6,6	0,04	23,7	1015	7,2
-0,5+0,3	Konsantre	15,4	0,03	11,4	0,01	7,1	0,01	12,7	978	14,7
	Artık	21,7	0,04	21,4	0,03	29,8	0,01	17,9	1016	21,6
-0,3	Konsantre	16,3	0,03	12,1	0,02	15,0	0,01	13,4	1072	17,1
	Artık	17,7	0,03	13,1	0,03	24,4	0,01	14,6	1066	18,5
lam		5,6	0,04	5,5	0,01	2,6	0,01	4,6	973	5,3
Toplam		100,0	0,04	100,0	0,02	100,0	0,01	100,0	1022	100,0

Dalaman Çayı cevherinin -1+0,5 -0,5+0,3 ve -0,3 mm boyutlarında sınıflandırılarak yapılan sarsıntılı masa deneyleri sonucunda -0,5+0,3 mm boyutunda konsantrenin Pt içeriği 0,07 g/t, Pd içeriği ise 0,02 g/t, N içeriği 996 g/t olurken; artık 0,05 g/t Pt, 0,02 g/t Pd ve 1015 g/t N içer mektedir. -0,5+0,3 mm boyutundaki konsantrenin Pt içeriği 0,03 g/t, Pd içeriği 0,01 g/t, N içeriği ise 978 g/t'dur. Artık ise 0,04 g/t Pt, 0,03 g/t Pd, 1016 g/t N içer mektedir. -0,3 mm boyutunda konsantrenin Pt içeriği 0,03 g/t, Pd içeriği 0,02 g/t, N içeriği 1072 g/t'dur. Artığın Pt içeriği 0,03 g/t, Pd içeriği 0,02 g/t, N içeriği ise 1066 g/t olmaktadır. Şlam 0,04 g/t Pt, 0,01 g/t Pd içer mektedir.

3.4.2 Flotasyon Deneyleri

Platin grubu metallerin üretiminde flotasyon önemli bir yere sahiptir. Dünyada birçok tesiste flotasyon uygulanmaktadır. Flotasyonda yaygın olarak ksantatlar ve bunlara ek olarak dihidrofosfatlar kullanılmaktadır. Farklı cevher tipleri için farklı reaktifler kullanılmaktadır [1,6].

3.4.2.1 Ksantat ile Yapılan Flotasyon Deneyleri

Dört bölgeden alınan numuneler üzerinde yapılan sarsıntılı masa deneyi sonucunda elde edilen artıklar (hafif ürün) üzerinde PGM'nin flotasyon yöntemi ile kazanılması öngörülerek flotasyon deneyleri yapılmıştır. Günümüzde birçok tesiste sülfür flotasyonu uygulanmaktadır. Dünyada bu uygulamaya örnek olarak Güney Afrika'da Merensky Yatağında, Stillwater Kompleksi, Montana'da PGM kazanım amacıyla reaktif olarak ksantatlar kullanılmaktadır [1]. Deneylerde PGM'nin sülfür seven bir yapıda olduğu göz önünde tutularak sülfür flotasyonu uygulanmıştır. Tüm deneylerde aynı koşullarda yapılmıştır.

Tane Boyutu	: -100 mikron
Pülpte Katı Oran	: %20
Toplayıcı Gnsi	: Potasyum Amil Ksantat ve Potasyum Etil Ksantat
Toplayıcı Miktarı	: 300 g/t (100+100+50+50 g/t)
pH	: 5,5 - 6
pH Düzenleyici	: HCl
Kıvamlama Süresi	: 15 dakika

Tüm bölge artıklarına koşullar aynı tutularak flotasyon deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 3.6'da verilmiştir.

Ksantat kullanılarak yapılan flotasyon deneyleri sonucunda; Muğla bölgesi flotasyon konsantresinin Pt içeriği 0,16 g/t, Pd içeriği 0,08 g/t olmaktadır. ToplamPGMi içeriği 0,24 g/t'a çıkmaktadır. Pt kazanma verimi %76,6 ve Pd kazanma verimi ise %72,8 olmaktadır. Flotasyon artıklarının Pt içeriği 0,005 g/t, Pd içeriği ise 0,003 g/t'dur.

Bursa bölgesi flotasyon konsantresinin Pt içeriği 0,02 g/t, Pd içeriği 0,04 g/t iken, flotasyon artığının Pt içeriği 0,02 g/t, Pd içeriği ise 0,05 g/t olmaktadır. Kayseri bölgesi flotasyon konsantresi 0,03 g/t Pt ve 0,01 g/t Pd içerir iken, flotasyon artığı ise 0,06 g/t Pt ve 0,01 Pd içerir iktedir. Denizli bölgesi flotasyon konsantresinin Pt içeriği 0,04 g/t, Pd içeriği 0,03 g/t'dur, flotasyon artığı ise 0,04 g/t Pt, 0,009 g/t Pd içerir iktedir. Muğla bölgesi cevherinde bir zenginleşme gözlenmiş ve daha sonraki çalışmalarda Muğla bölgesi cevheriyle çalışılmıştır.

Tez çalışmaları kapsamında Muğla bölgesi cevheri artıklarına nikel kazanım amacıyla ksantat ile flotasyon deneyi yapılmıştır. Yapılan flotasyon deneyi koşulları;

Tane Boyutu : -100 mikron
Pülpte Katı Gram : %20
Toplayıcı Gnsi : Potasyum Amil Ksantat ve Potasyum Etil Ksantat
Toplayıcı Miktarı : 300 g/t (100+100+50+50 g/t)
pH : 6,5
pH Düzenleyici : HCl
Kıvamlaşma Süresi : 15 dakika

Yapılan flotasyon deneyi sonuçları Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.6: Sülfür Flotasyonu Deney Sonuçları

Bölge	rnler	Miktar, %	Pt		Pd		Au	
			g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V
Muğla	Konsantre	9,1	0,16	76,6	0,08	72,8	0,2	60,7
	Artık	90,9	0,005	23,4	0,003	27,2	0,01	39,3
	Toplam	100,0	0,019	100,0	0,01	100,0	0,03	100,0
Bursa	Konsantre	7,5	0,02	7,5	0,04	6,0	0,02	5,0
	Artık	92,5	0,02	92,5	0,0508	94,0	0,0308	95,0
	Toplam	100,0	0,02	100,0	0,05	100,0	0,03	100,0
Kayseri	Konsantre	6,8	0,03	3,4	0,01	6,8	0,22	78,7
	Artık	93,2	0,0622	96,6	0,01	93,2	0,0043	21,3
	Toplam	100,0	0,06	100,0	0,01	100,0	0,019	100,0
Denizli	Konsantre	2,6	0,04	2,6	0,03	7,8	0,1	26,0
	Artık	97,4	0,04	97,4	0,0094	92,2	0,0076	74,0
	Toplam	100,0	0,04	100,0	0,01	100,0	0,01	100,0

Tablo 3.7: Nikel Flotasyonu Deney Sonuçları

Ürünler	Miktar, %	N	
		g/t	%V
Konsantre	11,9	1800	13,1
Artık	88,1	1610	86,9
Toplam	100,0	1633	100,0

Yapılan deney sonucunda konsantrenin nikel içeriği 1800 g/t, artığı ise nikel içeriği 1610 g/t olmaktadır. Bu sonuçlara bağlı olarak nikelin flotasyon yolu ile zenginleştirilmesi öngörülmektedir.

3.4.2.2 Dithi ofosfat ile Yapılan Flotasyon Deneyleri

Yapılan çeşitli çalışmalarda farklı cevher tipleri için farklı reaktifler kullanılmıştır [6]. PGM kazanımı için dithi ofosfatların flotasyonda kullanıldığı birden fazla tesis bulunmaktadır. Bu tesislere örnek olarak Norilsk Madeni (Rusya), Lac Des Iles Madeni (Kuzey Amerika) verilebilir. Değişik tipteki cevherler için değişik reaktifler kullanılarak verimin artırılması istenmektedir. Ksantatlarla birlikte kullanılan dithi ofosfatlar PGM kazanımını arttırmaktadır [6]. Bu nedenle Muğla bölgesi artıklarına ksantatlarla birlikte dithi ofosfat toplayıcısı kullanılarak PGM kazanımı incelenmiştir. Deney sonuçları Tablo 3.8’de verilmiştir.

Dithi ofosfat ve ksantat kullanılarak yapılan flotasyon deneyi koşulları:

Toplayıcı Gnsi	: KAX + Hbst afl α II B (Ksantat + Dithi ofosfat)
Toplayıcı Miktarı	: 1. Kade me (200+200g/t) 2. Kade me (100+100g/t) 3. Kade me (100+100g/t) 4. Kade me (100+100g/t) 5. Kade me (100+100g/t)
Bastırıcı Gnsi	: Na_2SiO_3
Bastırıcı Miktarı	: 2000 g/t
Köpürtücü Gnsi	: Çamyacı
pH	: 7,85

Tablo 3.8: Dithiofosfat Kullanılarak Yapılan Flotasyon Deneyi Sonuçları

Ürünler	Miktar, %	Pt		Pd		Au	
		g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V
K-1	3,4	0,01	3,2	0,01	0,4	0,01	3,2
K-2	3,8	0,01	3,6	0,09	4,0	0,01	3,6
K-3	5,2	0,02	9,9	0,01	0,6	0,02	9,9
K-4	4,8	0,01	4,6	0,01	0,6	0,01	4,6
K-5	3,8	0,01	3,6	0,01	0,4	0,01	3,6
Artık	79,0	0,01	75,1	0,10	94,0	0,01	75,1
Toplam	100,0	0,01	100,0	0,08	100,0	0,01	100,0

Deneylerde ksantatlara ilave olarak toplayıcı olarak dithi ofosfat kullanılmıştır. Kademeli olarak yapılan deneyler sonucunda konsantre 0,06 g/t Pt, 0,11 g/t Pd içermektedir. Artık 0,01 g/t Pt, 0,10 g/t Pd içermektedir. Dithi ofosfat kullanımı bu bölge cevheri için PGM kazanımını arttırmaktadır.

3.4.3 Knelson Cihazı İle Yapılan Deneyler

PGM kazanımında bugün dünyada birçok tesiste Knelson cihazı kullanılmaktadır. PGM kazanımının yanında altın, gümüş gibi değerli metallerin kazanımında da kullanılmaktadır. Knelson cihazı özgül ağırlık farkına dayalı ayırma yapan bir cihazdır. Cevher içerisindeki minerallerin özgül ağırlık farkının yüksek olması zenginleştirmeyi kolaylaştırır [20].

Knelson gravite ayırıcısı santrifüj kuvvetinden yararlanarak ayırma yapan patentli bir cihazdır. İçerisinde poliüretandan yapılmış bir konsantre haznesi bulunmaktadır. Bu hazne alt kısmından üst kısma doğru dizilmiş hal kalarından oluşmaktadır. Hal kaların çevresinde suyun içeri girmesini sağlayan delikler bulunmaktadır. Deliklerin sayısı ve genişliği yapılan birçok çalışma ile belirlenmiştir. Deney sırasında hazne saat yönünde 320 devir/dakika hızla dönmektedir. Bu konuda çalışmalar halen devam etmektedir. Kaldırma suyunun basıncı değiştirilebilir bir parametredir. Suyun kaldırma kuvvetini yenemeyen hafif taneler suyun kaldırma yönünde üst taraftan hafif ürün olarak alınmaktadır. Santrifüj kuvvetinin etkisinde suyun kaldırma basıncını yenen ağır taneler, haznenin alt tarafa doğru hareket ederek hal kaların içine yerleşmektedir. Cihaz durdurularak ya da otomatik olarak ağır ürün haznenin içinden alınabilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda alınan ürünlerin içerikleri artırılabilir [20].

Günümüzde Rusya’da Norilsk madeninde ve Kanada Stillwater madeninde PGM kazanımında Knelson cihazından yararlanılmaktadır. Knelson cihazı ile çok küçük boyutlarda ayırma yapılabilir [1].

Deneylerde laboratuvar tipi KG-MD3-G4 tipi Knelson cihazı kullanılmıştır. Cihazın besleme kapasitesi: 0-45 kg/saat, besleme boyutu -1.7 mm besleme yoğunluğu % 0-75’dir. Cihazın üstünde paslanmaz çelikten yapılmış 1.7 mm’lik elek bulunmaktadır. Deneylerde kullanılan Knelson cihazı Şekil 3.6’da gösterilmektedir.



Şekil 3.6: Laboratuvar Tipi Knelson Ci Hızı

Mığla bölgesi cevheri üzerinde yapılan sarsıntılı masa deneyi sonrasında elde edilen konsantre (ağır ürün) ve artık (hafif ürün) numuneleri ile, Knelson ci hızı kullanılarak zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Su basıncı değiştirilerek PGM kazanımı incelenmiştir. Tablo 3.9’da -74 mikron boyutunda konsantre için Knelson ci hızı ile yapılan deney sonuçları verilmiştir. -74 mikron boyutunda artıki için Knelson ci hızı ile yapılan deney sonuçları ise Tablo 3.10’da verilmiştir.

Tablo 3.9: -74 Mikron Boyutunda Konsantreye Yapılan Knelson Deneyleri

Su Basıncı, mPa	Ürünler	Miktar, %	Pt		Pd		Au		Ni	
			g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V
2	Konsantre	28,5	0,04	32,9	0,01	28,5	0,03	44,5	53	11,1
	Ara Ürün	17,6	0,04	20,4	0,01	17,6	0,03	27,5	94	12,2
	Artık	53,9	0,03	46,7	0,01	53,9	0,01	28,0	194	76,7
	Toplam	100,0	0,03	100,0	0,01	100,0	0,02	100,0	136	100,0
3	Konsantre	11,3	0,01	11,3	0,01	9,7	0,05	17,5	42	3,7
	Ara Ürün	16,6	0,01	16,6	0,02	28,4	0,03	15,4	58	7,5
	Artık	72,2	0,01	72,1	0,01	61,9	0,03	67,1	157	88,8
	Toplam	100,0	0,01	100,0	0,01	100,0	0,03	100,0	128	100,0
4	Konsantre	10,1	0,02	5,3	0,01	6,0	0,03	16,0	45	3,5
	Ara Ürün	19,9	0,04	20,9	0,01	11,7	0,01	10,5	51	7,8
	Artık	70,0	0,04	73,8	0,02	82,3	0,02	73,5	165	88,7
	Toplam	100,0	0,04	100,0	0,02	100,0	0,02	100,0	130	100,0

Tablo 3.10: -74 Mikron Boyutunda Artığa Yapılan Knelson Deneyleri

Su Basıncı, mPa	Ürünler	Miktar, %	Pt		Pd		Au		Ni	
			g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V
3	Konsantre	17,6	0,04	46,0	0,03	39,0	0,03	39,0	758	6,0
	Artık	82,4	0,01	54,0	0,01	61,0	0,01	61,0	2549	94,0
	Toplam	100,0	0,02	100,0	0,01	100,0	0,01	100,0	2234	100,0

-74 mikron boyutunda Muğla bölgesi konsantresi kullanılarak yapılan Knelson deneyleri sonucunda 2 mPa basınçta ağır ürünün Pt içeriği 0,04 g/t, Pd içeriği 0,01 g/t olmaktadır. Hafif ürünün Pt içeriği 0,03 g/t, Pd içeriği 0,01 olmaktadır. Ağır ürünün N içeriği 53 g/t, hafif ürünün N içeriği ise 194 g/t olmaktadır.

3 mPa basınçta alınan ağır ürünün Pt içeriği 0,01 g/t, Pd içeriği ise 0,01 g/t olmaktadır. Hafif ürünün Pt içeriği 0,01 g/t, Pd içeriği ise 0,01 g/t olmaktadır. Ağır ürünün N içeriği 42 g/t, hafif ürünün N içeriği ise 157 g/t olmaktadır.

4 mPa basınçta ağır ürünün Pt içeriği 0,02 g/t, Pd içeriği 0,01 g/t olmaktadır. Hafif ürünün Pt içeriği 0,04 g/t, Pd içeriği 0,02 g/t olmaktadır. Ağır ürünün N içeriği 45 g/t, hafif ürünün N içeriği ise 65 g/t olmaktadır.

-74 mikron boyutunda Muğla bölgesi artığına yapılan Knelson deneyleri sonucunda 3 mPa basınçta ağır ürünün Pt içeriği 0,04 g/t, Pd içeriği 0,03 g/t olmaktadır. Hafif ürünün Pt içeriği 0,01 g/t, Pd içeriği 0,01 g/t olmaktadır. Ağır ürünün N içeriği 758 g/t, hafif ürünün N içeriği ise 2549 g/t olmaktadır.

-74 mikron boyutunda yapılan Knelson deneylerinden sonra boyutun PGM kazanımına etkisini görebilmek için daha küçük boyutlarda Knelson deneyleri yapılmıştır. Boyut olarak -38 mikron seçilmiştir. -38 mikron boyutunda farklı basınçlarda deneyler yapılmıştır. Yapılan deney sonuçları Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11: -38 Mikron Boyutunda Konsantreye Yapılan Knelson Deneyleri

Su Basıncı, mPa	Ürünler	Miktar, %	Pt		Pd		Au		Ni	
			g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V
2	Konsantre	16,3	0,01	16,3	0,01	16,3	0,04	43,8	43	5,3
	Ara Ürün	12,6	0,01	12,6	0,01	12,6	0,01	8,5	59	5,7
	Artık	71,1	0,01	71,1	0,01	71,1	0,01	47,7	164	89,0
	Toplam	100,0	0,01	100,0	0,01	100,0	0,01	100,0	131	100,0
3	Konsantre	13,4	0,02	18,0	0,02	21,9	0,02	23,7	36	3,8
	Ara Ürün	9,0	0,05	30,2	0,02	14,7	0,01	8,0	48	3,4
	Artık	77,6	0,01	51,8	0,01	63,4	0,01	68,3	151	92,7
	Toplam	100,0	0,01	100,0	0,01	100,0	0,01	100,0	126	100,0
4	Konsantre	5,2	0,02	9,4	0,02	3,7	0,07	27,7	34	1,3
	Ara Ürün	5,2	0,02	9,4	0,01	1,8	0,01	4,0	43	1,7
	Artık	89,6	0,01	81,2	0,03	94,5	0,01	68,3	144	97,0
	Toplam	100,0	0,01	100,0	0,03	100,0	0,01	100,0	133	100,0

-38 mikron boyutunda konsantreye yapılan Knelson deneyleri sonucunda;

2 mPa basınçta ağır ürün; 0,01 g/t Pt, 0,01 g/t Pd içer mektedir. Hafif ürünün Pt 0,01 g/t, Pd içeri ğ i 0,01 g/t ol maktadır. Ağır ürün; 43 g/t N, hafif ürün ise 164 g/t N içer mektedir.

3 mPa basınçta ağır ürün; 0,02 g/t Pt, 0,02 g/t Pd içer mektedir.. Hafif ürünün Pt içeri ğ i 0,01 g/t, Pd içeri ğ i 0,01 g/t ol maktadır. Ağır ürünün N içeri ğ i 36 g/t, hafif ürünün N içeri ğ i ise 151 g/t ol maktadır.

4 mPa basınçta ağır ürün; 0,02 g/t Pt, 0,02 g/t Pd içer mektedir. Hafif ürünün Pt içeri ğ i ise 0,01 g/t, Pd içeri ğ i 0,03 g/t ol maktadır. Ağır ürünün N içeri ğ i 34 g/t, hafif ürünün N içeri ğ i ise 144 g/t ol maktadır.

Knelson cihazı ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin toplam PGM içeri ğ i flotasyon deneylerine oranla daha düşük ol maktadır. Bu böl ge cevheri için özgül ağırlık farkına dayalı yöntemler kullanılarak PGM zengileştir mesi ol dukça zordur. Fakat Knelson cihazı ile bir ön zengileştir me yapılabil mektedir.

Tez çalış ması sırasında yine Mı ğ la böl gesinde yer alan Dal aman Çayı'na ait numune ile de deneyler yapıl mıştır. Dal aman Çayı'na ait numune sarsıntılı masa da bir ön zengileştir me yapılarak bir konsantre (ağır ürün) ve bir artık (hafif ürün) alınmıştır. Konsantre ve artığ a ayrı ayrı Knelson deneyleri yapıl mıştır. Dal aman Çayı'na ait konsantrenin Knelson deneyi sonuçları Tablo 3.12'de verilmiştir. Dal aman Çayı'na ait artığ ın Knelson deneyi sonuçları Tablo 3.13'de verilmiştir.

Tablo 3.12: Dalaman Çayı Konsantresine Uygulanan Knelson Deneyleri

Su Basıncı, mPa	Ürünler	Miktar, %	Pt		Pd		Au		Ni	
			g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V
3	Ağır	11,5	0,02	11,5	0,03	28,1	0,08	34,2	1178	13,6
	Hafif	88,5	0,02	88,5	0,01	71,9	0,02	65,8	970	86,4
	Toplam	100,0	0,02	100,0	0,01	100,0	0,03	100,0	994	100,0

Tablo 3.13: Dalaman Çayı Artığına Uygulanan Knelson Deneyleri

Su Basıncı, mPa	Ürünler	Miktar, %	Pt		Pd		Au		Ni	
			g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V	g/t	%V
3	Ağır	11,3	0,02	6,0	0,01	11,3	0,27	63,2	1127	12,5
	Hafif	88,7	0,04	94,0	0,01	88,7	0,02	36,8	1005	87,5
	Toplam	100,0	0,04	100,0	0,01	100,0	0,05	100,0	1019	100,0

Dalaman Çayı konsantresi ve artığına -74 mikron boyutunda 3 mPa basınçta Knelson deneyleri yapılmıştır. Dalaman Çayı konsantresine ait ağır ürün; 0,02 g/t Pt, 0,03 g/t Pd, 1178 g/t Ni içeriktir. Hafif ürün ise 0,02 g/t Pt, 0,01 g/t Pd, 970 g/t Ni içeriktir. Dalaman Çayı artığına ait ağır ürünün Pt içeriği 0,02 g/t, Pd içeriği 0,01 g/t, Ni içeriği ise 1127 g/t olmaktadır. Hafif ürün 0,04 g/t Pt, 0,01 g/t Pd, ve 1005 g/t Ni içeriktir.

Knelson deneyleri sonucunda Dalaman Çayı'na ait numunenin PGM içeriğinin düşük olduğu görülmüştür. Knelson cihazı ile yapılan deneyler sonucunda PGM kazanımında büyük bir artış görülmektedir.

3.5 Kimyasal Zenginleştirme Deneyleri

Fiziksel ve fizikokimyasal yöntemlerle PGM kazanımının incelenmesinden sonra, Muğla bölgesi cevherinin artıklarında bulunan Nikel metalinin kazanım için çözündürme deneylerinin yapılması öngörülmüştür. Bu konuda daha önce birçok çalışma yapılmıştır. Muğla bölgesi artıklarının Nikel içeriği %0,23'dür. Çözündürme deneylerinde tane boyutu, sıcaklık, asit konsantrasyonu ve süre gibi parametrelerin etkileri incelenmiştir. Deneyler sonucunda optimum çözündürme koşullarının belirlenmesi öngörülmüştür.

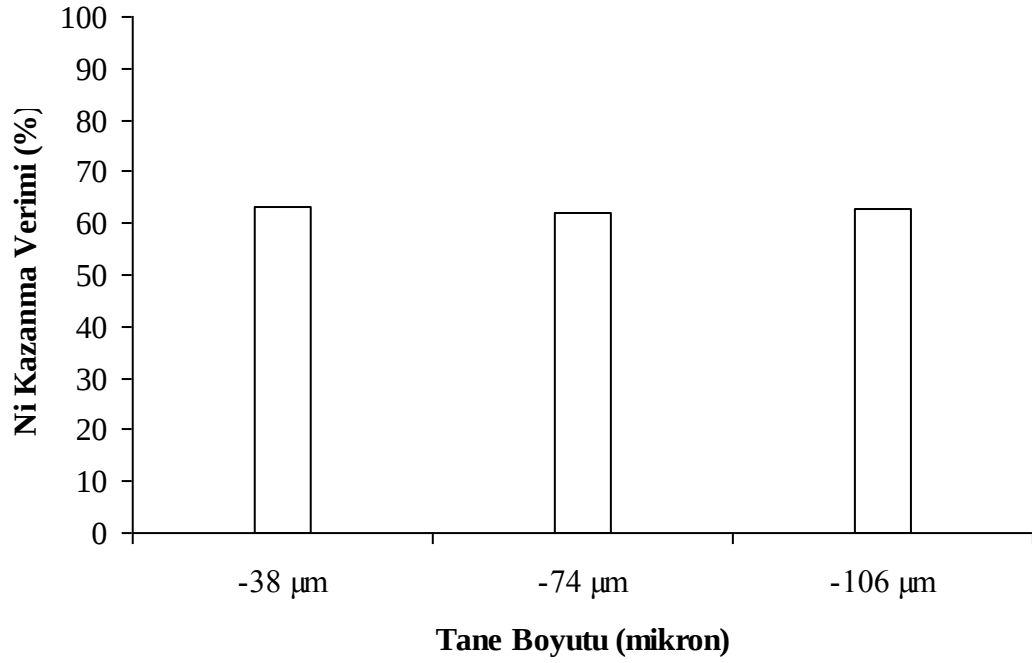
3.5.1 Tane Boyutunun Çözündürme Verimine Etkisini İncelenmesi

Muğla bölgesi artıklarına öncelikle sabit koşullarda, tane boyutu değiştirilerek çözündürme deneyleri yapılmıştır. Tane boyutunun çözündürmeye etkisi incelenmiştir. Farklı tane boyutları için deney sonuçları Tablo 3.14'de verilmiştir. Tane boyutu ile çözündürme verimi arasındaki ilişki Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

- Tane boyutu : 38, 74, 106 mikron
- Sıcaklık : 90° C
- Katı/Sıvı Oran : 1/10
- Malzeme Miktarı : 25 g
- Çözündürme Süresi : 2 saat
- Karıştırma Hızı : 500 devir/dakika
- Asit Grnsi : H_2SO_4
- Asit Konsantrasyonu : 120 g/L

Tablo 3 14: Tane Boyutunun Çözündürme Verimine Etkisinin İncelenmesi

Tane Boyutu (mikron)	Ağırlık Kaybı, (%)	Çözünme Verimi (%)
-38	15,50	63,30
-74	27,55	62,00
-106	27,53	62,80



Şekil 3 7: Tane Boyutunun Çözündürme Verimine Etkisi

Yapılan deneyler sonucunda çözünme verilerinin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle diğer deneylerde -106 mikron boyutunda numune ile çalışılmıştır. Bu sonuçlar altında daha küçük boyutlara cevheri öğütmeye ihtiyaç yoktur. Daha küçük boyutlara cevheri öğütme üretimi maliyetlerini oldukça arttıracaktır.

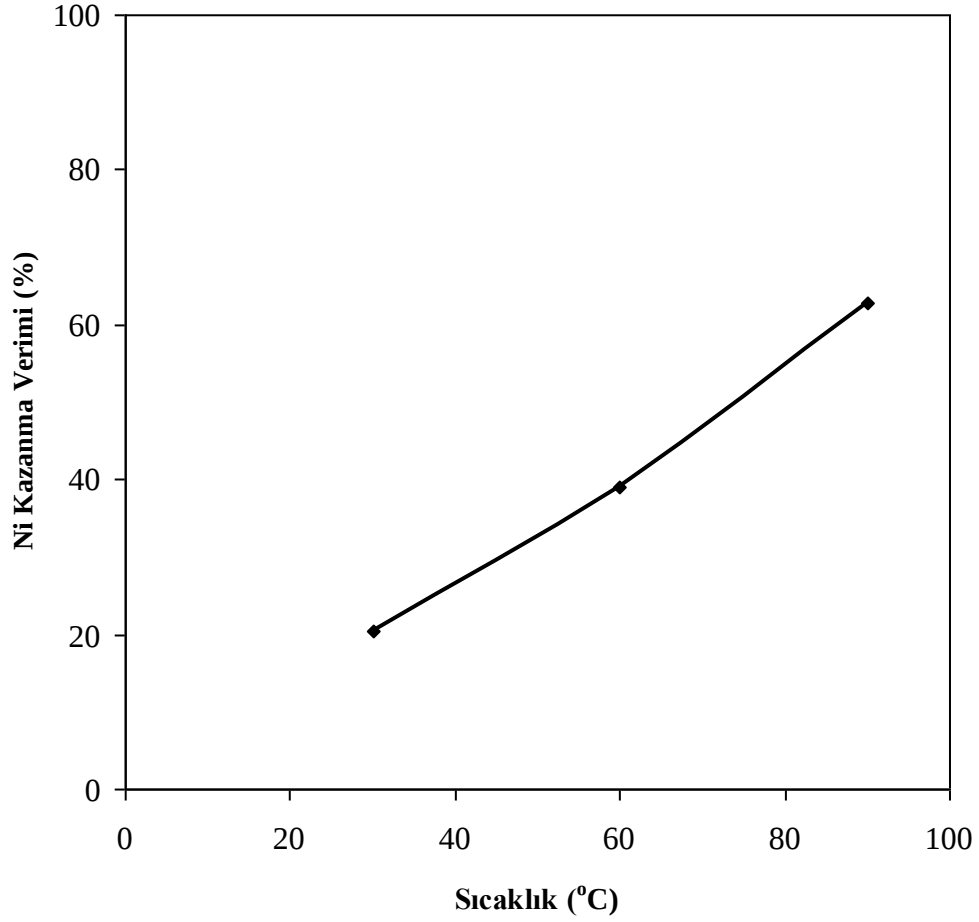
3.5.2 Sıcaklığın Çözündürme Verimine Etkisinin İncelenmesi

Tane boyutunun incelenmesinden sonra, sıcaklığın çözündürme verimine etkisi incelenmiştir. Diğer koşullar sabit tutularak farklı sıcaklıklarda çözündürme deneyleri yapılmıştır. Farklı sıcaklıklarda yapılan deney sonuçları Tablo 3.15'te verilmiştir. Sıcaklığın çözündürme verimine etkisi Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

- Tane Boyutu : -106 mikron
- Sıcaklık : 30, 60, 90 °C
- Katı/Sıvı Oranı : 1/10
- Malzeme Miktarı : 25 g
- Çözündürme Süresi : 2 saat
- Karıştırma Hızı : 500 devir/dakika
- Asit Konsi : H_2SO_4
- Asit Konsantrasyonu : 120 gr/L

Tablo 3.15: Sıcaklığın Çözündürme Verimine Etkisinin İncelenmesi

Çözündürme Sıcaklığı (°C)	Ağırlık Kaybı, (%)	Çözünme Verimi (%)
30	8,91	20,50
60	20,46	39,10
90	22,08	62,70



Şekil 3.8 Sıcaklığın Çözündürme Verimine Etkisi

Farklı sıcaklıklarda yapılan deney sonuçlarına göre sıcaklık arttıkça çözünme verimi de artmaktadır. En yüksek çözünme verimi 90° C de elde edilmiştir. Bu nedenle daha sonraki deneylerde sıcaklık 90° C olarak seçilmiştir.

3.5.3 Asit Konsantrasyonunun Çözündürme Verimine Etkisinin İncelenmesi

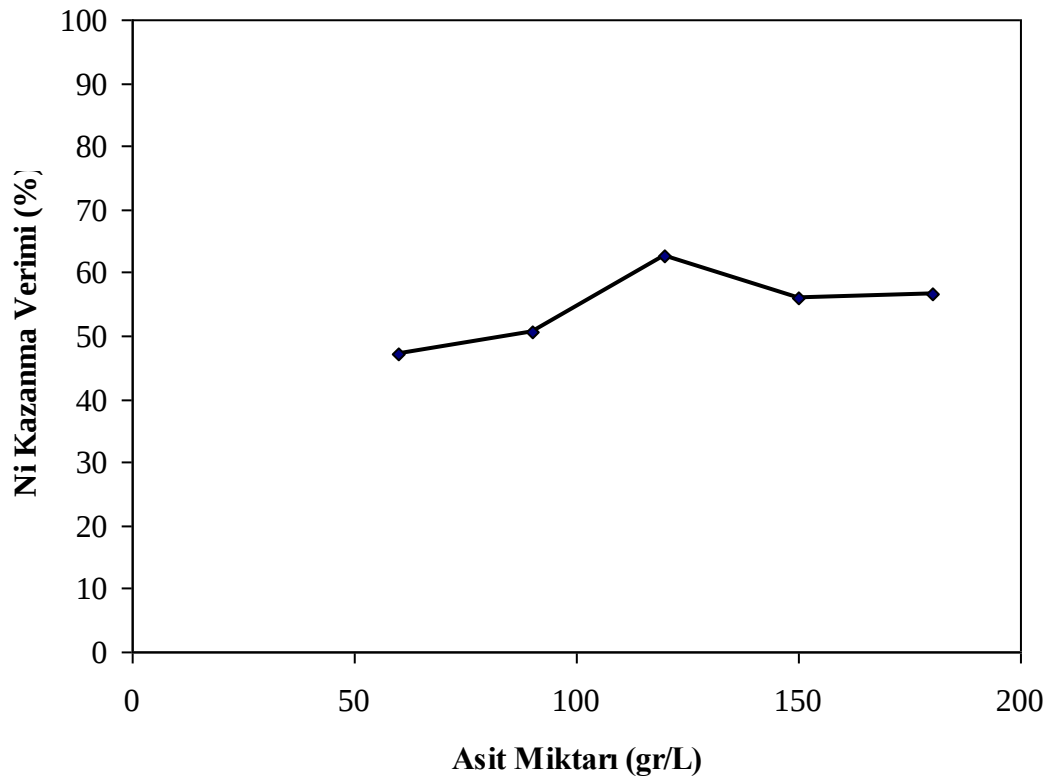
Asit konsantrasyonu da çözünme verimine etki etmektedir. Sıcaklık parametresinden sonra değişik asit miktarlarında deneyler yapılmıştır. Asit konsantrasyonunun çözünme verimine etkisi incelenmiştir. Deney sonuçları Tablo 3.16'da verilmiştir. Asit miktarı ve çözünme verimi arasındaki ilişki Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

- Tane Boyutu : -106 mikron
- Sıcaklık : 90° C
- Katı/Sıvı Oranı : 1/10
- Malzeme Miktarı : 25 g
- Çözündürme Süresi : 2 saat

- Karıştırma Hızı : 500 devir/dakika
- Asit Grnsi : H_2SO_4
- Asit Konsantrasyonu : 60, 90, 120, 150 ve 180 gr/L

Tablo 3.16: Asit Konsantrasyonunun Çözündürme Verimine Etkisi

Asit Miktarı (gr/L)	Ağırlık Kaybı, (%)	Çözündürme Verimi (%)
60	22,08	47,25
90	20,90	50,60
120	27,53	62,60
150	20,17	56,01
180	21,71	56,57



Şekil 3.9 Asit Konsantrasyonunun Çözündürme Verimine Etkisi

Asit konsantrasyonu artırılarak yapılan deneylerde, en yüksek çözündürme verimi 120 gr/L asit konsantrasyonunda %62,60 olmuştur. Bu nedenle daha sonraki deneylerde asit konsantrasyonu olarak 120 gr/L seçilmiştir.

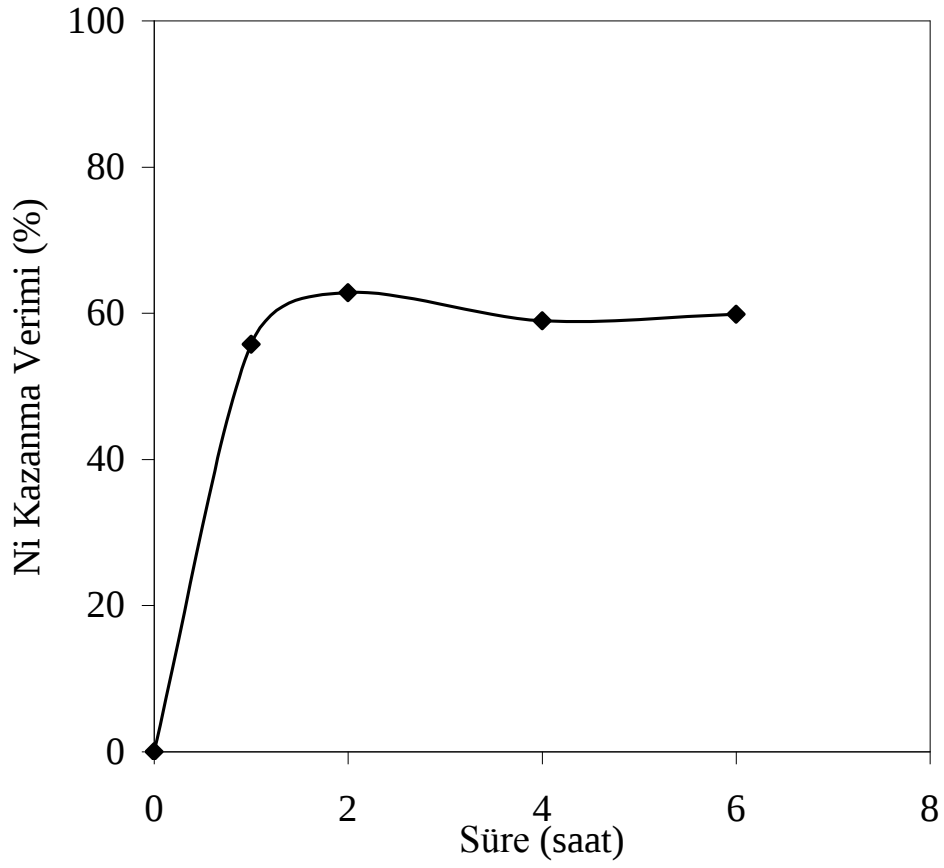
3.5.4 Sürenin Çözündürme Verimine Etkisinin İncelenmesi

Son olarak sürenin çözündürme verimine etkisi incelenmiştir. Deney süresi değiştirilerek çözünme verimine etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçları Tablo 3.17’de verilmiştir. Süreye bağlı olarak çözünme verimleri Şekil 3.10’da gösterilmiştir.

- Tane Boyutu : -106 mikron
- Sıcaklık : 90° C
- Katı/Sıvı Gram : 1/10
- Malzeme Miktarı : 25 g
- Çözündürme Süresi : 1, 2, 4 ve 6 saat
- Karıştırma Hızı : 500 devir/dakika
- Asit Konsi : H₂SO₄
- Asit Konsantrasyonu : 120 gr/L

Tablo 3.17: Sürenin Çözündürme Verimine Etkisinin İncelenmesi

Çözündürme Süresi (saat)	Ağırlık Kaybı, (%)	Çözünme Verimi (%)
1	23,09	55,76
2	27,53	62,70
4	23,77	58,94
6	24,05	59,85



Şekil 3.10: Sürenin Çözündürme Verimine Etkisi

Farklı süreler seçilerek yapılan çözündürme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda sürenin artması çözündürme verimini çok etkilememiştir. Çözündürme süresinin artması çözünme verimini belirli bir süreden sonra arttırmamaktadır. Bu durumun cevherin yapısı yüzünden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4 SONUÇLAR

Tez kapsamında Türkiye'nin farklı bölgelerinden gelen kromit cevherleri Platin, Paladyum, Altın, Gümüş, ve Nikel bakımından incelenmiş ve fiziksel, fizikokimyasal ve kimyasal zenginleştirme yöntemleri uygulanarak değerli metallerin zenginleştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Yapılan kimyasal analizler sonucunda Dalaman Çayı'na ait konsantrenin Pt içeriğinin 0,02 g/t, Pd içeriğinin 0,01 g/t, Au içeriğinin 0,03 g/t ve N içeriğinin 994 g/t olduğu; Denizli bölgesine ait konsantrenin Pt içeriğinin 0,01 g/t, Pd içeriğinin 0,01 g/t, Au içeriğinin 0,01g/t ve N içeriğinin 600 g/t, Bursa bölgesine ait konsantrenin Pt içeriğinin 0,02 g/t, Pd içeriğinin 0,02 g/t, Au içeriğinin 0,03g/t ve N içeriğinin 600 g/t, Kayseri bölgesine ait konsantrenin Pt içeriğinin 0,01 g/t, Pd içeriğinin 0,01 g/t, Au içeriğinin 0,01 g/t ve Ni içeriğinin 400 g/t olduğu tespit edilmiştir. Mığla bölgesine ait konsantrenin kimyasal analizi sonucu; 0,05 g/t Pt, 0,04 g/t Pd, 0,01 g/t Au 100 g/t N olduğu tespit edilmiştir.

- Yapılan kimyasal analizler sonucunda Dalaman Çayı'na ait artıkların 0,04 g/t Pt, 0,01 g/t Pd, 0,05 g/t Au 1019 g/t Au içerdiği; Denizli bölgesine ait artıkların Pt içeriğinin 0,04 g/t, Pd içeriğinin 0,01 g/t, Au içeriğinin 0,01g/t ve N içeriğinin 1200 g/t, Bursa bölgesine ait artıkların Pt içeriğinin 0,02 g/t, Pd içeriğinin 0,05 g/t, Au içeriğinin 0,03g/t ve Ni içeriğinin 2200 g/t, Kayseri bölgesine ait artıkların Pt içeriğinin 0,06 g/t, Pd içeriğinin 0,01 g/t, Au içeriğinin 0,01 g/t ve N içeriğinin 1900 g/t olduğu tespit edilmiştir. Mığla bölgesine ait atıkların kimyasal analizi sonucu; Pt içeriğinin 0,01 g/t, Pd içeriğinin 0,01 g/t, Au içeriğinin 0,03 g/t ve N içeriğinin 2300 g/t olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Mığla bölgesine ait temsili örneğin Cr_2O_3 içeriğinin %48,94; Fe_2O_3 içeriğinin %16,85; SiO_2 içeriğinin %7,49 olduğu belirlenmiştir.

- Mineralojik incelemelerde çoğunlukla kromitin kırıklı bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. Kromitin yanı sıra serpantin grubu mineraller ve talc da bulunmaktadır. Mığla bölgesi cevherinde avaruit minerali gözlenmiştir.

- Knelson ci hazı ile yapılan deneyler sonucunda Mığla bölgesine ait artığın Pt içeriği 0,03 g/t, Pd içeriği ise 0,03 g/t'dur. Knelson ci hazı ile cevhere bir ön zenginleştirme uygulanabilir.
- Mığla bölgesi, Kayseri bölgesi, Bursa bölgesi ve Denizli bölgesi artıklarını ksantat kullanılarak flotasyon deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda Mığla bölgesine ait cevherde kısmi olarak bir zenginleştirme görülmüştür. Mığla bölgesine ait cevherin Pt içeriği 0,16 g/t, Pd içeriği ise 0,08 g/t'a çıkmıştır. Toplam PGM içeriği 0,24 g/t'a ulaşmaktadır. Hatin kazanma verimi %76,6 dır.
- Mığla bölgesine ait artıklara, diethiofosfat ilavesi ile yapılan flotasyon sonucunda, PGM içeriğinde büyük bir artış olmuştur. Flotasyonda Diethiofosfat kullanımı bu bölgede olumlu sonuçlar vermektedir.
- Nikel kazanımına ait yapılan çalışmalarda, en yüksek Nikel çözünme verimlerinin elde edildiği koşullar; -106µm boyutunda, 90 °C sıcaklık, 120 g/L asit konsantrasyonu ve 2 saat çözündürme süresi; olarak saptanmıştır. Bu koşullarda Nikel çözündürme verimi %62,80 olarak tespit edilmiştir.
- Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Kayseri, Denizli, Dalaman Çayı, Bursa ve Mığla bölgelerine ait krom cevherlerinin platin içeriklerinin yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun krom yataklarının oluşum şekline bağlı olabileceği düşünülmektedir. Bu konuda yapılacak çalışmaların artması, değişik bölgelerin krom cevherlerinin incelenmesi daha net sonuçlar alınmasını sağlayacaktır. Günümüzde stratejik metaller olarak değerlendirilen PGM konusunda yeni çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Xiao Z, Laplante, A R**, 2004. Characterizing and Recovering the Platinum Group Minerals - A Review *Minerals Engineering*, **17**, 961-979.
- [2] **Özpeker I.**, 1997. Türkiye Kromit Yataklarının Platin Kümesi ve Bazı Öğeler Açısından Değerlendirilmesi, DPT Projesi, İstanbul, Türkiye.
- [3] **Rao C R M, Reddi G S**, 2000. Platinum Group Metals (PGM); Occurrence, Use and Recent Trends in Their Determination, *Trends in Analytical Chemistry*, **19**, 9, 565-586.
- [4] **Cabri L J.**, 2002. The Platinum Group Minerals. The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum Group Elements, *Canadian Institute of Mining and Metallurgy*, **54**, 13-119.
- [5] **Cabri L J.**, 1981. Platinum Group Elements: Mineralogy, Geology, Recovery, *Canadian Institute of Mining and Metallurgy*, **23**.
- [6] **Bulatovic S**, 2003. Evaluation of Alternative Reagent Schemes for the Flotation of Platinum Group Minerals from Various Ores, *Minerals Engineering*, **16**, 931-939.
- [7] **Platinum Today**, <http://platinum.matthey.com>
- [8] **London Metal Exchange**, <http://www.lme.com>
- [9] **Cornostayev S, Mutanen T**, 2003. The Platinum Group Minerals in chromitites of The Akanvaara Deposit, Northern Finland and in Their Processing Products, *Minerals Engineering*, **16**, 1307-1312.
- [10] **Buchanan L D**, 1988. Platinum Group Element Exploration, Elsevier Press, London.
- [11] **Mhiza A, Powell MS, Knopjes B**, 2004. Differential Classification Of Dense Material in Three Product Cyclone, *Minerals Engineering*, **17**, 573-579.
- [12] **Wesselöjk Q L, Reuter MA, Bradshaw D J, Harris P J**, 1999. The Flotation Behaviour Of Chromite With Respect To The Beneficiation Of UG2 Ore, *Minerals Engineering*, **12**, 1177-1184.
- [13] **Cabri L J, Beattie M, Rudashevsky N S, Rudashevsky V N**, 2005. Process Mineralogy of Au, Pd and Pt Ores From The Skaergaard Intrusion, Greenland, Using New Technology, *Minerals Engineering*, **18**, 887-897.
- [14] **Nel A, Valenta M, Naude N**, 2005. Influence Of Open Circuit Re grind Milling On UG-2 Ore Composition And Mineralogy At Impala's UG-2 Concentrator, *Minerals Engineering*, **18**, 785-790.
- [15] **Temur, S**, 2001, Metalik Maden Yatakları, Nobel Yayın, Ankara
- [16] **Devlet Harlama Enstitüsü**, 2001, 8. 5 Yıllık Kalkınma Planı, Ankara
- [17] **Minerals Handbook**, 1998-1999
- [18] **Çağatay, A, Altun, Y ve Arman, B**, Mayıs 1981, The Mineralogy of Çal dağ (Manisa Turgutlu) Lateritic Iron-Nickel-Cobalt Deposits, MTA
- [19] <http://www.enickel.co.uk/reports.htm>
- [20] <http://www.knelson.com>

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Mustafa Anıl 1980 yılında İstanbul’da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini İstanbul’da tamamladıktan sonra 1998 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü’ne girmiştir. 2002 yılında Maden Mühendisi olduktan sonra, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Yüksek Lisans Programı’na başlamıştır. Halen Cevher Kömür Hazırlama ve Değerlendirme Anabilim Dalında yüksek lisans tez çalışmasını sürdürmektedir.