

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALTIN KONSANTRESİNDEN DOĞRUDAN LIÇ
İLE ALTIN ELDESİ

Zehra Ebru SAYIN

Haziran, 2010
İZMİR

ALTIN KONSANTRESİNDEN DOĞRUDAN LİÇ İLE ALTIN ELDESİ

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

Zehra Ebru SAYIN

Haziran, 2010

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ZEHRA EBRU SAYIN, tarafından **DOÇ. DR. TURAN BATAR** yönetiminde hazırlanan “**ALTIN KONSANTRESİNDEN DOĞRUDAN LİÇ İLE ALTIN ELDESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Turan BATAR

Yönetici

Prof. Dr. Ümran YÜKSEL

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Doç. Dr. Erol KAYA

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Doktora çalışma konumun belirlenmesinde büyük katkısı olan, gerek proje konusu dahilinde ki çalışmalarımı yönlendirmede, gerekse mesleki gelişimimle ilgili konularda bilgi ve tecrübelerini paylaşarak her zaman destek olan, emeği geçen Sayın Danışman Hocam Doç. Dr. Turan BATAR'a teşekkür ederim.

Konu ile ilgili bilgilerini ve tecrübesini paylaşan çalışmalarına yön veren destek olan tüm çalışmalarım boyunca manevi olarak ikinci danışmanım gibi hissettiğim Sayın Hocam Doç. Dr. Erol KAYA'ya teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım süresince, çalışmalarımı yönlendiren ve katkıda bulunan doktora tez izleme komitesi üyesi Hocalarım Sayın Prof. Dr. İlknur CÖCEN ve Sayın Prof. Dr. Ümran YÜKSEL'e teşekkür ederim.

Mesleki gelişimime büyük katkısı olan kendisinin teşviki ve katkılarıyla doktora başladığım kıymetli Hocam Prof. Dr. Eyüp SABAH'a teşekkür ederim.

Doktora çalışmamı 107M486 nolu proje ile maddi olarak destekleyen TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalara konu olan altın cevheri numunesinin teminini sağlayan TÜPRAG Metal Madencilik San. ve Tic. A.Ş.'ye, liç çalışmalarımdayaptıkları yardımlardan dolayı Koza Altın İşletmeleri A.Ş.'ye, çalışanlarından Maden Yük. Müh. Barış SAYINER'e ve Mustafa TAVASLIOĞLU'na, karakterizasyon çalışmalarının yapılmasına destek veren Adaçal Endüstriyel Mineraller Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım esnasında benimle laboratuvarda sabahlayan, ilgisini ve desteğini esirgemeyen can yoldaşım, hayat arkadaşım sevgili eşim Maden Mühendisi Ümit SAYIN'a teşekkür ederim. Sevgi ve ilgileriyle beni bugünlere getiren, bütün hayatım boyunca sürekli yanımda olan, eğitim ve yaşamım için hiçbir maddi ve

manevi desteği esirgemeyen annem Hava ERKAN ve babam Yılmaz ERKAN'a teşekkür ederim. Yapıcı eleştirileri ile destek olan İzmir Şehir ve Bölge Planlama Odası Başkanı kardeşim Gökhan Hüseyin ERKAN'a, çevresel konularda destek veren kardeşim Çevre Müh.Canan ERKAN teşekkür ederim.

Ayrıca doktora çalışmalarımın, mineralojik değerlendirilmesinde büyük katkıları olan Yrd. Doç. Dr. Tolga OYMAN'a ve Uzm. Dr. Hatice YILMAZ'a teşekkür ederim.

TÜBİTAK projemizdeki çalışma arkadaşım Maden Yük. Müh. Baran TUFAN'a ilgi, özveri ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşım Araş. Gör. Dr. İlknur KAFTAN'a ilgi, özveri ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Numune hazırlama çalışmalarımda hiçbir fedakarlıktan kaçınmayarak destek veren Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü öğrencilerinden Enis KURT, Mehmet ÖZDEMİR, Fatih ÖZMEN, Reha SEZEN ve Ertuğrul TORUN'a teşekkür ederim.

Hayata bir de diğer pencereden bak diyerek çalışmalarımın yorulduğum anlarda, minicik gözlerindeki ışıltıyla bana güç veren sevgili oğlum Sarper SAYIN'a teşekkür ederim.

Zehra Ebru SAYIN

ALTIN KONSANTRESİNDEN DOĞRUDAN LIÇ İLE ALTIN ELDESİ

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, önemli altın potansiyeline sahip yurdumuzdaki altın cevherlerinin daha verimli bir şekilde, çevre dostu yöntemlerle işletilebilirliğini araştırmaktır. Proje kapsamında, cevher içindeki altının doğrudan liç yöntemiyle kazanılması yerine, birinci aşamada gravite ve flotasyon teknikleri ile kazanılması, ikinci aşamada ise tane boyutuna, konsantre elde etme şekline, işlem süresine göre mikrodalga enerji kullanılarak ürünlerin oksidasyonu sağlanmıştır. Son aşamada ise hidrometalurjik yöntemlerle altının kazanımı araştırılmıştır. Cevher, gravite ve flotasyon ön konsantrelerine uygulanan mikrodalga ön işlemleri ile uygun parametreler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar cevher ve ön konsantrelere uygulanarak, altın, mikrodalga öncesi ve mikrodalga sonrası hidrometalurjik yöntemlerle kazanılmıştır. Mikrodalga süresinin, sodyum siyanür (NaCN) konsantrasyonunun ve tüketiminin, katı/sıvı oranının, tane boyutunun, liç süresinin, konsantre elde etme şeklinin, altın çözünme verimleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Siyanür işleminin tüm cevher yerine daha az miktardaki farklı yöntemlerle hazırlanmış altın ön konsantrelerine uygulanması ve mikrodalga ön işlemine tabi tutulması çalışmayı benzerlerinden farklılaştırmaktadır.

Hidrometalurjik yöntemin cevher yerine ön konsantrelere uygulanması ve mikrodalga kullanımı daha az siyanür tüketimini gündeme getirmiştir. Böylece, siyanürün çevreye olan olumsuz etkileri de bir miktar azaltılmıştır. Hidrometalurjik işlem öncesi uygulanan mikrodalga ile muamele ön işlemi tüvenan cevher yerine doğrudan iki farklı özellikteki konsantrelere uygulandığından, enerji tüketimi daha az, liç süresi daha kısa ve metal kazanma verimi daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Altın, siyanür liçi, liç, mikrodalga enerji, flotasyon, Knelson konsantratör.

GOLD RECOVERY FROM GOLD CONCENTRATES WITH LEACHING

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the opportunities for environmentally friendly and more efficient methods of operating gold ores in our country which has significant gold potential. By the Project, instead of acquiring gold in the ore by direct leaching method, at the first phase it has been acquired by gravity and flotation techniques; at the second phase oxidation of products have been provided by using microwave energy according to grain size, way of concentrating and process time. At the last phase, gold acquisition by hydrometallurgical methods has been investigated. Optimum results have been obtained by microwave pre-process applied to ore, gravity and flotation pre-concentrates. As results have been applied to ore and pre-concentrates, gold has been acquired by hydrometallurgical methods before and after microwave. Effects of microwave time, sodium cyanide (NaCN) concentration and consumption, solid/liquid proportion, grain size, leaching time, type of concentrating on gold dissolution efficiencies have been investigated. Applying cyanide process on lesser gold pre-concentrates prepared by different methods rather than applying on the whole ore, and application of microwave pre-process differentiates this study from others.

Applying hydrometallurgical method on pre-concentrates instead of ore and using microwave have resulted in less cyanide consumption. So, negative environmental effects of cyanide have been lessened for some amount. Because microwave pre-process before hydrometallurgical process is applied directly on two different concentrates instead of ungraded ore, energy consumption has been lessened, leaching time has been shorter and metal gain has been more efficient.

Keywords: Gold, cyanide leaching, leaching, microwave energy, flotation, Knelson concentrator.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	v
ABSTRACT.....	vi
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ – GENEL BİLGİLER.....	5
2.1 Altın.....	5
2.2 Altının Özellikleri.....	6
2.3 Altının Doğada Bulunuşu.....	7
2.4 Altının Fiziksel Özellikleri.....	7
2.5 Altının Kimyasal Özellikleri.....	7
2.6 Altın Mineralleri.....	9
2.7 Önemli Altın Yatak Tipleri ve Oluşum Süreçleri.....	10
2.7.1 Hidrotermal Altın Yatakları.....	10
2.7.2 Silika –Karbonatlı (Listvenitik) Kayaçlarla İlişkili Altın Yatakları.....	10
2.7.3 Plaser ve Fosil Plaser Tip Altın Yatakları.....	11
2.7.4 Metamorfik Kayaçlar İçindeki Altın Yatakları.....	12
2.7.5 Epitermal Altın Yatakları.....	12
2.7.6 Mesotermal Altın Yatakları.....	16

2.7.6.1 Porfiri Altın Yatakları.....	16
2.7.6.2 Damar Tipi Altın Yatakları.....	17
2.7.6.3 Altın Skarnları.....	17
2.7.7 Hipotermal Altın Yatakları.....	17
2.8 Altının Başlıca Kullanım Alanları.....	18
2.9 Dünya Altın Madenciliği.....	19
2.10 Türkiye’de Altın Madenciliği.....	21
BÖLÜM ÜÇ – ALTIN ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ.....	23
3.1 Altın Üretim Teknolojisi.....	23
3.2 Fiziksel ve Fizikokimyasal Yöntemler.....	29
3.3 Kimyasal Yöntemler.....	29
3.4 Gravite Yöntemler ile Zenginleştirme.....	30
3.4.1 Knelson Gravite Konsantratörü.....	31
3.4.2 Falcon Gravite Konsantratörü.....	32
3.4.3 Multi Gravite Seperatör (MGS)	32
3.5 Amalgamasyon Yöntemi.....	33
3.6 Flotasyon Yöntemi.....	33
3.7 Siyanürizasyon Yöntemi.....	34
3.8 Diğer Yöntemler.....	34

BÖLÜM DÖRT – LİÇ36

4.1 Siyanür ve Altın.....	36
4.2 Siyanürün Altın Kazanım Mekanizması.....	37
4.3 Siyanür Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları.....	43
4.4 Oksijen Basıncı Altında Alkali Ortamda Siyanürleştirme.....	44
4.5 Karbon ile Çözündürme (CIP).....	44
4.6 Altının Çözültiden Kazanılması.....	44
4.7 Siyanürlü Çözültinin Artırılması ve Yeniden Kullanılması.....	45
4.8 Altın Kazanımında NaCN Liçine Örnek Çalışmalar ve Uygulamalar.....	46
4.9 Siyanür ve Çevre.....	51
4.10 Siyanür.....	51

BÖLÜM BEŞ – MİKRODALGA ENERJİ53

5.1 Mikrodalga Fırınların Tarihçesi.....	53
5.2 Mikrodalga Enerji.....	54
5.3 Mikrodalga ile Muamelenin Mekanizması.....	56
5.4 Mikrodalga Fırınların Çalışma Prensipleri.....	60
5.5 Mikrodalga Enerji ve Geleneksel Fırınlar.....	62
5.6 Mikrodalga ve Altın.....	62
5.7 Mikrodalga Enerjinin Kullanım Alanları.....	63
5.7.1 Metalurjik Proseslerde Mikrodalga Kullanımı.....	65
5.7.2 Altın Kazanımında Mikrodalga Uygulamaları.....	69

5.7.3 Atık Aktif Karbondan Altın Elde Etme İşlemleri	69
5.7.4 Mikrodalğanın Öğütme İşlemine Etkisi.....	70
5.7.5 Mikrodalgada Metal Oksitlerin Azalmasına, Karbotermik Desteği.....	71
5.7.6 Mikrodalğanın Kurutma ve Susuzlandırmaya Yardımı.....	71
5.7.7 Refrakter Altın Konsantresine Mikrodalğanın Ön İşlem Olarak Uygulanması.....	71
5.7.8 Aktif Karbonun Mikrodalga Desteği ile Geri Kazanımı.....	72
5.7.9 Daha Önce Yapılan Çalışmalar	72
5.8 Minerallerin ve İnorganik Ürünlerin Mikrodalga ile Isıtılması.....	75
5.9 Mikrodalgayı Enerjiye Dönüştürmede Etkin Olan Faktörler	81
5.10 Mikrodalga Isıtmanın Avantaj ve Dezavantajları.....	82
BÖLÜM ALTI – EFEMÇUKURU ALTIN MADENİ	84
BÖLÜM YEDİ – DENEYSEL ÇALIŞMALAR	86
7.1 Tesisin ve Cevher Sahasının Yeri	86
7.2 Numune Alma ve Boyut Küçültme Çalışmaları	87
7.3 Cevherin Karakterizasyon Çalışmaları	89
7.3.1 Altın Numunelerinin Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS).....	89
7.3.2 Altın Numunelerinin Elek Metal Analizi	90
7.3.3 SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Analizleri	92
7.3.4 Altın Numunelerinin Mineralojisi ve Petrografisi	93
7.3.4.1 Sülfürlü Mineraller	93

7.3.4.2 Oksitli Mineraller	97
7.3.5 X-Ray Difraksiyon (XRD) Analizleri	97
7.3.6 Öğütme Parametreleri	98
7.3.7 Tane Boyut Analizi	99
7.4 Knelson Gravite Konsantratör Çalışmaları	100
7.4.1 Knelson Konsantratör Testlerinde Tane Boyutunun ve G Kuvvetinin Etkisi	101
7.4.2 Knelson Konsantratör Testlerinde Su Basıncının Etkisi	108
7.5 Multi-Gravite Seperatörü (MGS) Uygulamaları	110
7.6 Flotasyon Deneyleri	110
7.7 Gravite ve Flotasyon Ön Konsantresinin Karakterizasyon Çalışmaları.....	111
7.7.1 Konsantrelerin Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS)	111
7.7.2 Konsantrelerin X-Ray Difraksiyon (XRD) Analizleri	112
7.7.3 Ön Konsantrelerin Tane Boyut Analizi	113
7.8 Numune Hazırlama	114
7.9 Mikrodalga Çalışmaları	116
7.9.1 Cevhere Yapılan Mikrodalga İşlemleri	117
7.9.2 Konsantrelere Yapılan Mikrodalga İşlemleri	119
7.9.3 Mikrodalga Konsantrelerinin Karakterizasyon Çalışmaları	122
7.9.3.1 Konsantrelerin X-Ray Difraksiyon (XRD) Analizleri	122
7.9.3.2 Konsantre Örneklerinin Mineralojisi, Petrografisi	123
7.9.3.3 Konsantrelerin SEM Görüntüleri	127
7.9.3.4 Konsantrelerin Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi.....	130
7.10 Liç Çalışmaları.....	130

7.10.1 Cevher Tane Boyutu Değişimine Göre Yapılan Liç Çalışmaları.....	134
7.10.2 Flotasyon Ön Konsantresi ile Yapılan Liç Çalışmaları.....	140
7.10.3 Gravite Ön Konsantresi ile Yapılan Liç Çalışmaları.....	144
7.10.4 Mikrodalga Çalışmaları	149
7.10.4.1 Cevher Üzerinde Mikrodalga Çalışmaları.....	149
7.10.4.2 Konsantreler Üzerinde Mikrodalga Çalışmaları	151
7.10.5 Mikrodalğanın Liç Çalışmalarında Siyanür Tüketim Etkisi.....	156
BÖLÜM SEKİZ – SONUÇLAR	160
KAYNAKLAR	165

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Anadolu, zengin maden kaynakları sayesinde, uygarlıklar tarihinde her zaman madenciliğin beşiği ve öncüsü olmuştur. Dünyadaki ilk bakır, kurşun ve demir maden işletmesi ile ilk metalurjik uygulama Anadolu'da yapılmıştır. Altından yapılmış süs eşyaları da MÖ 5000 yıllarında Anadolu'da kullanılmaya başlanmıştır. Dünyada ilk altın para MÖ 700 yıllarında Salihli-Sart yöresinde hüküm süren Lidya Kralı Krezüs tarafından basılmıştır. Osmanlılar dönemi boyunca işletilen altın-gümüş madenleri hazine için zenginlik kaynağı olmuştur. 1914 yılında 1. Dünya Savaşı'nın başlamasıyla birlikte durdurulan Çanakkale-Kartaldağı-Astyra madeni Anadolu'da işletilen son altın madenidir. Cumhuriyet döneminde, 1933'de kurulan ilk madencilik kurumu Altın Arama ve İşletme İdaresi'dir (Devlet Planlama Teşkilatı [DPT], 2001).

1970'li yıllardan itibaren yükselen bir trend izleyen dünya altın madenciliğinde, epitermal, porfiri ve listvenit tipi yataklardan yapılan üretim çok büyük önem kazanmıştır. Batı Anadolu'nun epitermal cevherleşmeler açısından önem taşıyan jeotermal sistemler bakımından zengin olması, ayrıca, epitermal altın yataklarının eser element olarak önem taşıyan Sb-As-Hg cevherleşmelerinin yaygın olması; Doğu Karadeniz bölgesindeyse, altın yatakları açısından önemli olan masif sülfür ve porfiri yataklarının bulunması; Orta ve Doğu Anadolu'da listvenitlerle yakından ilgili ofiyolitlerin geniş alanlar kaplaması, topraklarımızın, altın oluşumlarının yerleşmesi için jeolojik açıdan çok elverişli olduğunu göstermektedir. Bu jeolojik renklilik ve metalojenik çeşitlilik üzerine, Anadolu madencilik tarihinde önemli bir yeri olan antik altın işletmelerini yerleştirdiğimizde Anadolu altın madenciliği açısından gerçekten çekici bir hale gelmektedir (DPT, 2001).

Tarihin eski çağlarından beri insanların ilgisini çekmiş, devletlerin gelişmesinin ve zenginliğinin ölçüsü olan altın asırlardır dünya ekonomisine, ticarete önemli katkılarda bulunmuştur ve bulunmaktadır. İlk çağlardan itibaren ticarete bir ödeme aracı olmuş, süs eşyası olarak gündelik hayatta yer edinmiş, düzenli ekonomilerin gelişmesine bağlı olarak da dünya finans sisteminde merkez bankalarının altın stoğu tutması sayesinde önemli rol üstlenmiştir. İlk çağlarda altın bir toplumun

gelişmişliğini gösteren en önemli göstergelerden birisiydi. Altın zenginlik ve refahla özdeşleştirilmisti. Geniş altın yataklarına sahip olmak, büyük miktarda altın stoğuna sahip olmak, para birimi olarak altın para kullanmak bir ülkenin diğer ülkelere karşı üstünlük kurmasının aracıydı. Ekonomilerin giderek gelişmesi nedeniyle altın siyaset ve ekonomide daha az rol üstlenmiş daha çok endüstriyel ve takı kullanımına yönelinmiştir. Ama bu durum, altının insanların gözündeki değerini etkilememiştir. Yaşanan kriz ortamlarında altın hala insanların birikimlerini tutabilecekleri güvenli liman görevini korumaktadır. Savaş zamanlarında altın fiyatlarının büyük artışlar bunun bir göstergesidir (Sarıoğlu, 2009).

Günümüz altın madenciliğinde cevherlerden altın-gümüş üretimi, fiziksel, kimyasal ve metalurjik yöntemlere göre gerçekleştirilmekte olup uygulanacak yöntemin belirlenmesinde, cevher yatağının türü, tenörü ve yapısal özellikleri dikkate alınmaktadır (Yıldız, 2010).

Öğütme, yıkama, gravitasyon ve flotasyon gibi cevher zenginleştirme proseslerinin olumlu sonuç verdiği serbest ve iri altın taneleri içeren plaserler ile 30-40 mikrondan daha iri tane boyutunda altın serbestleşmesinin sağlanabildiği cevherler için fiziksel yöntemler yeterli olmakta, son ürün eldesinde ergitme işleminden yararlanılmaktadır (DPT, 2001).

Kompleks ve bazı epitermal cevherlerde olduğu gibi, altının, diğer minerallerin kafes yapılarına dağıldığı veya kuvars kapanımları içinde çok küçük tane iriliğinde bulunduğu cevherler kimyasal ve metalurjik prosesler sonucunda değerlendirilebilmektedir. Üretim, genelde cevherin doğrudan veya flotasyon, kavurma gibi ön hazırlama işlemlerinden geçirildikten sonra uygun çözücüyle muamele edilerek katı fazdaki altının sıvı faza özütlenmesi ve sıvı fazdan geri kazanılması ile mümkündür (Yıldız, 2010).

Cevherdeki altının kimyasal çözünme ve difüzyon yoluyla sıvı faza özütlenmesine olanak sağlayan olan amalgamasyon ve siyanürleme ile bakteriyel, tiyoüre ve asit özütleme gibi yöntemlerden yalnız ilk ikisi tarihsel süreç içinde ve günümüzde

endüstriyel boyutlu uygulama alanı bulmuştur. Diğer yöntemlerin geliştirilmesine yönelik araştırmalar halen sürdürülmektedir. Altın madenciliğinde bilinen eski yöntemlerden olan amalgamasyon, altının civa ile bileşik yaparak özütlenmesidir. Bu yöntemin uygulanabilirliği, altının yüzey verebilecek irilikte olmasını ve amalgamasyonu olumsuz yönde etkileyen arsenik, antimuan, bizmut ve diğer sülfürlü minerallerin ortamda bulunmamasını gerektirmektedir. Günümüzde daha çok nabit altın içeren cevherlerin gravimetrik yolla zenginleştirilmiş konsantrelerine uygulanan bu yöntem, alternatif olarak siyanürleme yönteminin geliştirilmesi ve civa ile çalışmanın çok daha özel koşullar gerektirmesi gibi nedenlerle terk edilmiştir (Yıldız, 2010).

Bu çalışmanın amacı, önemli altın potansiyeline sahip yurdumuzdaki altın cevherlerinin daha verimli şekilde ve çevre dostu yöntemlerle işletilmesine yöneliktir. Günümüzde dünyadaki altın cevherlerinin yaklaşık %83'ü alkali siyanür çözeltisi ile liç işlemi uygulanarak zenginleştirilmektedir (Anonim, 2008). Altın cevherlerinden doğrudan siyanür çözeltisi ile yığın ya da tank liçi yerine, cevher içindeki altının, birinci aşamada, gravite (Knelson Gravite Seperatör, Multi Gravite Seperatör) ve flotasyon teknikleri kombinasyonu ile zenginleştirilmesi ve ikinci aşamada, elde edilen altın ön konsantrelerin önce mikrodalga enerji kullanılarak oksitlenmesi ardından hidrometalurjik yöntemlerle kazanılması bu çalışmanın özünü oluşturmaktadır. Böylece liç kinetiğinin ve veriminin artırılması araştırılmıştır. Mikrodalga enerji kullanımı bu çalışmayı yapılan diğer çalışmalardan farklı bir konuma taşıyacaktır.

Çalışmada, mikrodalga enerji tüvenan cevher yerine doğrudan konsantre cevhere ön işlem olarak uygulanacağından, enerji tüketiminin daha az, liç süresinin daha kısa ve metal kazanma veriminin daha yüksek olması beklenmektedir. Siyanür işleminin tüm cevhere uygulanmasının aksine daha az olan altın konsantresine uygulanması, daha az siyanür kullanımını gerektirecektir. Böylece, siyanürün çevreye olan olumsuz etkileri de büyük oranda azaltılmış olacaktır.

Yapılan araştırmalar mikrodalga teknolojisinin, özellikle liç süresini kısalttığı, kıymetli metal kazanma verimini arttırdığı ve mikrodalga enerji ile muamele edilmiş cevherlerin reaksiyon hızlarının, muamele edilmemiş olanlara nazaran daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga ile muamele işlemi genellikle tüvenan cevhere, liç öncesinde çözünmeyi kolaylaştırmak üzere önilem olarak uygulanmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Flotasyon – gravite yöntemler – mikrodalga enerjisi – liç kombinasyonlarının düzenlenerek elde edilecek yeni yöntem ülkemizde bulunan diğer flotasyon ile yözdürülebilir altın yatakları için alternatif zenginleştirme yöntemidir.

Tez çalışması ile yukarıda belirtilen durumlara istinaden siyanür kullanımından vazgeçilmemiş ancak çevreyi de göz ardı etmeyen bir prosedür ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışmada öncelikle cevherin tane boyutuna göre optimum liç şartları tespit edilmeye çalışılmış ve elde edilen sonuçlar ile proses altın verimleri çözücü tüketimi bazında karşılaştırılmıştır. Sodyum siyanür (NaCN) konsantrasyonu, katı/sıvı oranı, tane boyutu, liç süresinin altın çözünme verimleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca tane boyutuna, konsantr elde etme şekline, işlem süresine göre mikrodalga enerjide kullanılarak liçe etkisi araştırılmıştır.

BÖLÜM İKİ

GENEL BİLGİLER

2.1 Altın

İnsanoğlunun madenleri keşfetmesi 10-12 bin yıl öncesine dayanmaktadır. Bu süreç içerisinde altın, insanoğlunun metal olarak tanıdığı ilk element olmuştur. Altınla olan tanışıklığın bu kadar eskiye dayanması, insanın ona karşı olan tutkusunda ve hevesinde azalmaya hiç ama hiç yol açmamıştır. Altın, yumuşaklığı, herhangi bir zor işlem gerektirmeden kolay şekil alabilmesi, hemen hemen hiç kaybolmayan parlak sarı rengi nedeniyle insanların ilgisini her dönem çekmeyi başarmıştır. Mal ve hizmet karşılığında ödenecek bir bedel olarak kabul edilmeden çok önce altın, eski Yunanlı, Asurlu, Mısırlı ve Etrüsklüler tarafından benzersiz sanat eserleri yapımında kullanılmıştır. Önceleri tanrısallık simgesi sayılan ve bu yüzden de tanrılara sunulan adaklara malzeme olan altın, tanrısallığın yerini siyasal iktidara bırakmasıyla, fendi değiştirmiş ve kralların madeni olmuştur. Doğada oldukça saf halde bulunan altının neolitik ve kalkolitik dönemlerde önemi artmış, madencilik teknikleriyle toprak altından çıkarılmak yerine genellikle daha kolay bir şekilde toprak yüzeyinden elde edilmiştir. Alüvyon içindeki bu doğal altın %90-99 altın ve %1-10 gümüş içerir. Anadolu Medeniyetleri Müzesi'nde sergilenen buluntular MÖ 6000'li yıllarda Cilalı Taş Devri insanının altın, bakır ve demir gibi madenlerle ilgilendiğini gösterir (Habashi, 2005).

Mısır MÖ 1500'lerde tam bir altın şehri idi ve MÖ 1300'lerde altının üretimi için ilk resmi tesis kurulduğu zaman altın üretiminde büyük bir patlama yaşandı. Altına ulaşmak uğruna gösterilen bunca çabaların sonucunda birçok yeni alaşım ortaya çıkmıştır. Bunlardan bir tanesi de bakır altına dönüştürmeye çalışırken, bakır ve çinko karbonatın ısıtılmasıyla elde edilen pirinçtir. Altından ilk olarak MÖ 1000 senesinde edebiyatta, Hintli Vedanta bahsetmiştir. MÖ 484-425 yılları arasında Herodot' un yazılarında da altından bahsedilmektedir (Habashi, 1997).

Lidya'lıların MÖ 600 yılında ilk altın sikkeyi basmasından sonra, para basımı Pers, Makedonya krallıklarında, daha sonra Roma İmparatorluğunda ve bir çok toplumda yaygınlaşmıştır (Erdem, 2006).

2.2 Altının Özellikleri

Metalik altın, sarı parlak renkte ağır bir metaldir. 1B grubu soy metallerinden bu ağır metalin özellikleri arasında, korozyona, sülfürlenmeye ve oksitlenmeye karşı direnç, diğer metallerle kolay alaşım yapabilme, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği sayılabilir. Altın doğada elementel halde tek başına bulunma özelliğinden dolayı diğer metaller arasında farklı yere sahiptir (Erdem, 2006).

Kimyasal simgesi Au, atom numarası 79, atom kütlesi 196,97 g/mol, 14 izotopu bulunan bir elementtir. Sertliği 2,5-3,0, yoğunluğu 19,3 g/cm³'dür. Bileşiminde diğer metallerin bulunması yoğunluğu 15 g/cm³'e kadar düşürebilir. Erime noktası 1064°C, kaynama noktası yaklaşık olarak 2700°C, son derece yumuşak ve ağır, dövüldüğünde 0,000147 mm inceliğinde levhalar haline gelebilen, kendine has sarı renkli bir metaldir. Çok kolay şekil verilebildiği için kuyumculukta tercih edilir. Saf halde toplu iğne kullanılarak bile altın delinebilir. Bu özelliği nedeniyle diğer benzer minerallerden ayrılır. Atmosfer şartlarında (sıcaklık, nem) hangi durumda bulunursa bulunsun havadan etkilenmez. Ayrıca oksijen, ozon, azot, hidrojen gazlarının altına etkisi yoktur. Bu sebeple çeşitli teknik aletlerde kullanılır (Anonim, 2010a; Çelik ve Karakaya, 1998; Çilingir, 1990)

Altın %10-15 Ag içerebilir. Ag miktarı %20'den fazla olursa alaşım elektrom olarak bilinir, %20'ye kadar bakır içeren altın avrikuprit olarak bilinir (Çelik ve ark., 1998).

2.3 Altının Doğada Bulunuşu

Altın doğada dağılmış olarak bulunur ve yer kabuğunun yaklaşık olarak 0,005 g/t kadarını oluşturur. Bu derişimi ile altın nadir bulunan elementlerden biridir. Altın, doğada genel olarak nabit olarak bulunur (Çilingir, 1990; Erdem, 2006).

Altın birçok kayaç formasyonunda küçük miktarlarda dağılmış durumda bulunsa da, genel olarak kuvars damarlarından ve doğal atmosferik olaylar sonucu bu damarlardan türemiş yataklardan, plaser yataklardan elde edilir. Altın doğada genellikle saf veya gümüş ile alaşım ve tellüritler halinde bulunur. Altın diğer minerallerin kristal kafeslerinde, özellikle pirit, arsenopirit, kalkopirit, stibnit, orpiment gibi sülfürlü minerallerin içinde kapanımlar halinde yer almaktadır (Yıldız, 2007).

2.4 Altının Fiziksel Özellikleri

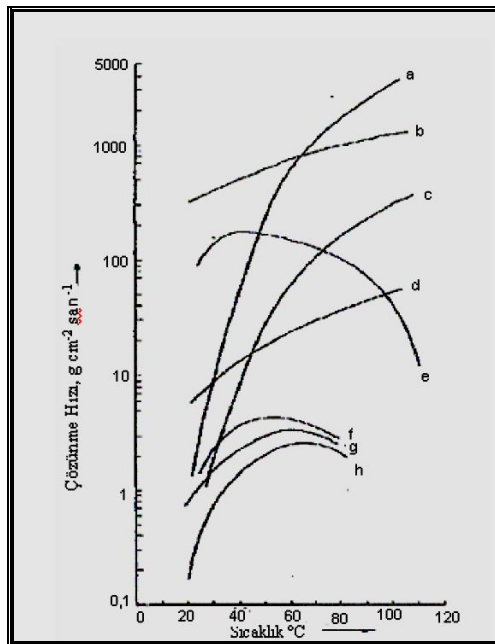
Saf altın çok yumuşak, levha haline gelme kabiliyeti en yüksek olan metaldir. 31 ağırlığındaki altını çekerek 80 km uzunluğunda tel levha haline getirmek mümkündür. 10 g altın dövülerek 12 m²'lik bir alanı kaplayacak 0,1 µm inceliğinde levha haline getirmek mümkündür. Altın, yumuşaklığından ötürü çok yüksek parlatılabilirliğe sahiptir ve parlak rengi içerdiği alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak az veya çok değiştirilebilir. Çok ince folyolar içlerinden geçen ışık vasıtası ile mavi-yeşil renk gösterir (Bernstein, 2008).

Saf halde yumuşaklığı yüzünden kullanılamayan altın, bakır ile (kırmızı altın), gümüş ile (yeşil altın) ve birçok elementle alaşım halinde kullanılır. Altının tıp alanında kullanılan en önemli olan izotopu ¹⁹⁵Au'dır. Altının doğada bulunduğu şekilde kristalin bir görüntüsü yoktur. Kübik, oktahedral ve dodekahedral görülebilen yüzeyler üzerinde ipliğimsi, yaprağimsi ve küresel şekiller sergilerler (Habashi, 1997).

2.5 Altının Kimyasal Özellikleri

Altın normal koşullarda, su, kuru ve nemli hava, ozon, azot, hidrojen, flor, iyot, kükürt, hidrojen sülfür ve yüksek sıcaklıklarda olması durumunda dahi oksijen ile reaksiyon vermez. Sülfürik asit, hidroflorik asit, fosforik asit, çok yüksek konsantrasyonlar hariç halojensiz nitrik asit ve pratikte tüm organik asitlerin seyreltik ya da derişik çözeltileri kaynama sıcaklığında olsalar dahi altına etki etmezler. Hidrohalojenik asit, nitrik asit, hidrojen peroksit ve kromik asit, serbest halojen gibi bir yükseltgen ile birleştirildiğinde elde edilen çözeltili içinde altın çözünür. Ayrıca altın, su ve halojen karışımlarında ve selenik asitte de çözünebilir. Şekil 2.1’de çeşitli endüstriyel çözeltiler içindeki altının çözünürlük hızları belirtilmiştir (Habashi, 1997).

Kimyasal olarak zor tepkimeye giren altın, yüksek sıcaklıklarda dahi oksijenden etkilenmez. Altın bütün asitlere karşı dayanıklıdır. Ancak kral suyu olarak adlandırılan 3mol HCl + 1mol HNO₃ karışımı, demir III klorürün sıcak çözeltilisi, KCN, NaCN, Cl₂, Br₂, altına etki eder. Civa ise altınla alaşım şeklinde birleşebilir (Habashi, 1997).



Şekil 2.1 İnce altın levhanın çeşitli yükseltgen çözeltiler içindeki çözünme hızı (Habashi, 1997).

Şekil 2.1’de a) Kral suyu, 6 mol/L; b) HCl, 6 mol/L + Br₂, 0,2 mol/L; c) NaCN, 0,45 mol/L + 4-nitrobenzoik asit, 0,1 mol/L + NaOH, 0,2 mol/L; d) HCl, 6 mol/L + Cl₂ (doymuş); e) HCl, 6 mol/L + H₂O₂, 0,22 mol/L; f) NaCN, 1 mol/L + hava; g) NaCN, 0,45 mol/L + NaOH, 0,2 mol/L + hava; h) NaCN, 0,006 mol/L + Ca(OH)₂, 0,04 mol/L + hava’yı temsil etmektedir.

Altın, birçok metal ile alaşım oluşturabilir. Altın ile gümüş klasik metalurjik proseslerde aynı yolu izlerken alaşımların oluşmasında çinko, kurşun ve bakır altın için toplayıcı reaktif gibi davranır. Çünkü altın sırası ile çinko, kurşun ve bakıra karşı çok büyük ilgi gösterir (Habashi, 1997).

2.6 Altın Mineralleri

Doğal altın kübik sistemde kristallenir. Kristalleri seyrek olup çoğunlukla levha, tel, pul, tane ve külçe biçimindedir. Doğal altın dışında en önemli altın mineralleri önem sırasıyla;

Nabit Altın	Au(± diğer metaller)
Elektrum	Au-Ag alaşımı
Kustelit	Ag(± Au)
Aurokuprit	Au ₂ Cu ₃
Aurostibit	AuSb ₂
Rodit	Au(Pt, Rh, Fr, Pd)
Kalaverit	Au(Ag)Te ₂
Silvanit	(AuAg)Te ₄
Tetsit	(Au, Ag)Te
Kennerit	(Au,Ag)Te ₂
Petzit	Ag ₃ AuTe ₂

şeklinde sıralanabilir. Ayrıca pirit, kalkopirit, arsenopirit ve pirotin içinde önemli miktarda Au bulunabilmektedir ve Cu, Pb, Zn yataklarından yan ürün olarak kazanılabilmektedir. Diğer yandan Au yataklarından Ag, Pt grubu elementler, U, Cu, W, Bi, Te ve diğer bazı elementler elde edilebilmektedir (Gökçe, 1995).

2.7 Önemli Altın Yatak Tipleri ve Oluşum Süreçleri

Altın cevherleri çok farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Değişik ortam ve yataklanma tipinde bulunabilen altın, genel bir sınıflama işlemine tabi olmamıştır. Plaka tektoniğine dayalı, plutonik-volkanik kökene bağlı, magmatik-sedimenter-damar tipi-denizsel volkanik başlıkları altında veya plaser tipi cevherler, serbest altın içeren cevherler ve sülfürlü ya da karbonlu yapıdaki (refrakter tip) cevherler olarak üç gruba ayrılır. Diğer bir sınıflamada ise kayaların içinde oluşmuş çatlakları dolduran, bir başka kaya veya mineral topluluğu içinde yoğunlaşmış damar tipi yataklar. Volkanik kayaçlar içinde, termal su dolaşımı ile saçılmış olarak bulunan epitermal yatakları da içine alan hidrotermal yataklar olarak sınıflandırılmıştır. Bu yatakların rezervi büyük altın içeriği düşüktür (Yıldız, 2007).

Plaser veya serbest altın içeren tipteki cevherlerden altın kazanılmasında, siyanürleştirme-çinko ile sementasyon veya aktif karbon üzerine absorpsiyon-dore metal eritmesi ve rafinasyon kademeleri uygulanmaktadır. Refrakter tipteki cevherlerde altın; sülfür ve karbon içeren minerallerin yapısı içinde kapalı halde bulunduğundan, doğrudan siyanürleştirmeye uygun değildir. Bu yüzden bu tür cevherlerden altının bir ön işleme (oksidasyon) serbest hale getirilmesi gerekmektedir. Uygulanan ön işlem prosesleri ile refrakter yapıdaki altının siyanür ile kolaylıkla kompleks yapabilir hale getirilmesi ve metal kazanma verimlerini düşüren bileşiklerin uzaklaştırılması sağlanabilmektedir (Bayraktar ve Yarar, 2010).

2.7.1 Hidrotermal Altın Yatakları

Hidrotermal altın yatakları oluşum sıcaklığı bakımından çoğunlukla düşük sıcaklıklarda ($T < 200^{\circ}\text{C}$) oluşmuş epitermal yataklar şeklindedirler. Yüze yakın seviyelerde, travertenimsi kayaçlar içinde oluşan hidrotermal altın yatakları ılıca tipi sedimenter istif içinde özellikle karbonatlı kayaçların taban seviyelerinde oluşmuştur. Bu tip altın yatakları bileşimleri bakımından da altınlı-kuvarşlı oluşumlar, altınlı-sülfidli-kuvarşlı oluşumlar, altınlı-gümüşlü-kuvarşlı-aduleryalı oluşumlar gibi değişik isimler altında gruplanabilmektedir. Bu yataklar içinde altın ya tellüridli bileşikler halinde veya sülfürlü mineraller içinde Cu'nun yerini alarak

zenginleşmektedir. Zaman zaman nabit altın oluşumlarında gözlenebilmektedir (Gökçe, 1995).

2.7.2 Silika –Karbonatlı (listvenitik) Kayaçlarla İlişkili Altın Yatakları

Ultramafik kayaçlarla kaplı sahalarda genellikle örtüler şeklinde, yer yer de ultramafik kayaçlar arasında deforme olmuş bantlar ve mercekler şeklinde yaygın olarak silika-karbonatlı kayaçlar gözlenmektedir. Bu kayaçlar içinde yer yer silis türevleri (amorf silis kriptokristalin kalsedon ve kuvars), yer yer ise karbonatlar (kalsit, ankerit, siderit, dolomit gibi) hakim bileşenler durumundadır. Sert, sarı renkli (limonitik) ve toprağımsı bir görünüme sahiptirler (Gökçe, 1995).

2.7.3 Plaser ve Fosil Plaser Tip Altın Yatakları

Mostra veren, altın içeren kuvars damarları erozyona maruz kalarak zamanla fiziksel duraylılığını kaybetmekte ve bünyesinde hapsettiği altını serbest bırakmaktadır. Çeşitli taşınım ortamında (düşüş, yuvarlanma, rüzgar, yağmur suyu yıkaması vb.) nehir veya akarsuya kadar taşınan altın parçacıkları, özgül ağırlık farklılığı nedeniyle dibe çökmekte, zamanla konsantrasyonu artmakta ve plaser yataklar oluşmaktadır. Bu yataklar temel anlamda, ağır minerallerin hafif minerallerden yerçekimi kuvveti etkisiyle ayrışımı dekantasyon olgusuna dayanır. Ayrışımı yapan araçlar, hareketli olmak kaydıyla su (nehir, dalga), hava (rüzgar) ve çoğunlukla bunların birkaçının birleşmesiyle oluşan taşıyıcı ayrıştırıcı topluluğudur. Cevherleşmeyi oluşturan mineraller altın, zirkon, monozit, topaz, safir, beril, korund, spinel, gümüş, elmas, platinyum, kasiderit, ilmenit, rutil, ve barittir (Kiriş, 1994).

Kayaçlar ve cevherleşmeler içinde nabit halde veya tellürlü ve sülfürlü mineraller bulunan altın tanecikleri, yüzeysel bozunma sırasında nabit altın tanecikleri şeklinde serbestleşir. Altın kimyasal bozunmaya ve fiziksel parçalanmaya karşı dayanıklı soy metal olması ve yüksek yoğunluğu nedeniyle plaser yatakların yaygın bileşenlerindedir. Bozunma bölgesinde gelişen kalıntı tipi plaserlerden denizel plaserlere kadar her çeşit plaser tip yatakta zenginleşebilmektedir. Plaser tipi Au yatakları işletilmeleri ve zenginleştirilmeleri kolay olduğundan üretimde önemli paya sahiptirler (Gökçe, 1995).

2.7.4 Metamorfik Kayaçlar İçindeki Altın Yatakları

Metamorfik kayaçlar içinde değişik zamanlarda değişik süreçlerle oluşmuş altın yatakları olup en önemlileri metamorfizma geçirmiş altınlı konglomeralar ve siyah şeyler içindeki yataklardır (Kiriş, 1994).

Metamorfik kayaçlar içindeki arsenopirit damarlarına bağlı hidrotermal altın yatakları ise metamorfizma sırasında oluşan hidrotermal çözeltilerce veya post-metamorfik hidrotermal faaliyetlerce oluşturulmuş küçük boyutlu ve düşük tenörlü yataklar şeklindedirler. Bu yataklar kendileri işletilmekten çok plaser yataklara kaynak oluşturmaları bakımından önemlidirler (Gökçe, 1995).

2.7.5 Epitermal Altın Yatakları

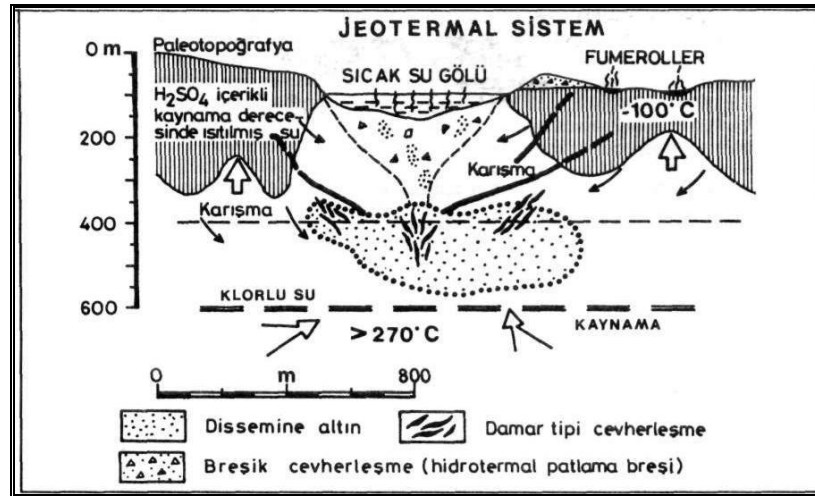
Epitermal altın yatakları yüzeye çok yakın, düşük sıcaklıkta (200°C'nin altında) oluşmuş hidrotermal cevherleşmelerdir. Epitermal yataklar kuvars damarları, ağsal damarlar veya saçınımlar biçiminde olabilir. Cevher içinde altın taneleri mikroskopla dahi görülemeyecek kadar ince boyutta ve kaya içinde saçınımlar halinde bulunmaktadır (Oygür, 1996).

Epitermal sistem, oluşum derinliği: 0-100 m, silisli damar, breş bacaları, ağsal damar, disemine, yer değişim, düzensiz uzun eksenli yumrulanma, cevher tekstilleri; boşluk doldurma, kabuk dolguları, tarak yapıları, kolloform dolgular, breşlenme, düzensiz yapraklanmadır. Cevher elementleri: Au, Ag, As, Sb, Hg, Te, Cu, Zn'dir. Mineral topluluğu; telüridler, selenidler, sülfürler, altın, gümüş, barit, kuvars, florit, rodokrosit, adularya, serizit, klorit, hematit, arsenik ve antimon içeren kompleks sülfürler (Kiriş, 1994).

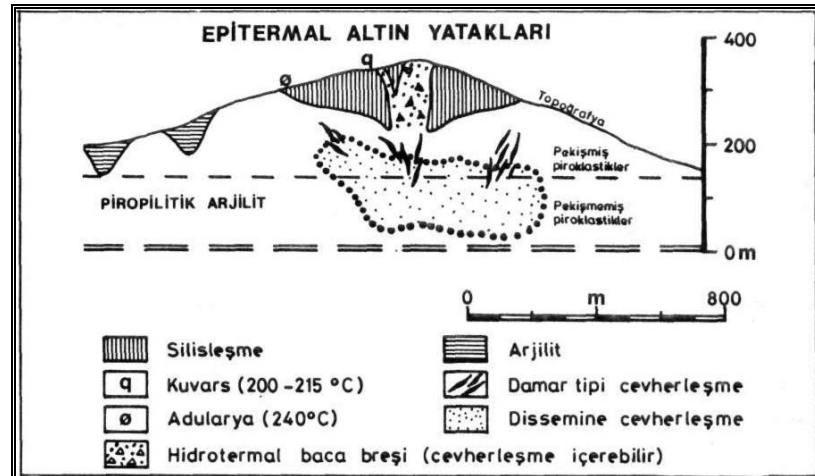
Cevheri oluşturan çözeltiler magma ocağı tarafından ısıtılmış, yan kayaç içerisinde dolaşan meteorik sulardır. Juvenil su katkısı da mümkündür. Şekil 2.2'de jeolojik süreçler alterasyon ve erozyondan önceki kesitler görülmektedir. Sahip olduğu ısı ve kimyasal bileşim nedeniyle yüksek çözme yeteneğine sahip olan bu sular, yan kayaçlardan kazanmış oldukları soy metal içeriklerini daha sonra, soğuma

süreçleri sırasında, genellikle yüksek geçirgenliğe sahip volkanik yan kayaçlar içerisine bırakırlar (Kırıkoğlu, 1990).

Şekil 2.3’de saha topografyası ve altında yer alan cevherleşmeler görülmektedir. Ayrıca epitermal altın oluşumlarına ait silisleşme, arjilitleşme, piropilitleşme, kuvars ve adularya oluşumu ile breşik, damar tipi ve dissemine cevherleşmeler gibi özellikler görülebilir (Kırıkoğlu, 1990).



Şekil 2.2 Epitermal altın yataklarını oluşturan jeotermal sistemin şematik kesiti (Kırıkoğlu, 1990).



Şekil 2.3 Jeotermal sistemin oluşturmuş olduğu epitermal altın yatakları (Kırıkoğlu, 1990).

Volkanik süreçler, kayaçların içerisinde bulunan ve büyük bir bölümü yağmurlardan kaynaklanan suların ısınmasına neden olmuşlardır. Volkanik sistem içerisindeki bu sular yükselerek derinlerdeki gözenekli kayaçlar içerisinde dissemine altın yataklarını oluşturmuştur (Kırıkoğlu, 1990).

Epitermal yatakların özellikle arama sırasında göz önünde bulundurulması gereken en önemli özelliği alterasyondur. Bu, kayaçlar içerisinde dolaşan sıcak suları aramada belirleyici olmaktadır. Metalleri çözüp tekrar çöktürme özelliklerinin yanı sıra, epitermal çözeltilerin çevre kayaçlar üzerinde etkin bir alterasyon oluşturma yetenekleri vardır. Alterasyon killi ve silisli zonlar şeklinde kendini belli etmektedir. Çözeltilerin yüzeye doğru yükseldikçe basınç kaybetmesi ve soğuması nedeniyle alterasyon klasik olarak zonlara ayrılır (Kırıkoğlu, 1990).

Alterasyon sürecinin cevher kütlelerinden çok daha büyük hacimlerdeki kayaç kütlelerini etkilemesi nedeniyle alterasyon epitermal cevher yataklarının araştırılmasında önemli bir parametredir. Alterasyon hallerinin dikkatli ve başarılı değerlendirilmesi sonucu aktif ya da fosil bir jeotermal sisteme bağlı olarak oluşmuş, derindeki örtülü bir yatağın bulunması olasıdır (Kırıkoğlu, 1990).

Jeokimyasal açıdan (mineralojik ve alterasyona bağlı) epitermal yataklar düşük sülfürleşmeye (DS) bağlı, yüksek sülfürleşmeye (YS) bağlı ve diğer olmak üzere üç grup altında incelenmiştir (Kiriş, 1994).

a) Yüksek sülfürleşmeye bağlı epitermal Au yatakları (YS); YS tipler asit, sülfürce zengin, oksidize sıvılara bağlı oluşurken, DS tipler nötrüye yakın, sülfürce fakir, indirgenmiş sıvılar tarafından oluşturulur. YS sıvılar SO₂'ce zengin magmatik gaz, ve sıvıların yoğunlaşması sonucu oluşurlar. Bu yüzden YS'lere asit sülfat ya da kuvars-alunit epitermaller de denir (Kiriş, 1994).

YS'lerin hemen hepsi subalkalin, andezitik riyodasitik volkanizmaya bağlı ve tipik olarak, porfiri Cu-Au, porfiri Cu-Mo yataklarının üst kısımlarında gelişirler. Yataklar genellikle damar tipindedir fakat breş ve masif ornatma şekilleri de yaygındır (Kiriş, 1994).

b) Düşük sülfürleşmeye bağlı epitermal Au yatakları (DS); Düşük sülfürlü epitermal sistemler, düşük oranda baz metal içerikleri, kuvars-adularya-karbon-serizit alterasyon topluluğu, nötre yakın pH değerleri ve yüksek gümüş/altın oranlarıyla epitermal yatakların en yaygınlarıdır. Genellikle volkanikler içerisinde çatlak dolumu şeklinde yataklanırlar. Genel gang mineralleri başta kuvars olmak üzere kalsit ve adularyadır (Kiriş, 1994).

c)Diğer Epitermal Yataklar;

I) Sediman ve karbonatlı kayalarda yataklanmış Au: Bu grubu oluşturan yatakların başında Carlin madeni (Nevada) gelir. Karakteristik özellikleri yatak kayasının ince tabakalı, karbonatlı, kireçtaşları oluşu ve mikron boyutunda altının yanı sıra yüksek arsenik değerlerinin bulunmasıdır (100-1000 ppm). Altın, yatağın alt kısımlarında çatlak dolumu, pirit kaplaması ve daha az miktarda organik karbonla birlikte bulunur. Yatağın üst kısımları ise değişik boyutta şiddetli alterasyona maruz kalmıştır. Burada bulunan altın ise kuvars ve oksit minerallerin içerisinde çok küçük parçacıklar halindedir (< 10 mikron) (Kiriş, 1994).

II) Altınlı volkanojenik masif sülfür yatakları (VMS): VMS'ler, sığ deniz tabanlarında, volkanik olaylarla ve hidrotermal solüsyonlar tarafından, oluşturulmuş sülfürce zengin ve genellikle baz metal içerikli yataklardır. Literatürde ayrı bir sınıf olarak geçmesine karşın, oluşum ortamları (basınç-sıcaklık) bakımından epitermal özelliğe sahip olduklarından bu kısımda incelenmiştir. Masif sülfür yatakların genel özellikleri, deniz altı volkanizmaları ve bu volkanizmalara bağlı sedimanlarla ilişkili olarak yataklanmaları, cevher yatağının mercek şeklinde olup sınırlarının, genellikle keskin ve belirgin oluşu, yataklanma biçiminin, bölgenin yapısına (yapısal ve litolojik dokanıklar) uygun oluşu ve şiddetli alterasyon kuşaklarıdır. VMS yataklar, buldukları tektonik, konum, cevher mineralleri ve volkanik kayanın kompazisyonuna göre adlar alırlar (Kiriş, 1994).

III) Ilıca tipi epitermal Au yatakları: Epitermal sistemin bir uzantısı, yüzeye yakın bir epitermal oluşu ve yüksek sıcaklık nedeniyle ılıca tipi olarak adlandırılmıştır (Kiriş, 1994).

Epitermal yatakların alterasyon geçirip geçirmemeleri tanınmalarında yardımcı olmaktadır (Kiriş, 1994);

a) Erozyona uğramamış epitermal sistemlerin özellikleri;

- Silisli zonların varlığı,
- Hidrotermal patlama breşlerinin bulunması yada kuvars damarları içeren, hidrolik olarak parçalanmış silisifiye kayaların varlığı.
- Yüzeşte altının ortalamasının üzerinde zenginleşmesi ya da zenginleşmemesi.

b) Erozyona uğramış fosil sistemlerin özellikleri;

- Kil içeren alterasyon zonlarının varlığı ve/veya altında cevher zonları içeren karbonatlı masif damarlar
- Hidrolik breşleşme
- Kriptokristalin bantlaşma
- Kalsit yapısında kuvars
- Yüzeşte altın ya da diğer metal değerlerinin işletme tenörü derecesinde olmasa bile yüksek oranları.

2.7.6 Mesotermal Altın Yatakları

Orta derinlikte, 200-300°C’de, yüksek basınçla oluşmuş hidrotermal yataklar olarak tanımlanır ve porfiri sistemleri mesotermal sistemin bir oluşum şekli olarak bilinmektedir (Kiriş, 1994).

2.7.6.1 Porfiri Altın Yatakları

Porfiri tipi altın yataklarında ana mineralin altından çok bakır ve/veya molibden oluşu nedeniyle, “altın bakımından zengin porfiri yataklar” olarak adlandırılırlar ve koşulu >0.4 ppm Au olarak belirtilir. Yataklanma, tahminen aynı magmadan türemiş volkanik kayalar ve dik silindir şeklindeki porfiritik stoklara bağlı gelişir. Bakır ve altının büyük kısmı alterasyon sırasında yatak kayasına verilir. Altın, sülfürlü mineraller içerisinde bulunur ve damar, damarcık ve saçınımlar halinde kaya içerisinde dağılır (Kiriş, 1994).

2.7.6.2 Damar Tipi Altın Yatakları

Altın cevheri, nabit altın ve tellüridler (özellikle petzit) şeklindedir. Yatakların sülfür içeriği, tipik olarak düşük ve genel mineraller pirit başta olmak üzere arsenopirit, sfalerit galen, kalkopirit ve tetrahedrittir. Gang mineralleri kuvars, ferrodolomit, diğer karbonatlar ve serizittir. Yataklanma sıcaklıklarını bazı araştırmacılar 250-300°C olarak tanımlarken, diğer bazı araştırmacılar, altın ve kuvarsın enjeksiyonu için >340°C ile birlikte 670-2500 kbar koşullarını öne sürmektedir (Kiriş, 1994).

2.7.6.3 Altın Skarnları

Skarnlar, derindeki bir plutondan çıkan metalce zengin sıvı ve gazların, karbonatlı yatak kayasına saçılmasıyla, cevher yatakları oluşturmaktadır (Kiriş, 1994).

2.7.7 Hipotermal Altın Yatakları

Hipotermal altın yatakları, yüksek sıcaklık (300-500°C) basınç ortamında hidrotermal sıvıların en alt seviyelerinde (> 1 km) oluşurlar. Yan kaya, alterasyonları genel olarak; serizitik (graysen) kloritik, potasik ve silisleşmedir. Yatakların genel, oluşum şekilleri; breş bacaları, derin deniz buhar boşalımı ve ofiyolit ilişkilidir (Kiriş, 1994).

Breş bacası tipi Au yatakları; Oluşum sıcaklıkları 150-500°C arasında, derinlikleri > 1 km olarak belirtilir. Altın mineralleşmesi, nabit altın veya tellüridler şeklindedir, diğer cevher mineralleri florit, sfalerit, kalkopirit, bornit ve piritir (Kiriş, 1994).

Ofiyolitlerle ilişkili Au yatakları; Sıkça görülebilir yataklar olmayıp, genellikle ofiyolit dizilerinin ultramafik kısımlarında faylanmalara bağlı olarak gelişirler (Kiriş, 1994).

2.8 Altının Başlıca Kullanım Alanları

Dünyada elde edilen altının büyük kısmı kuyumculuk sektöründe tasarruf amaçlı kullanılmaktadır. Kendine has kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle altın kullanımı tıp, endüstriyel, elektrik ve nano teknolojileri uygulamalarında önemli bir yer teşkil eder. Bu uygulamaların başlıcaları (Minerals zone, 2005);

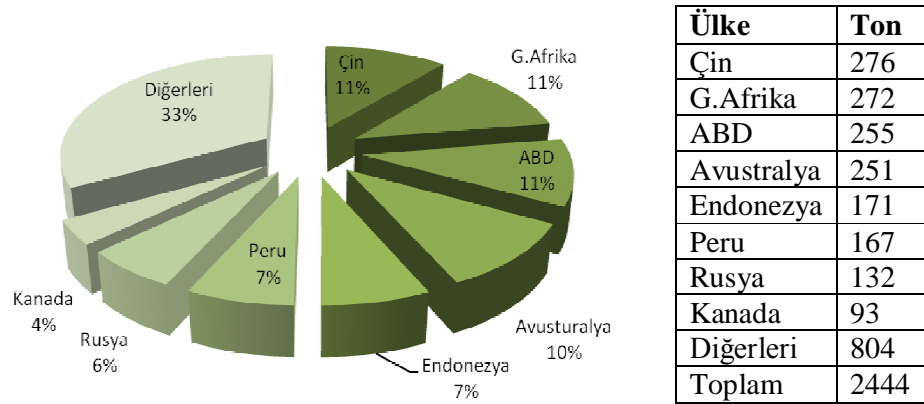
- ❖ Elektrik ve iletişim (bilgisayarlar, yarı iletkenler, uzay araçları, telefonlar, televizyonlar)
- ❖ Lazer ve optik (astronomi, uydular, kopyalama makinaları, güvenlik sistemleri)
- ❖ Tıp ve sağlık (dişçilik, lazer, araştırma, romatizmal arteriz tedavisi, termometreler)
- ❖ Endüstri ve havacılık (hava yastıkları, uçak motorları, uçak pencereleri, motor sistemleri)

Altının geniş kullanım alanı olmasının ana nedeni, altının en az tepkime veren metallere biri olmasıdır. Altın, en fazla tepkime veren elementlerden biri olan oksijenle tepkimeye girmez, böylece paslanmaz ve aşınmaz. Bu altının sadece mücevher olarak değil günlük hayatta gereksinim duyulan diğer uygulamalar için de değerli olmasının nedenidir.

Biyolojik tepkimeye girmemesi nedeniyle altın, tıp ve dişçilik alanında da kullanılmaktadır. Altın yumuşak bir metaldir, üzerine çalışmak ve şekil vermek çok kolaydır. Altın, metaller içinde elektrik iletkenliği en yüksek olanlardandır. Kırılmaksızın çok ince teller haline veya olağanüstü ince plakalar haline getirilebilir. Bu özellikleri altını elektrik bağlantılarının, bilgisayarların ve iletişim ekipmanlarının önemli bir bileşeni yapmaktadır. Elektrik iletkenliği ve zamanla bozunmaya uğramaması nedeniyle bilgisayar devrelerinde de kullanılmaktadır (Anonim, 2008).

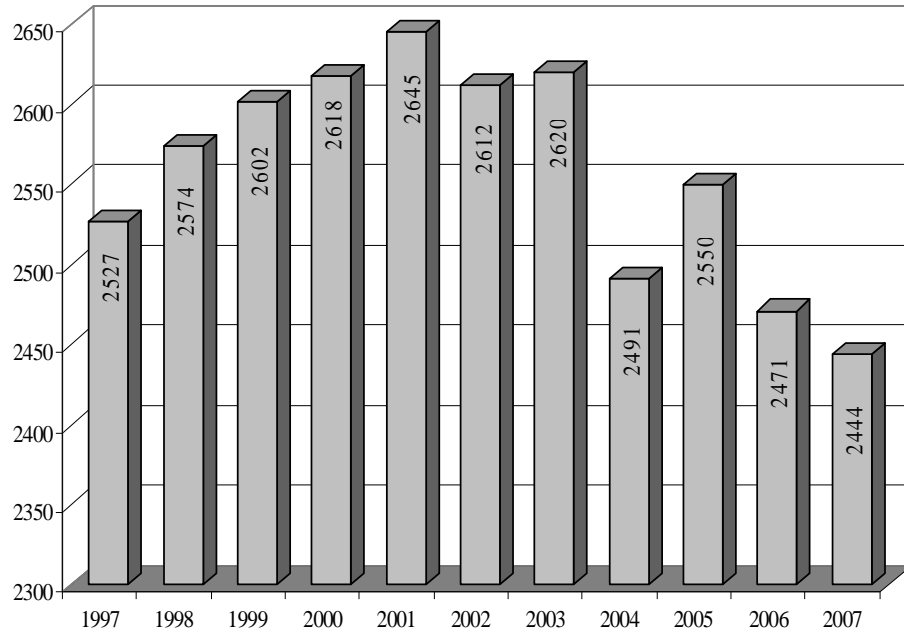
2.9 Dünya Altın Madenciliği

Altın cevheri işleme teknolojisindeki yeni gelişmelerin etkisiyle 1970’li yıllardan itibaren dünya altın madenciliği hızla büyümüşür. Dünya altın üretimi, son 25 yılda yaklaşık olarak ikiye katlanmıştır. Bu gelişmeler sonucunda bilinen altın cevherleri işletmeye alınırken, yeni altın yataklarının bulunması için dünyada yoğun arama ve yatırım dönemi başlamıştır.



Şekil 2.4 Dünya altın üretimi (Anonim, 2008).

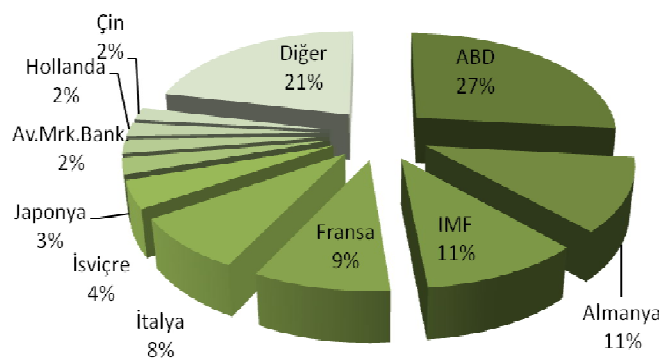
Çin son yıllarda altın üretiminde dünyada ilk sırada yer almaktadır (Şekil 2.4). Çin’i takiben Güney Afrika, ABD, Avusturalya, Endonezya, Peru, Rusya ve Kanada dünya altın üretiminde söz sahibidir. Dünyada Garpenberg (altın gümüş bakır çinko madeni)-İsviçre, El Valle (altın madeni) İspanya, Furtei (altın madeni) İtalya, Filon-Sur (altın madeni) İspanya, Koza (altın madeni) Türkiye gibi maden ocakları ile yaklaşık 800 madende siyanürleme yöntemiyle altın ve gümüş üretilmektedir (Şekil 2.5, Şekil 2.6 ve Tablo 2.1) (Anonim, 2008).



Şekil 2.5 Yıllara göre dünya altın üretimi, (ton) (Anonim, 2008).

Tablo 2.1 Yıllara göre Avrupa altın üretimi, Türkiye 2007 yılı itibari ile 10 bin ton altın üretmiştir (Anonim, 2008).

Ülkeler	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Türkiye					1,4	4,3	5,4	5	5	8
İsveç	7,1	6,1	4,4	3,6	4,8	5,4	5,6	6,6	6,1	6,7
Bulgaristan	2,8	2,7	2,5	2,1	2,3	2,1	1,7	1,7	2,3	2,8
İspanya	2	3,8	5,1	4,8	4,2	5,9	5,7	4	2,4	1,7
Eski Yugoslavya	4,7	3,4	2	1,9	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
Finlandiya	2,4	3,3	2,7	1,6	1,7	1,5	1,7	1,3	1,2	1,1
Romanya	2	2	1,8	1,2	1,6	1,3	1,3	1,2	1,1	0,7
Diğer Ülkeler	6,2	6	5,8	4,3	3,8	2,9	2,1	3,7	4,6	5,3
Avrupa Toplamı	27,2	27,3	24,3	19,5	21,2	24,7	24,7	24,7	23,9	27,5



Ülke	Tonaj
1. ABD	8135
2. Almanya	3428
3. IMF	3217
4. Fransa	2826
5. İtalya	2452
6. İsviçre	1290
7. Japonya	765
8. Av.Mrk.Bank.	663
9. Hollanda	654
10. Çin	600
Diğer	7557
26. Türkiye	116

Şekil 2.6 2007 yılı itibari ile Dünya altın stokları (Anonim 2008).

2.10 Türkiye’de Altın Madenciliği

Cumhuriyetimizin ilk yıllarında, sınai kalkınma hamlesinin ancak hammadde kaynaklarımızın değerlendirilmesiyle gerçekleşebileceği bilinciyle madencilik sektörüne büyük önem verilmiştir.

Dünya’da ilk para Sart’ta Anadolu topraklarında çıkan altınlardan basılmıştır. Dünyada ilk rafineri Anadolu topraklarında kurulmuştur. Son yıllarda altın fiyatındaki artışlar, tüm dünyada altın madenlerine ilgiyi yeniden arttırmıştır. Eski altın madenleri yeniden işletmeye açılmış, yeni yatakların keşfi için yoğun çalışmalara girişilmiştir. Ülkemizde özellikle 1980’li yıllardan sonra altın arama ve işleme konularında önemli adımlar atılmıştır. Araştırmalar sonucu toplam görünür rezerv 600 ton Au, potansiyel rezerv 6500 ton olarak bulunmuştur. Bugün altın rafinerilerine, altın borsasına, darphaneye, 250 bin kişiyi istihdam eden kuyumculuk ve mücevherat sanayisine sahip bulunmaktadır (Anonim, 2008).

Ülkemiz sınırlarında incelenen altın yatakları sülfürlü cevherleşmeler, genç volkanizmaya bağlı (tersiyer) altınlı cevherleşmeler, plaser oluşumlu cevherleşmeler ve epitermal cevherleşmeler olmak üzere 4 gruba ayrılmaktadır. Fizibilite çalışmaları sonucunda ülkemizde işletilmekte veya işletilmeye hazır dokuz altın maden yatağının bulunduğu tespit edilmiştir. Bunlar Bergama-Ovacık, Gümüşhane-Mastra, Eskişehir-

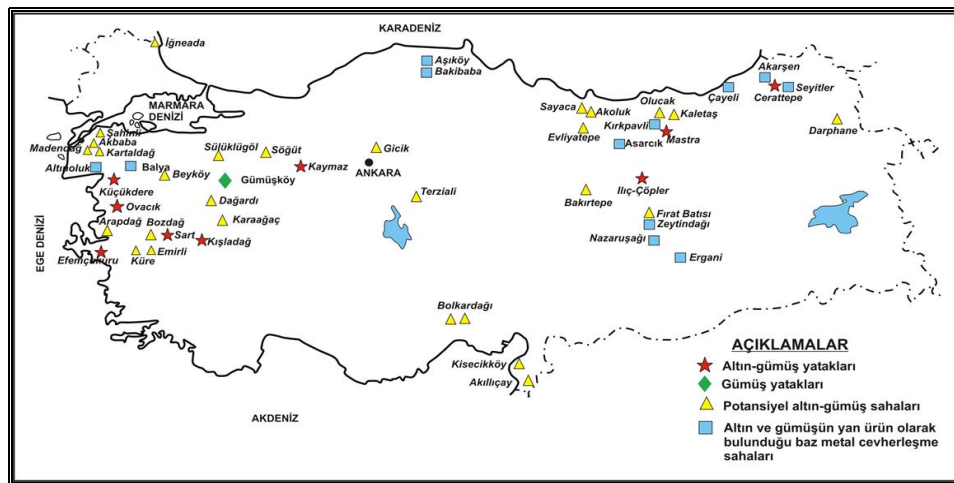
Kaymaz, Balıkesir-Küçükdere, Artvin-Cerattepe, İzmir-Efemçukuru, Uşak-Kışladağ, Erzincan-Çukurdere, Manisa-Sart altın madenleridir. Günümüzde Bergama-Ovacık, Gümüşhane-Mastra altın madeni ile Uşak-Kışladağı madenleri işletilmektedir (Tablo 2.2) (Anonim, 2008; Arslan, Yüce, Acarkan, Dinçer ve Önal, 2005; Doğan 2005).

Tablo 2.2 Türkiye’de işletilen ve işletmeye hazır Au, Ag madenleri (Arslan ve ark., 2005).

Yer	Cevher Tipi	Au içeriği (g/t)	Ag içeriği (g/t)	Au rezervi, t	Ag rezervi, t
Kütahya-Gümüşköy	Epitermal	----	180	----	3,825
Bergama-Ovacık	Epitermal	9,0	11	24	24
Balıkesir-Küçükdere	Epitermal	6,4	11,8	9	17
Artvin-Cerattepe	Oksitli/Sülfürlü	1,2-4,0	25-140	37	1,245
Gümüşhane-Mastra	Epitermal	12,0	----	12	---
Eskişehir-Kaymaz	Listvenit/Epitermal	6,0	5,3	6	5
Erzincan-Ilıç-Çukurdere	Epitermal	----	----	131	----
İzmir-Efemçukuru	Skarn	12,6	----	32	----
Uşak-Eşme-Kışladağ	Epitermal	1,43	----	245	----
Manisa-Salihli-Sart	Plaser	----	----	10	----
Diğer	Çanakkale, Sivas, Ordu gibi küçük rezervler			25	202
Toplam				531	5,318

(*) Tablo değerleri 2007 yılı itibari ile revize edilmiştir.

Ülkemizdeki altın zenginleşmelerini, masif sülfür yatakları içindeki zenginleşmeler, epitermal ve ultramafik kayalar içindeki listvenitik oluşumlar, plaser tipi zenginleşmeler şeklinde gruplandırılmaktadır (Şekil 2.7) (Gökçe, 1995).



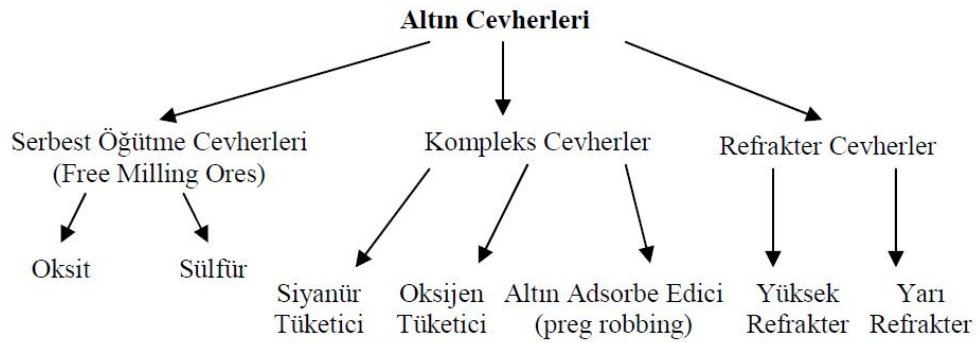
Şekil 2.7 Türkiye altın ve gümüş cevherleşme sahaları (Maden Tetkik Arama Estitüsü, [MTA], 2010).

BÖLÜM ÜÇ

ALTIN ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ

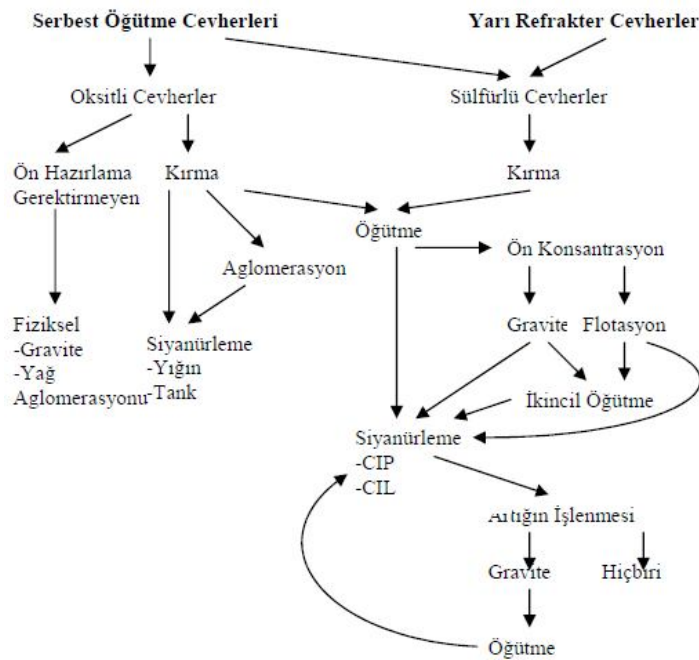
3.1 Altın Üretim Teknolojisi

Siyanürle ekonomik şekilde kazanılamayan cevherlere “refrakter” cevher denmektedir. Daha yüksek siyanür ve oksijen ilavesiyle ekonomik olarak kazanılabilen cevherlere ise “kompleks” cevherler denir (Şekil 3.1). Bununla birlikte serbest altın içeren cevherler gravite, flotasyon ve direkt liç metodlarıyla verimli bir şekilde zenginleştirilebilmektedir. Siyanür liçi ile kolayca çözeltiyeye alınmayan ve refrakter olarak adlandırılan altın cevherlerinin klasik siyanür liç yöntemiyle kazanımları güç ve verimleri çok düşüktür (Brierly, 1995). Bunun nedeni de, bu tip altın oluşumlarında altın taneciklerinin cevher içinde küçük taneler halinde dağılmış olmasıdır. Refrakter altın cevherleri; pirit (FeS_2), arsenopirit (FeAsS), markazit (FeS_2) ve pirotit (FeS) gibi sülfürlü minerallerden oluşmaktadır. Refrakter altın cevherlerinin doğrudan kazanımının güç olması nedeniyle, kavurma, oksijenli ortamda basınç liçi veya bakteri liçi gibi ön işlemlerden geçirilerek alkali siyanür (NaCN , KCN) liç işlemi için, hazır hale getirilmektedir (Haque, 1999). Refrakter altın cevherlerinin düşük olan Au kazanma verimlerini arttırmak üzere, liç öncesinde bir ön işlemde geçirilerek değerlendirilmektedir. Mikrodalga ön işlemi sırasında, pirit ve arsenopirit gibi sülfürlü minerallerin yüksek sıcaklıkta oksidasyonu ile birlikte iç bünyede biriken gaz basıncının meydana getirdiği kırık ve çatlak gibi yapısal değişimlerle özgül yüzey alanında belirgin bir artış olmaktadır (Beeby, 1992; Huang, 2000). Bu da müteakip liç işlemi, dolayısıyla Au kazanma verimi üzerinde olumlu bir etki yapmaktadır.



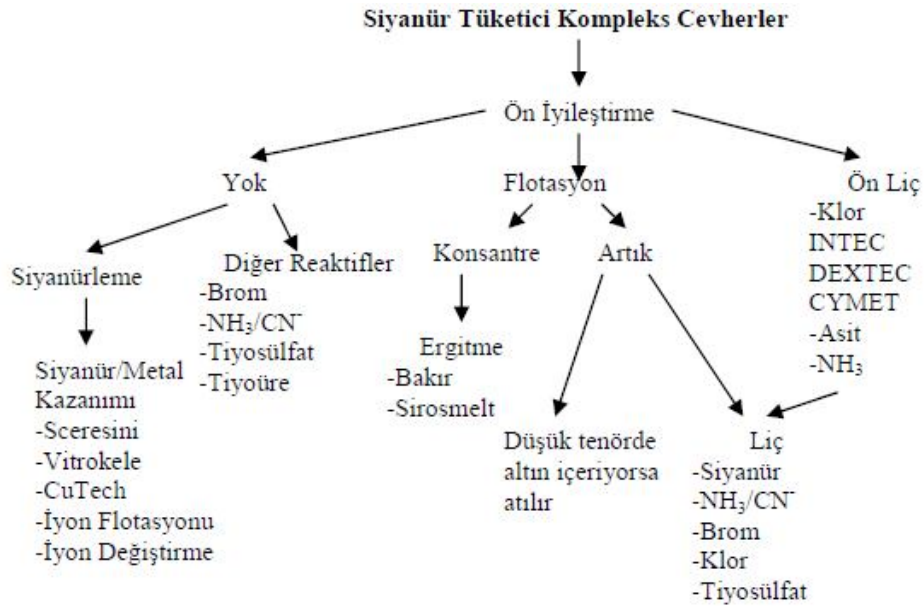
Şekil 3.1 Altın cevherlerinin sınıflandırılması (La Brooy, Linge ve Walker, 1994).

Plaser cevherler ön hazırlama gerektirmeyen cevherlerdir. Geleneksel olarak bu cevherler gravite zenginleştirilmesi gibi fiziksel metotlar ile zenginleştirilirler. Modern gravite zenginleştirme cihazları olan Knelson ve Falcon konsantratörlerinde gravite kuvvetine ilave olarak santrifüj kuvvetten de yararlanıldığı için çok ince taneli altın partikülleri kazanılabilmektedir. Diğer bir proses ise kömür-yağ aglomerasyonudur. Bu yöntem alivüal cevherler ve diğer serbest altın cevherleri için önerilmektedir. Şekil 3.2’de serbest öğütme ve yarı refrakter cevherler için altın üretiminde genel bir akım şeması verilmiştir (Bellamy, House ve Veal, 1989; La Brooy ve ark., 1994).



Şekil 3.2 Serbest öğütme ve yarı refrakter cevherlere ait genel akım şeması (La Brooy ve ark., 1994).

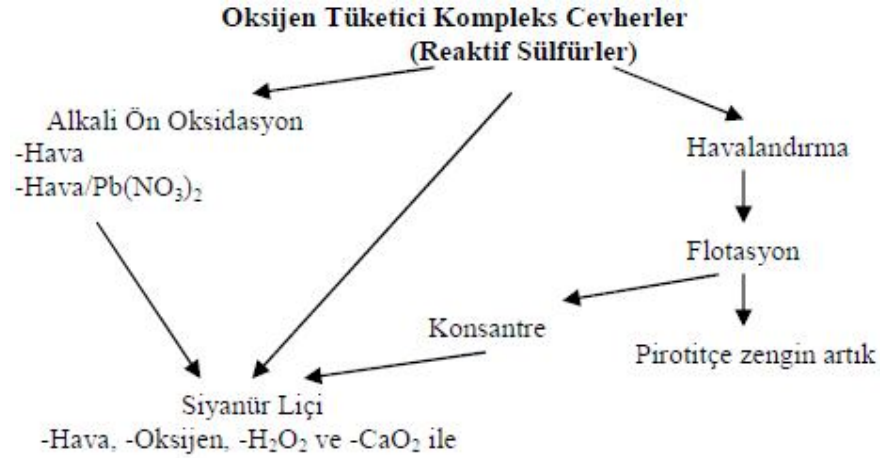
Kompleks cevherler yüksek siyanür, oksijen tüketen ve altın adsorbe eden cevherler olarak kabul edilmektedir. Bu tür cevherler liç kinetiğini yavaşlatıp, siyanür tüketimini artırmaktadır. Fazla miktardaki siyanür tüketimi bazı oksit ve sülfürlerin reaksiyonları ile oluşmaktadır. Bu tür reaksiyonlar aşırı reaktif tüketimine sebep olup üretim maliyetini yükselttiği gibi, altın kazanım oranını da düşürmektedir. Şekil 3.3’de siyanür tüketici kompleks cevherler için altın üretiminde uygulanan genel bir akım şeması verilmiştir. Kompleks cevherler genellikle pirotit, markasit, kovallit, digenit, kalkosit, arsenik ve antimuan sülfürler ve çinko sülfürler gibi sülfür mineralleri içerirler. Altın cevherinde %1 den fazla bakır sülfür mineralleri bulunduğunda siyanür liçi ile altın kazanımı genellikle ekonomik olmamakta ve bakırın uzaklaştırılması için kimyasal ön iyileştirme veya flotasyon işlemi uygulanmaktadır. Bakır minerallerinin siyanürle bakır(I) siyanür kompleksleri oluşturarak büyük oranda siyanür tüketimine sebep oldukları bilinmektedir (La Brooy ve ark., 1994).



Şekil 3.3 Siyanür tüketici kompleks cevherler için önerilen altın üretimi akım şeması (La Brooy ve ark., 1994).

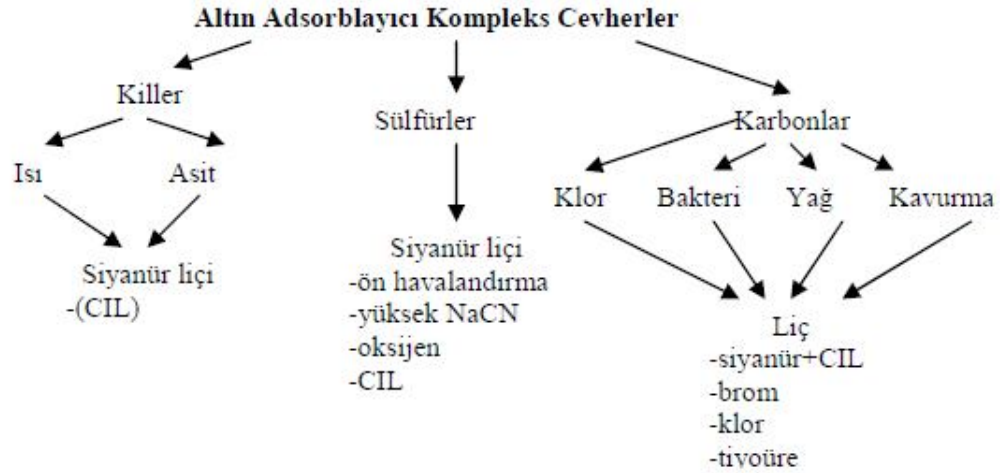
Pirotit gibi reaktif sülfürler yüksek miktarda oksijen tüketirler (demir(II)'nin demir(III)'e oksitlenmesi ve sülfürlerin sülfata okside olması gibi). Gerekli olan

oksijen ihtiyacı, hidrojen peroksit veya kalsiyum peroksit gibi oksidantlardan karşılanmaktadır. Oksijen tüketici kompleks cevherlerin zenginleştirilmesine ait genel akım şeması Şekil 3.4’de verilmiştir. Havalandırmadan sonra uygulanacak flotasyon işlemiyle, okside olmuş sülfürler kolayca flotasyon artığına alınmaktadır (La Brooy ve Komosa, 1992).



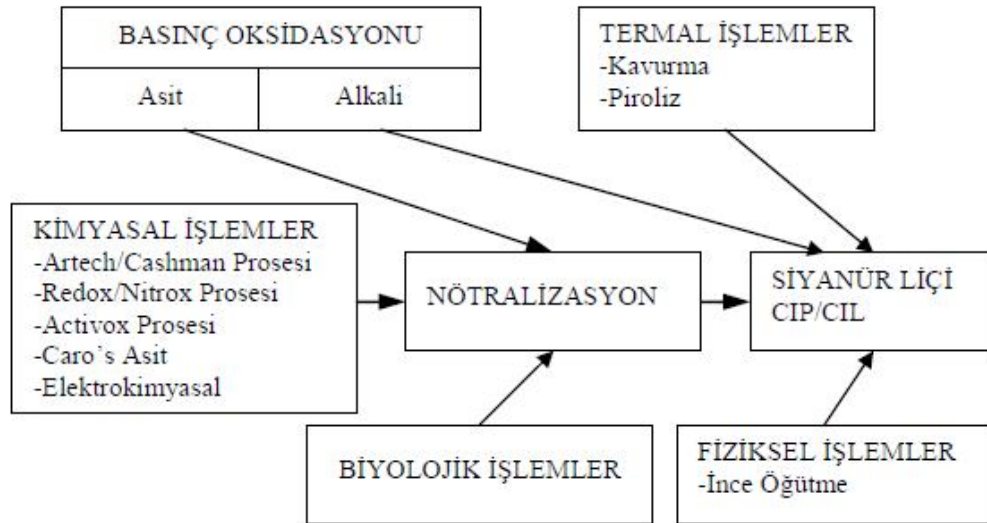
Şekil 3.4 Oksijen tüketici kompleks altın cevherlerine ait genel akım şeması (La Brooy ve ark., 1994).

Altın cevherlerinin karbon veya hümitik asit gibi bileşenler içermesi durumunda doğrudan siyanürleme ile altın kurtarma verimi %30’u geçmemektedir. Cevher içerisindeki karbonlu mineraller çözünmüş altını adsorbe etme özelliği taşımaktadırlar. Bunun bilinen örneği ABD’deki Carlin cevheridir ve karbonlu malzemeler $Au(CN)_2^-$ bileşiğini adsorbe etmektedir. Carlin cevherinin Cl_2 (klorlama) ile ön oksitlenmesi sayesinde karbonlu malzemeler deaktive edilmektedir. Alternatif olarak kavurma ve bakteriyel ön iyileştirme altın adsorbe etme özelliğini yok etmektedir ve altın geleneksel siyanür, brom, klor veya tiyoüre liçi ile kazanılmaktadır. Altın adsorblayıcı kompleks cevherlerden altın üretiminde takip edilebilecek zenginleştirme işlemleri şematik olarak Şekil 3.5’de verilmiştir (Andreazza, 1988).



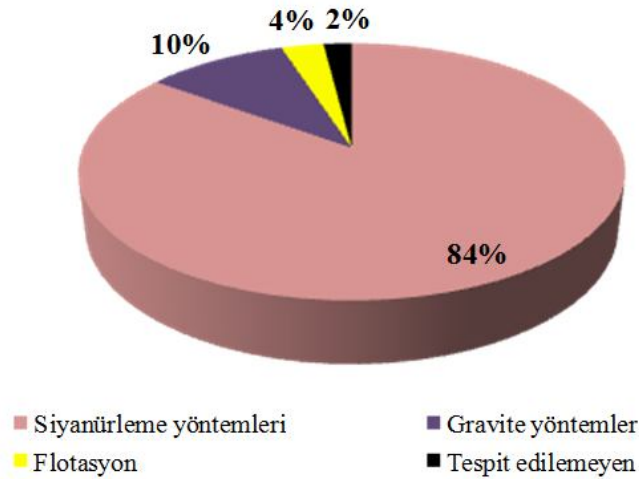
Şekil 3.5 Altın adsorblayıcı kompleks cevherlere ait örnek altın üretim akım şeması (La Brooy ve ark., 1994).

Refrakter cevherlerde arsenopirit, pirit ve kalkopirit altını bünyesinde tutan başlıca mineraller. Sülfürlü yapıdaki refrakter altın cevherler için üretim yöntem seçimi güçtür ve büyük ölçüde mineraloji ve altının yerleşimine bağlıdır. Refrakter altın cevherlerinin ön hazırlığında kullanılan iyileştirme işlemleri Şekil 3.6'da gösterilmiştir (La Brooy ve ark., 1994).



Şekil 3.6 Refrakter cevherlerin ön hazırlığında kullanılan iyileştirme işlemleri (La Brooy ve ark., 1994).

Altın madenciliğinde, kırma/öğütme sonrasında teknoloji seçimi, cevher içindeki altın taneciklerinin büyüklüğüne, cevherin oluşum koşullarına, türüne, cevherde bulunan diğer minerallerin mineralojik, kimyasal, fiziksel özelliklerine ve altının tenörüne bağlıdır. Genelde, altın tanecikleri mikroskobik boyutta dağılmış ise siyanür yardımı ile çözeltiye alma teknolojisi kullanılmaktadır. 120 yılı aşkın süredir siyanürleme teknolojisi dünya altın üretiminin %84'ünde kullanılmaktadır. Cevher içerisindeki altının alınmasında uygulanan yöntemler isteğe bağlı değildir. Altın taneciklerinin boyutuna ve cevherin özelliklerine bağlı olarak dünya altın madenciliğinde başlıca 3 yöntem kullanılmaktadır (Roshan, 1990).



Şekil 3.7 Endüstriyel proseslerin dünya altın üretimindeki payı (Roshan, 1990).

Altın zenginleştirmesinde dünyada 4 ana yöntem kullanılmaktadır.

- ✓ Gravite konsantrasyonu (daha çok altının nabit olarak bulunduğu plaser altın yataklarında).
- ✓ Flotasyon (altının kayadaki diğer minerallerle birlikte olduğu ve baz metal cevherleri için).
- ✓ Siyanür liçi (dünya altın üretiminin %84'den fazlasının yapılmasında kullanılan en güncel ve modern yöntemdir).
- ✓ Civalı amalgamasyon (geri dönüşü mümkün olmayan çevresel etkileri mevcut, bırakılmaya başlanmıştır).

Çözültiden metal kazanımın kolay ve ucuz olması, prosesin yüksek sıcaklık gerektirmemesi, düşük tenörlü cevherlere yaygın olarak uygulanıyor olması gibi üstünlükler liç işlemini; yüksek sıcaklık gerektiren ve işletme maliyeti yüksek olan pirometalurjiye karşı daha avantajlı hale getirmektedir. Bunlara ilave olarak, liç işleminde değerli metaller doğrudan çözültiden kazanılmakta ve SO₂ gibi zararlı gazların emisyonunun önlenmesiyle de çevreye daha az zararlı ve eliminasyonu daha düşük maliyet gerektiren atıklar ortaya çıkmaktadır. Bu avantajların yanısıra hidrometalurjik işlemler de bazı dezavantajlara sahiptir. Bunlar çözültideki düşük metal kazanımı, katı-sıvı ayırımındaki güçlükler, düşük sıcaklık uygulanması nedeniyle fazla zamana gereksinim duyulması ve saflaştırma sırasındaki empürütelerin olumsuz etkileridir.

3.2 Fiziksel ve Fizikokimyasal Yöntemler

Öğütme, yıkama, gravite ve flotasyon gibi cevher zenginleştirme proseslerinin olumlu sonuç verdiği 30-40 mikrondan daha iri tane boyutlarında altın içeren ve öğütmeyle altının serbestleştirilebildiği cevherlere uygulanmaktadır (Yıldız, 2010).

3.3 Kimyasal Yöntemler

Kompleks ve bazı kuvarslı epitermal cevherlerde olduğu gibi altının diğer minerallerin kafes yapılarına dağılmış olması, kuvars kapanımları içinde ve 5-10 mikron tane iriliğinde bulunduğu cevherleşmelerde uygulanmaktadır. Cevher yapısındaki altın uygun bir çözücü ile sıvı faza geçerek hidrometalurjik proseslerle kazanılmaktadır (Yıldız, 2010).

Cevherdeki altının eldesinde kullanılan amalgamasyon, siyanürleme, bakteri liçi, tiyoüre ve asit liçi gibi kimyasal yöntemlerden yalnız amalgamasyon ve siyanürleme günümüzde endüstriyel boyutlu uygulamalarda kullanılmaktadır. Tiyooüre liçi özütleme kinetiğinin siyanürlemeye oranla daha hızlı ve zehirsiz oluşu avantajlarının olmasına rağmen çok sayıda metalle kompleks oluşturması, kolay oksitlenmesi ile

bozunması bu nedenle maliyeti arttırması ve kazanım oranını düşürmesi uygulama alanını engellemiştir. Asit liçi ise çok fazla asit tüketimi gerektirdiğinden endüstride kullanım alanı bulamamıştır (Yıldız, 2010).

3.4 Gravite Yöntemler ile Zenginleştirme

Günümüzde, plaser altın yataklarından serbest altının kazanılmasına yönelik çeşitli gravite ile zenginleştirme yöntemleri (oluklar, jigler sallantılı masalar vs.) mevcuttur. Bu yöntemlerle iri boyutlu altın %40-70 verim aralığında kazanılabilirken ince boyutlu altınların kazanımında oldukça yüksek kayıplar meydana gelmektedir. Farklı tipte birçok gravite ayırıcısı olmasına karşın, zenginleştirme ünitelerinin etkinlikleri ve altın boyutu ile kullanımları sınırlı olmaktadır. Bu sorunu çözmek için, çeşitli yoğunluğa göre ayırma metotları ve Falcon, Knelson Konsantratör ve Multy Gravity Seperator (MGS) ile zenginleştirme cihazları geliştirilmiştir. Bu cihazlar, santrifüj kuvvet etkisi altında partikül yoğunluğu ile ilgili özelliklerin arttırılması esasına göre çalışmaktadırlar. Ayrıca bu cihazlar ince taneli değerli minerallerin kazanılmasında etkilerini kanıtlamış durumdadırlar.

Gravite zenginleştirme metodu cevherlerden serbest ve iri altın taneleri kazanmak için uygulanırken, hidrometalurjik prosesler ince taneli altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde uygulanmaktadır. Flotasyon ve/veya siyanürleme öncesi iri altın tanelerinin kazanılması için gravite zenginleştirmesinin kullanımı toplam altın kazanımını arttırmaktadır. İri altın tanelerinin siyanür çözeltilerinde tamamen çözünmesi uzun zaman almaktadır. Gravimetrik yöntemlerle iri tanelerin önceden ayrılması liç süresini göreceli olarak azaltmaktadır. Ayrıca altın tanelerinin yüzeyleri siyanür ile çözünmeyi engelleyecek şekilde kirli, demirhidroksit veya organik bileşiklerle doğal olarak kaplanabilmektedir. Bu tip cevherlerde kullanılması ile liç verimini arttıracaktır (Feather ve Koen, 1973).

3.4.1 Knelson Gravite Konsantratörü

Altın cevherleri “serbest taneli”, “kompleks” ve “refrakter olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Serbest taneli cevherlerden 24 -72 saatlik geleneksel siyanür liçisiyle %90’lık bir altın kazanımı elde edilmektedir. İnce tanelerin gravite zenginleştirilmesi güç olmaktadır. Jigler, masalar, spiraller 100 mikrona kadar zenginleştirme yaparken bu boyut altında ki değerlerde etkinliklerini kaybetmektedirler. Bu duruma alternatif olarak yeni santrifüj gravite seperatörler geliştirilmiştir.

Standart Knelson Konsantratörü 1980’li yıllarda Byron Knelson tarafından geliştirilmiş 6 mm ya da daha az üst besleme boyutuyla çalışan santrifüj makinadır. İnce boyutlu altının kazanılmasında Knelson Konsantratör diğer yöntemlere nazaran oldukça etkin olmaktadır. Knelson Konsantratör santrifüj kuvvetin esas olduğu çanak tipli bir cihaz olup, yüksek hızda dönen oluklu bir konik kısımdan oluşmaktadır. %0-70 katı oranında cevher ile çalışmaktadır. Artık cihazın çıkış kısmından suyla birlikte sürekli olarak atılırken, konsantre temizleme işlemine kadar konik kısımda birikmektedir. Knelson Konsantratörlerde bir santrifüj kuvvet alanı içinde engelli çökme klasifikasyonu geçerli olmaktadır. İç çeper boyunca yatay oluklar içeren delikli konik kısım döndüğünde yerçekimi kuvvetinin 50-60 katı oranında bir kuvvet oluşturmaktadır. Konsantrenin alınması standart tip Knelson Konsantratörlerde cihaz durdurulduktan sonra gerçekleştirilmektedir (Huang, 1996).

Knelson konsantratörünün ana çalışma parametreleri yıkama suyu akış hızı, besleme pülp yoğunluğu ve konsantre kalma zamanıdır. Altın cevherleri için ön zenginleştirme konsantratörü olarak dizayn edilmiş olan Knelson konsantratörün zenginleştirme prensibi altın ve gang taneleri üzerine etkiyen santrifüj kuvvetlerin etkisiyle gerçekleştirilmektedir (Huang, 1996).

3.4.2 Falcon Gravite Konsantratörü

Falcon Konsantratör ilk defa 1980 yılında geliştirilmiş ve ilk ticari uygulaması 1986'da yapılmıştır. Falcon Konsantratör aralarında özgül ağırlık farkı olan mineralleri birbirinden yüksek şiddetli bir santrifüj ortamda ayırmaktadır. Falcon Konsantratörün, diğer yoğunluğa göre ayırma yapan cihazlarda (Santrifüj kuvvetin kullanılmadığı) şlam olarak artığa giden ince taneli, değerli minerallerin konsantre olarak kazanımı amaçlanmaktadır. Uygulanan "G" kuvvetinin büyüklüğü ile pülp içinde konsantrasyonu düşük, küçük boyutlu ağır minerallerinin kazanımı sağlanmaktadır. Uygulanan kuvvet "400 G"ye kadar çıkabilmektedir. Cihaza -1 mm malzeme beslenebilir. Zenginleştiricide altın kazanımı yanısıra diğer ağır metallerin kazanımında da kullanılabilir (Yıldız 2010).

3.4.3 Multi Gravite Seperatör (MGS)

Cevher hazırlama tesislerinde şlam boyutu altında (-0.1 mm) ortaya çıkan ince malzemelerin kazanılması için konvansiyonel gravite yöntemlerine alternatif olarak, İngiliz Teknoloji Grubu Desteğinde Richart Mozley tarafından Multi-Gravite Ayırıcısı (MGS) geliştirilmiştir. Dünyadaki cevher hazırlama tesislerinde uygulanan proseslerde %25'den fazla ince boyuttaki kıymetli minerallerin kazanılamamakta ve atık barajına gönderilmektedir. Yüksek yerçekimli ayırıcılar cevher hazırlama tesislerinde çok ince boyuttaki atıkların içerdiği ve ekonomik olarak kazanımı zor olan, %80'i 6 mikron altı ve 2 mikrona kadar inebilen kalay, krom, altın, tungsten ve nadir metallerin gravite yöntemiyle kazanımına olanak sağlamaktadır. Taneler üzerinde etkin olan mekezkaç kuvveti klasik sarsıntılı masalar üzerinde etkin yerçekimi kuvvetinden yaklaşık 6-24 kat daha büyüktür. Sonuç olarak ise özgül ağırlıkları farklı tanelerin ayrılma zamanı azalmaktadır (Yıldız, 2010).

3.5 Amalgamasyon Yöntemi

Nispeten iri altın tanelerinin kazanılmasında kullanılan bu yöntem metalik cevherin saf altınla temas ettirilip amalgam yapmasına dayanır. Günümüzde, dünya altın üretimindeki kullanım oranı yaklaşık olarak %10'dur.

Bu yöntemin teknik olarak uygulaması; altın taneciklerinin iri boyutlarda olması ve amalgamasyonu etkileyen arsenik, antimuan, bizmut ve diğer sülfürlü minerallerin ortamda bulunmaması ile yapılmaktadır. Günümüzde nabit altın içeren cevherlerin gravite yöntemiyle zenginleştirilmiş konsantrelerine uygulanmaktadır (Yıldız, 2010).

3.6 Flotasyon Yöntemi

Flotasyon yönteminde, genellikle, altın içeren cevherlerden sülfürlü ön konsantreler üretilir. Altın kazanımında sorun yaratan element ve minerallerden altının selektif konsantre olarak kazanılması olanaklıdır. Altın ve gümüş cevherleri; pirotin, Cu, As, Sb gibi siyanür tüketen mineraller ve bütümlü karbon ile grafit içeriyorsa bu elementler siyanür liçi işleminde ortamdaki oksijeni ve siyanürü harcarlar. Arsenik ve antimon, çözülmüş altın ve gümüş bileşiklerindeki altının yerine geçen bileşikler oluştururlar. Bütümlü karbon ve grafit ise altınlı çözeltilerdeki altın, gümüş iyonlarını adsorbe ederek liç verimini düşürürler. Ayrıca altın gümüş cevherlerindeki tellürid minerallerinin siyanür liçi ile çözündürme verimleri oldukça azdır. Bu nedenlerden dolayı;

- a) Siyanürlenecek cevherdeki zararlı elementleri uzaklaştırmak,
- b) Siyanürlemede çözünmeyen tellüridleri kazanmak,
- c) Gravite zengileştirmesi ve amalgamasyon işlemlerinin artıklarındaki altın gümüş kaçaklarını geri kazanmak
- d) Yüksek tenörlü altın ön konsantreleri üretmek için altın, gümüş cevherleri flotasyonla zenginleştirilir (Çilingir, 1990).

3.7 Siyanürizasyon Yöntemi

Kimyasal formülü CN^- olan bir anyondur. Çözeltiden metal kazanımın kolay ve ucuz olması, prosesin yüksek sıcaklık gerektirmemesi, düşük tenörlü cevherlere yaygın olarak uygulanıyor olması gibi üstünlükler liç işlemini; yüksek sıcaklık gerektiren ve işletme maliyeti yüksek olan pirometalurjiye karşı daha avantajlı hale getirmektedir. Bunlara ilave olarak, liç işleminde değerli metaller doğrudan çözeltiden kazanılmakta ve SO_2 gibi zararlı gazların emisyonunun önlenmesiyle de çevreye daha az zararlı ve eliminasyonu daha düşük maliyet gerektiren atıklar ortaya çıkmaktadır. Bu avantajların yanısıra hidrometalurjik işlemler de bazı dezavantajlara sahiptir. Bunlar çözeltideki düşük metal kazanımı, katı-sıvı ayırımındaki güçlükler, düşük sıcaklık uygulanması nedeniyle fazla zamana gereksinim duyulması ve saflaştırma sırasındaki safsızlıkların olumsuz etkileridir.

3.8 Diğer Yöntemler

Alternatif yöntemler arasında, altın cevherleşmesinin demir içermeyen sülfürlerle birlikte bulunması halinde pirometalurjik yöntemler uygulanabilmektedir. Oksitleyici kavurma gerektiren cevher ve konsantreler genellikle arsenopirit, stibnit, pirotin ve pirit minerallerinin bir ya da birkaçını birlikte içerirler. Altın bu mineraller içinde çok ince taneli olarak dağıldığından ince öğütme bile siyanürlemeyle yeterli oranda altın kazanılmasına yetmeyebilir. Gerek ekonomik ve çevre sağlığı ve gerekse teknik yönden zorluklar içeren oksitleyici kavurma uygulaması zengin refrakter cevherler için çözüm yollarından birini oluşturmaktadır. Bu kavurma yönteminde sıcaklık genellikle $600^{\circ}C$ 'nin altındadır. Oksijen konsantrasyonunun yüksek olması As_2O_5 , Sb_2O_5 gibi bileşiklerin oluşmasına yolaçar. Bunların ana mahsuru, siyanür harcamasını arttırarak verimi düşüren bileşikler oluşturmalarıdır. Kavurma sonucu demir sülfür mineralleri hematite dönüşürler. Oluşan hematitin özgül yüzey alanı, bu maddenin gözenekli olması nedeniyle yüksek olur. Ancak sıcaklığın $500^{\circ}C$ 'den daha yüksek olması, kristal büyümesine ve sinterlemeye yolaçararak özgül yüzey alanını azaltır. Bu nedenle, siyanürün altın yüzeylerine ulaşması güçleşir ve verim düşer (Bayraktar ve Yarar, 2010).

Günümüzde siyanüre alternatif olarak çok sayıda araştırma yapılmaktadır ancak henüz çok iyi tanınmayan ve ekonomik olarak kullanımı bilinmeyen reaktiflerde bulunmaktadır. Bu alternatifler içinde, ekonomik olarak kullanılabilirliği mümkün olan reaktif tiyoüredir. Ancak tiyoürenin endüstriyel olarak kullanılmasında önemli iki dezavantajı görülmektedir:

- Siyanürden çok daha pahalıdır.
- Kanserojen etkiye sahip olması nedeniyle çevresel açıdan siyanüre göre daha tehlikelidir.

Tiyoüre yönteminde kontrolü gereken SO_2 gibi bir gazın kullanımına gereksinim duyulmaktadır. Tiyosülfat veya klor gibi siyanüre alternatif reaktiflerin de endüstriyel ölçekte kullanılmaları durumunda çevreye önemli olumsuzlukları vardır. Biyolojik liç yöntemleri; siyanürle çözüdüremeye karşı bire bir alternatif değildir ancak oksitlenme ile bir ön zenginleştirme kademesi olarak değerlendirilmektedir.

BÖLÜM DÖRT

LİÇ

4.1 Siyanür ve Altın

Yüzeeye yakın oluşın altın yataklarında altınla birlikte bulunan diğer mineraller su, oksijen, güneş ışığı ve bakterilerin etkisiyle oksitlenmekte ve bu cevherler geleneksel siyanür liçi ile kolaylıkla işlenebilmektedir. Ancak bu tip yataklar kolay kazanımı nedeniyle hızla tükenmektedir. Günümüzde toplam altın üretiminin 1/3'ü derin, refrakter olarak nitelendirilen altın yataklarından yapılmaktadır. Bu oran oksitlenmiş, yüzeeye yakın olan altın yataklarının tükenmesi ile giderek artmaktadır. Refrakter altın yataklarındaki altın tanecikleri siyanür tarafından çözülemeyen, sülfür mineralleri, özellikle pirit ve arsenopirit, içerisinde kilitli durumdadır. Bu tip altın kaynaklarının değerlendirilebilmesi, sülfür minerallerini parçalayıp altının siyanür ile temasını sağlayacak bir takım ön hazırlama işlemlerinin siyanür liçi öncesinde uygulanması ile mümkün olmaktadır (Brierly, 1995).

Cevherlerin geleneksel siyanür liçine düşük cevap vermesinin nedenleri aşağıdaki gibi özetlenmektedir;

- Altın yüksek refrakter cevherlerde mineral matrisinde kilitli kalabilir ve bu yüzden liç reaktifleri altına ulaşamayabilir.
- Kompleks cevherlerde cevher içindeki metal sülfürler (bakır, arsenik ve antimon sülfürleri) gibi yüksek oranda siyanür ve oksijen tüketen bileşenler var ise liç reaktiflerini yan reaksiyonlarla tüketebilir ve yetersiz siyanür ve/veya oksijen nedeniyle altın çözeltiye alınamayabilir.
- Cevher içerisinde bulunabilecek bazı bileşikler çözünmüş altın siyanür kompleksini liç çözeltisinden çökeltebilir veya karbonlu mineraller ile adsorblayabilir.
- Altın; tellüritler ve arsenitler, aurostibnit ($AuSb_2$) ve maldonit (Au_2Bi) gibi çözünmeyen alaşımlar veya bileşikler halinde bulunabilir.
- Altın, oksitli cevherlerde siyanür tarafından çözünme hızı önemli derecede azalacak şekilde, demir oksit fazı ile kaplanmış olabilir.

- Altın, çok iri tanecikler halinde bulunabilir (tam çözülme olmaz).
- Kireç tüketimine neden olacak asit bileşenlere sahip olabilir.
- Siyanürün etki etmesini engelleyecek killi malzemeden oluşabilir (McDonald, Jhonson, Sandberg, 1990; Oygür, 1996).

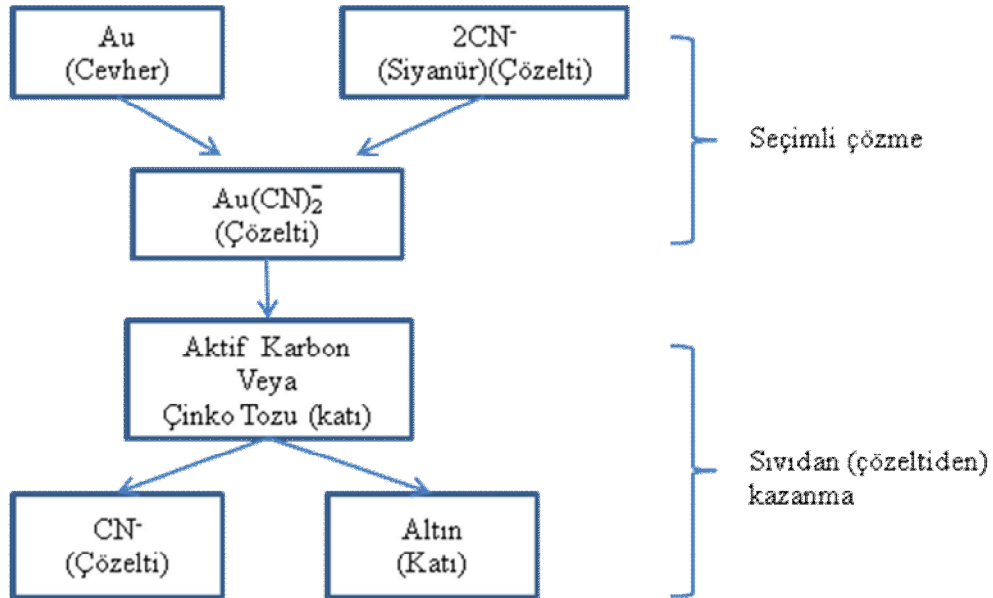
Bazı cevherler prosesin stratejisini etkileyebilecek şekilde bu faktörlerin birden fazlasını içerebilir. Bu yüzden cevher mineralojisi refrakterliğin derecesini belirlemektedir. Kompleks cevherler yüksek siyanür, oksijen tüketen ve altın adsorbe eden cevherler olarak sınıflandırılabilir.

Siyanür liçi ile cevherden altının kazanılması uzun süreden beri neredeyse geleneksel olarak uygulanmaktadır. Siyanürün ve yöntemin sürekli kullanımının sebebi prosesin kimyasal mekanizmasının iyi bilinmesi, uygulama yönteminin basit ve ekonomik oluşu, çok ince taneli ve fakir cevherlere bile yüksek verimle uygulanabilmesidir. Fakat diğer taraftan siyanürün zehirli bir madde olması ve düşük çözme hızına sahip olması yani liç süresinin uzun olması (24-72 saat), siyanisit içeren (sülfürlü, bakır oksitli, karbonlu mineraller gibi) bazı cevherlerin siyanürizasyonda düşük altın kazanma verimlerinin olması alternatif çözümler araştırılmasını da gündeme getirmektedir.

4.2 Siyanürün Altın Kazanım Mekanizması

Siyanür kullanılarak altın elde etme tekniği ilk kez 1867 yılında A.B.D.'de kullanılmasına karşın ancak 1950'li yılların başında siyanür çözeltisi içinde altının, aktif karbonla kolaylıkla adsorplanabileceği belirlendikten sonra siyanürleme tekniğinin kullanımı artmıştır.

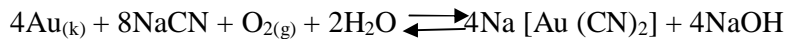
Uygulanan yöntem; sodyum siyanür çözeltisi içinde altının selektif olarak çözünmesi ve çözeltiden altının kazanılması temeline dayanır. Çözeltiden altının ekstraksiyonu, metalik bir toz (çinko veya alüminyum) yöntemiyle altının metalik olarak çöktürülmesi veya karbon absorpsiyonu ile gerçekleştirilir (Şekil 4.1). Filtrasyon ve ters akımlı dekantasyon yöntemleri ile de altınlı çözeltiden altın geri kazanılır. Prosesin son kademesini elektroliz ve rafinasyon oluşturmaktadır.



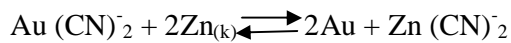
Şekil 4.1 Siyanürizasyon prosesinin şematik gösterilişi (Acarkan, 1997).

Altının serbestleştiği veya siyanür anyonunun katı fazdaki altına ulaşım reaksiyon verebileceği en uygun tane iriliğine öğütülüp pülp haline getirildikten sonra içinde oksijenin de bulunduğu bazik ortamda aşağıdaki reaksiyon ile altın siyanür kompleksi halinde sıvı faza geçmektedir (Habashi, 1970).

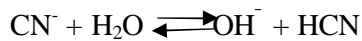
Altın'ın çözünmesi :



Çözeltiden altının kazanımı (Çinko çöktürmesi haline)



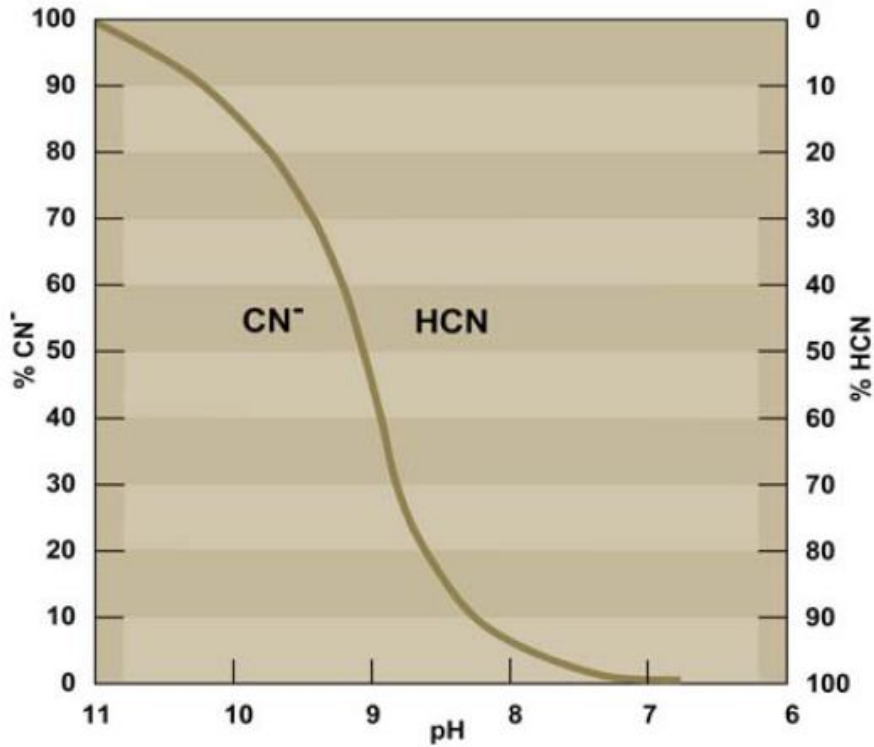
CN⁻ anyonunun hidrolizi



Serbest siyanür terimi siyanür iyonu (CN⁻) ve hidrosiyanik veya prusik asit adıyla da bilinen hidrojen siyanürü (HCN) kapsar. Serbest siyanürün elde edilmesinde

NaCN, KCN, Ca(CN)₂ gibi inorganik tuz bileşenleri kullanılır. Bu bileşiklerin çeşitli çözeltilerdeki ayrışma reaksiyonları, çözeltinin pH'ı ile yakından ilgilidir. CN⁻ iyonu pH ilişkisi Şekil 4.2'de verilmektedir. Ortam pH'ı yükseldikçe HCN varlığında da azalma olmaktadır (Habashi, 1970; Logsdon, Hagelstein, Mudder, 1999).

Siyanür iyonu (CN⁻), su içinde ortam pH'ına bağlı olarak moleküler formda hidrojen siyanür (HCN) ve hidroksil anyonu hidroliz olurlar. Yaklaşık pH = 9,3'de toplam siyanürün yarısı siyanür, yarısı hidrojen siyanür olarak bulunur. pH = 8,4'de ise toplam siyanürün %90'dan fazlası hidrojen siyanür olarak bulunmaktadır. Bu nedenle siyanürasyon sırasında pH'ın çok iyi kontrol edilmesi gereklidir. Ortamdaki CN⁻'in hidroliz yoluyla tehlikeli hidrojen siyanür (HCN) gazına dönüşmesini önlemek amacıyla, çözeltilere sönmüş kireç ilave edilerek ortamın alkali koşullarda tutulması (pH=10–11) gerekmektedir (Logsdon ve ark., 1999).



Şekil 4.2 pH'ya bağlı olarak CN⁻/HCN dengesi (Logsdon ve ark., 1999).

Altın doğada genelde nabit halde bulunmaktadır. Altınla birlikte pirit, galen, sfalerit, arsenopirit, stibnit, pirotin ve kalkopirit gibi sülfürlü minerallerde mevcuttur.

Gang mineralleri olarak kuvars, feldispat, mika, garnet ve kalsite de rastlanmaktadır. Gang mineralleri genelde siyanür çözeltisi içinde çözünmez iken bazı metalik mineraller bir miktar çözünmektedir. Tablo 4.1’de bazı metal içeren minerallerin siyanür çözeltisindeki çözünürlükleri verilmektedir. Az miktarda kurşun, civa, bizmut ve talyum tuzlarının altının çözünmesini hızlandırdığı tespit edilmesine rağmen siyanür içinde çözülmüş halde bulunan diğer metal iyonları oksijen ve siyanür tüketimi açısından ayrıca yüzeyde film oluşturma nedeni ile altın çözünme hızını düşürdükleri bilinmektedir (Karadeniz, 1996).

Tablo 4.1 Metal içeren minerallerin siyanür çözeltisinde çözünürlüğü (Karadeniz, 1996).

Metal	Mineral	Kimyasal Formül	Çözünürlük(%) (24 saat)
Altın	Kalaverit	$AuTe_2$	Kolay çözünür
Gümüş	Arjantit	Ag_2S	Kolay çözünür
Bakır	Azurit	$2CuCO_3.Cu(OH)_2$	94,5
	Malakit	$CuCO_3.Cu(OH)_2$	90,2
	Tetraedrit	$4Cu_2S.Sb_2S_3$	21,9
	Kalkopirit	$CuFeS_2$	5,6
Çinko	Sfalerit	ZnS	18,4
Demir	Pirotin	FeS	Kolay çözünür
	Pirit	FeS_2	Zor çözünür
Arsenik	Orpiment	As_2S_3	73,0
	Realgar	As_2S_2	9,4
	Arsenopirit	$FeAsS$	0,9
Antimuan	Stibnit	Sb_2S_3	21,1
Kurşun	Galen	PbS	Alkali ortamda çözünür

Cevher içerisinde bulunan, özellikle bakır, arsenik antimuan ve pirotin gibi mineraller siyanürü fazla miktarda tüketen altın ve gümüşün çözeltiye geçmesini zorlaştıran maddelerdir. Söz konusu zararlı mineraller siyanisid adı ile bilinmekte olup, etkilerini azaltmak ve koruyucu bir alkalilik oluşturmak amacıyla sisteme kireç eklenmektedir. Kirecin diğer bir önemli görevi de çözeltideki gangın çökmesini kolaylaştırmaktır. Karbondioksit ve asit yapan mineraller, siyanürün parçalanmasına neden olurlar. Bunların etkileri, çözeltinin pH değeri 10-11 arasında kalacak şekilde, kireç veya kostik soda ilave edilerek azaltılır. Demir sülfürler siyanürleme süresince

oksitlenerek asit üretirler. Bakır mineralleri siyanür çözeltisinde birlikte çözünerek büyük miktarda siyanür ve oksijen sarfiyatına neden olurlar. Arsenik içeren mineraller siyanürü tüketerek altının çözünmesini engeller. Arsenopirit, siyanür çözeltisinde hızla oksitlenerek altının çözünmesini geciktirir. Stibnit de siyanürlemeyi engeller. Bazı metal iyonları (Fe^{+2} , Fe^{+3} , Cu^{+2} , Ni^{+2} , Zn^{+2} , Mn^{+2}) siyanürlemeyi geciktirirler. Sedimanter tip altın cevherlerinin içerisinde oluşmuş bütümlü materyaller çözülmüş olan altını adsorbe eder ve ganga kaçırlar. Organik bileşiklerde (çözülmüş odun, yağ, makine yağı, flotasyon reaktifleri) çözme sırasında çözülmüş oksijeni tüketerek siyanürleme işlemini geciktirirler. Ayrıca siyanürleme işlemine tabi tutulacak konsantre bakır sülfat ve demir sülfat içeriyorsa cevher seyreltik sülfürik asit ile liç edilerek bakır ve demir ayrıldıktan sonra cevher alkali çözelti ile yıkanır. İnce öğütülmüş temiz konsantre siyanür ile liç edilir (Çilingir, 1990).

Bakır mineralleri önemli ölçüde çözünmektedir. Buna bağlı olarak da bir yandan siyanür tüketimini arttırmakta, diğer yandan da oluşan bakır siyanür kompleksleriyle çözünmeyi geciktirici bir fonksiyonu yerine getirmektedir. Arsenik ve antimon minerallerinin siyanürdeki çözünürlükleri düşüktür. Fakat orpiment minerallerinin çözünürlüğü yüksektir. Kompleks siyanür oluşturmazlar sadece pH'nın yüksek olması nedeniyle tiyo-arsenit ve tiya-antimonit bileşikleri olarak çözünürler. Bunlar oksijen ile reaksiyona girdiklerinden oksijeni tüketip altının çözünme kinetiğini negatif olarak etkilerler. Demir varlığı ise oksijen tüketimini arttırmaktadır (Karadeniz, 1996).

Altın kimyasal reaksiyona girme açısından, siyanür ve tiyoüre gibi birkaç kimyasal dışında, mevcut kimyasalların tümüne karşı dirençli bir metaldir. Suda çözünen siyanür tuzları cevher ile temas ettiklerinde cevher içindeki altını liç çözeltisine alırlar. Daha sonra, çözeltideki altın belirli kimyasal işlemler sonrasında çözeltiden ayrılır ve ergitilerek, genelde bir miktar gümüş ve diğer metallerle birlikte külçe halinde elde edilir.

Günümüzde dünyada üretilen altının yaklaşık %84'ü siyanür kullanılarak üretilmektedir (Roshan, 1990). Siyanür, sodyum siyanür (NaCN) ve potasyum siyanür (KCN) gibi bileşikler halinde kullanılır. Siyanürleme yönteminin temel prensibi, kayaç içindeki altını siyanür kompleksi halinde nispeten seçici olarak çözeltilmeye almak ve yan kayaçtan ayırıştırmaaktır. Siyanürleme yöntemi, cevherin ana kayadan siyanür çözeltilmesine ilk alınma şekline göre iki gruba ayrılır. Bunlar tank liçi ve yığın liçidir

Tank liçinde ocaktan çıkarılan cevhere boyut küçültme (kıırma-öğütme) uygulanır ve siyanür çözeltilisi tankın içinden geçirilerek altın ve gümüşün çözümlenmesi sağlanır. Altının tamamının çözeltilmeye geçmesi birkaç gün alabilir. İçinde altın taşıyan bu çözeltili devamlı olarak aktif karbon kolonlarından geçirilir ve altın ayrıca varsa gümüşün karbon tarafından adsorpsiyonu sağlanır.

Yığın liçinde doğrudan madenden çıkarılmış veya kabaca kırılmış cevher geçirgen olmayan bir taban üzerine yığılır. Yığılan malzeme üzerine damlatma yöntemiyle siyanür çözeltilisi püskürtülür. 0,5-1,0 g/L'lik NaCN çözeltilisinin akma hızı yaklaşık 15 L/dk'dır. Yığın üzerine yapılan ilk püskürtmede çözeltilinin tabana ulaşması 3-5 gün sürmektedir. Belirli bir süre içinde cevherden ayrılan altın, çözeltili içinde tabana süzülür ve bir havuzda toplanır (Yıldız, 2010).

Yığın liçi yöntemi, altın ve gümüşü tutan minerallerin karbonlu malzeme içermemesi, yüksek derecede siyanür tüketen bileşenlere ve kireç tüketimine neden olacak asit özelliğinde bileşiklere sahip olmaması, yığının içerisinden siyanür çözeltilisinin akmasını engelleyecek kil benzeri çok ince malzemedan oluşmaması, altın tanelerini örtecek olan demiroksit oluşumuna uygun malzeme içermemesine bağlıdır (Yıldız, 2010).

Yığın liçi ve tank liçi işleminden sonra elde edilen altınlı siyanür çözeltilisinden, aktif karbonu altından ve gümüşten ayırmak için ya aktif kömür yakılarak altın ve gümüş açığa çıkarılır ya da kömürün üzerine sıcak kostik siyanür çözeltilisi dökülür.

Aktif karbondan ayrılan altın ve gümüş çözeltiliye geçer. Daha sonra altın ve gümüş çinko tozuyla çöktürülerek ya da elektroliz ile çözeltiden ayrılır (Ersoy, 1996).

Katı fazdaki altının siyanürle çözündürülerek sıvı faza geçirilmesinde uygulanacak en uygun liç yönteminin seçiminde cevherin özellikleri, tenörü ve altının tane iriliği dikkate alınmaktadır. 3 g/ton ve daha düşük tenörlerde altın içeren, geçirgenliği yüksek cevherlerde, yığın liç yöntemi ekonomik koşullarda altın üretimini mümkün kılmaktadır. Daha yüksek tenörlerde ise karıştırma liçi uygulanmaktadır (Yıldız, 2010).

Siyanür liçinde altın çözünürlüğü; siyanür ve oksijen konsantrasyonu, sıcaklık, pH, altının yüzey alanı büyüklüğü, karıştırma hızı ve çözeltide bulunabilecek diğer iyonlara bağlı olarak değişir.

4.3 Siyanür Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları

Altının siyanürde çözünürlüğü ilk defa İsveç’li Scheele tarafından 1783 yılında bulunmuştur. O yıldan sonra çeşitli çalışmalarda kullanılan siyanür için ilk tesis 1889 yılında Yeni Zelanda’da Crown Mine isimli şirket tarafından kurulmuştur. Bu kadar uzun süreden beri kullanılan siyanür bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

Avantajları;

- 1) Geniş çapta endüstriyel ölçekli kullanımı,
- 2) Yüksek Au çözme verimleri,
- 3) Aktif karbon üzerine efektif adsorpsiyon,
- 4) Liç kimyası ve mekanizmasının çok iyi bilinmesidir.

Dezavantajları;

- 1) Oldukça zehirleyici,
- 2) Yüksek pH değerlerinde çalışma gereği,
- 3) Yavaş liç kinetiği,
- 4) Çevresel kısıtlamalardır.

4.4 Oksijen Basıncı Altında Alkali Ortamda Siyanürleştirme

Bu proses altının cevher içinde dağılmış olmadığı durumlardaki refrakter veya oksitli altın cevherlerine uygulanabilmektedir. Son zamanlarda Muir ve Aylmore (2005) yöntemin stibnit konsantrelerine uygulanmasına çalışmış ve bu yöntemin atmosferik basınçta ve alkali ortamdaki siyanürleştirmeden daha etkili olduğu ortaya konmuştur. Liç süresi 15 - 20 dk'ya indirilebilmiştir. Bu metot çok ince dağılmış durumdaki altının sülfürlü refrakter cevherlerinden (FeS_2 ve $FeAsS$) eldesi için etkili olmaktadır. Basınç altında siyanürleştirme yüksek sıcaklıklarda ($62^{\circ}C$ 'nin üzerinde) siyanür çözeltisinin parçalanması nedeniyle tavsiye edilmemektedir.

4.5 Karbon ile Çözme (CIP)

Bu proses karbonlu cevherlere uygulanır. Altın cevherlerinde bulunan karbon, liç çözeltilerinden altın siyanür komplekslerini adsorbe etmektedir. Liç sırasında aktif karbon ilavesi bu problemin üstesinden gelmede en iyi yöntemdir. Yüksek aktiviteden dolayı altın kompleksi ile cevherdeki karbonlu maddeden ziyade aktif karbon üzerinde tercihli olarak adsorbe olur.

Aktif karbon adsorpsiyonu, altın klorür ve siyanürün karbon tarafından kuvvetli bir şekilde adsorbe edilmesine dayanır. Bu işlem sıvı fazına geçen altını katı-sıvı ayırımına gerek kalmaksızın zenginleştiren bir yöntemdir. Kıymetli metal yüklü karbona uygulanan sıyırma işleminden sonra altın ve gümüşün kazanılması ise ya elektrolitik yolla ya da çinko tozu çöktürmesi ile gerçekleşir. Günümüzde elektrolitik kazanım daha çok tercih edilmektedir.

4.6 Altının Çözeltiden Kazanılması

Siyanürleme sonucu $Au(CN)_2^-$, anyonik kompleksi halinde sıvı faza geçirilen altının geri kazanılması için endüstriyel boyutta uygulanan prosesler (Karadeniz, 1996);

- Çinko tozu ile çöktürme
- Aktif karbona adsorpsiyon
- İyon değiştirme

- Elektroliz olmak üzere 4 farklı şekilde yapılabilmektedir.

4.7 Siyanürlü Çözeltilerin Arıtılması ve Yeniden Kullanılması

Siyanürlü çözeltilerin arıtılmasında dört genel yöntem vardır:

- Doğal bozundurma
- Kimyasal oksidasyon
- Çökeltme
- Biyo bozundurma

Ayrıca çeşitli teknolojilerle siyanür geri dönüştürülerek yeniden kullanımına imkân tanımaktadır.

Temel doğal bozunma mekanizması buharlaşma ve ardından atmosferde daha az toksik kimyasal maddelere dönüşümlerdir. Biyolojik oksitlenme, çökeltme ve güneş ışınlarının etkileri gibi diğer faktörler de siyanürün bozunmasına katkıda bulunmaktadır (Logsdon ve ark., 1999).

Siyanürün arıtılması için Kimyasal Oksitlenme prosesleri, SO₂/HAVA (Kanada'nın INCO şirketi tarafından geliştirilmiş) ile H₂O₂ (hidrojen peroksit) (Degussa tarafından geliştirilmiş) gibi proseslerdir. Kimyasal oksitlenmenin daha eski bir alternatifi olan alkali klorlama prosesi günümüzde nadiren kullanılmaktadır. SO₂/HAVA prosesinde serbest ve WAD siyanür oksitlenir, demir siyanür gibi çözünmeyen bileşikler katı halde çöker. Proses, çözeltilere veya çamurlara uygulanabilir, reaksiyon çok süratlidir. Prosesi kullanmak için lisans alma zarureti, proses tesisini inşa etmenin maliyeti, sistemi optimize etmek için ampirik olarak deneme zorunluluğu ve siyanürün ara yan ürünlerini oksitleyememesi prosesin potansiyel sınırlamalarıdır. Kuvvetli bir oksitleyici olan hidrojen peroksit, serbest ve WAD siyanürü amonyak ve karbonata oksitler. Demir siyanürler peroksitlerle oksitlenmezler ancak suda çözünmeyen duraylı katı olarak çökeller (Logsdon ve ark., 1999).

Demir gibi bileşik yapıcılarının ilavesiyle duraylı siyanürlerin çökmesi sağlanabilir. Bu işlem serbest siyanür konsantrasyonunu azalttığı gibi, ortamda

Arslan ve ark., (2005) Kastamonu – Küre yöresinde beş değişik sülfürlü bakır yatağı ile de çalışmış ve bu yöredeki cevherlerin yüksek Cu ve Co içerdiklerini bunun yanı sıra değerli metallere Au ve Ag'ninde önemli ölçüde olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarının amacı pirit konsantrelerindeki Cu, Co ve değerli metalleri kazanmaktır. Bakır ve kobaltı kazanmak için Outokumpu prosesi (sülfatlayıcı kavurma + H₂SO₄ liçi) uygulanmış ve liç keklerinden de Au ve Ag siyanür liçi ile kazanılmıştır. Pirit konsantrelerinin sülfatlayıcı kavurma deneylerinde optimum kavurma 690°C sıcaklık ve 4 saatlik kavurma süresi olarak bulunmuştur. Kavrulmuş ürün seyreltik H₂SO₄ çözeltisinde çözündürülmüş ve optimum koşullara 20 g/L asit konsantrasyonunda 60°C sıcaklık, 1/3 katı sıvı oranı ve 2 saatlik çözündürme süresi olarak bulunmuştur. Bu koşullarda bakırın %95,8'i ve kobaltın %81,9'u çözeltilmeye anabilmiştir. Kalan Au ve Ag'li atıklara ise siyanür liçi uygulanmıştır. Optimum koşullar 0,4 g/L NaCN konsantrasyonunda 11-11,5 pH aralığında 48 saatlik liç sonunda %76,3 Au ve %71,4 Ag verimi ile elde edilmiştir. Kullanılan NaCN 2,41 kg/t bulunmuştur. Buradaki sülfatlayıcı kavurma koşullarının Cu ve Co çözünürlüklerine göre optimize edildiği ayrıca belirtilmiştir.

Oygür, (2006) Gümüşhane Mastra altın madenini incelemiş ve altın tane boylarının 5-20 mikron aralığında değiştiğini, serbest halde olduğunu ve sülfür minerallerinin damarlar içinde düzensiz dağıldığını belirtmiştir. Altın tenörü 12 g/t gümüş tenörü ise 8 g/t'dur. -0,075 mm tane boyutuna indirilen cevher için siyanürizasyon işleminin 10 saat sürdüğünü bu süre sonunda elde edilen altın, oksijen ilave edilmeden normal şartlarda %87,5 - %88,5, O₂ ilavesi ile verimin %92,5 - %94,5 Au'ya ulaştığını görmüştür.

Gümüşhane – Mastra altın cevheri ile yapılmış bir diğer çalışma ise 26 g/t Au ve 8,6 g/t Ag içeren cevherin %80'i -0,075 mm tane boyutu altına indirilmiştir. Bu boyuttaki malzeme 1200 g/dk besleme hızı, 4 L/dk su beslemesi, 1425 dev/dk motor dönüş hızı ile Knelson konsantratöre beslenmiştir. Buradaki altının %68,71'i 322,6 g/t Au tenörüyle kazanılmıştır. 1400 dev/dk karıştırma hızında, 1,5 g/L NaCN konsantrasyonunda, -0,038 mm tane boyutunda, %24 katı/sıvı oranında, 16 saatlik liç deneyi yapılmış ve %90-94 verim ile altın elde edilmiştir. Buradaki NaCN tüketimi

3,5-5 kg/t'dur. Çalışma sonucunda bu yörenin altın tane boyutu ve serbestleşmesi göz önüne alındığında gravite yöntemiyle iri boyuttaki serbest altının kazanılıp ardından atıklara NaCN ile yığın liçi uygulanmasının uygun olacağı belirtilmiştir (Celep ve ark., 2006a).

Ordu Akoluk cevherinde siyanür liçi ile altın gümüş kazanımının araştırıldığı bir başka çalışmada ise 1-88 mikron arasında tane boyutuna sahip altın, kuvars ve sülfür mineralleri içerisinde yer almaktadır. Cevherde 20,23 g/t altın, 220 g/t gümüş bulunmaktadır. Deneyler 1400 d/dk karıştırma hızında, NaCN konsantrasyonu 1,5 g/L, 24 saat siyanür liçi sonunda Au verim %47'lerden daha düşük seviyelerde kalmıştır. Gümüş de aynı şekilde %20 verim seviyelerinin altında kalmıştır. Refrakter özellikli bir cevher olduğundan bir ön işlem yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. NaCN tüketimi 4,4-6,4 kg/t arasında kalmıştır (Celep ve ark., 2006b).

Altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde şlamın etkisini incelemek isteyen araştırmacılar cevher numunelerindeki altını serbest hale getirmek için laboratuvar tip değirmende malzemenin %70'i 0,074 mm altında olacak şekilde öğütmüşlerdir. Öğütme işleminin ardından yapılan eleme işleminde cevherin %54,15'i çok ince tane boyutuna geçtiği (-0,021 mm) görülmüştür. Bu boyutu şlam olarak kabul etmişlerdir. Ayrıca bu boyut altındaki altının yüzdesi ise %26,79 olarak bulunmuştur. -0,021 mm tane boyutundaki malzeme %50 ve daha fazla pülp yoğunluklarında şlam ile kaplanabilir şeklinde değerlendirilmiştir. Araştırmacılar öncelikle farklı yoğunluklarda siyanür liçi testleri yapmış ve deneylerden %25 ve %35 pülpte katı oranlarında %50 ve %60'a göre daha fazla altının çözüldüğünü görmüşlerdir. Müteakiben şlamlı ve şlamın uzaklaştırıldığı numunelere ayrı ayrı liç yapmışlardır. Deneylerde bastırıcı reaktif olarak 500 g/t Na_2SiO_3 ve serbest sülfürü çöktürücü olarakda 200 g/t Pb asetat kullanmışlardır. Bu reaktifler kullanılarak yapılan deneylerde verimin arttığını gözlemlemişlerdir (Deusic, Pavlica ve Gomes, 1999).

Arslan, Müdüroğlu ve Perek (1999) tarafından sodyum siyanür liçi ile altın ve gümüş kazanımına O_2 yerine hidrojen peroksit katkısının etkisini incelemişlerdir. Deneylerde H_2O_2 konsantrasyonu artışına bağlı olarak Au ve Ag verimlerinin

arttığını ve 15 g/L H₂O₂ ilavesiyle 48 saatlik çözündürme sonunda Au veriminin %97 ve Ag veriminin %71 olduğu tespit edilmiştir.

-0,075 mm, %30 katı oranı, pH = 10,5 NaCN konsantrasyonu 1,2 g/L, 6 mg/L O₂ ilavesinde 300 dev/dk karıştırma hızında 48 saat süre ile yapılan deneyler sonucu altın %93,62, gümüş %60,27 verim ile elde edilmiştir (Tanrıverdi, Mordoğan, İpekoğlu, 1999).

Öztürk, Perek ve Arslan (2009) ön havalandırmanın ve peroksit (H₂O₂) ilavesinin Mastra altın cevheri siyanür liçine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan cevher Au tenörü 9,05 g/t, Ag tenörü ise 3 g/t'dur. Siyanür liçi öncesi uygulanan ön havalandırma işleminin Au çözünme verimini olumsuz etkilediği görülmüştür. Normal şartlarda 8 saatlik liç işlemi sonucunda %84 Au verimi elde edilmiştir. Çözünme verimi %84'den 4 saatlik ön havalandırma uygulandığında %64'e düşmüştür. Peroksit etkisini görmek için yapılan deneyde 2 saat çözündürme sonunda %48 iken 5g/L H₂O₂ ilavesi ile %70 Au verimine çıkmıştır. Bu değerden sonra artan peroksit konsantrasyonuna bağlı olarak azalmıştır. Bu çalışma ile siyanür liçi deney süresini arttırarak veya bir miktar peroksit katarak yüksek verimlerle Au kazanılabileceğini göstermişlerdir.

Kışladağ altın madenine ait cevher numunesi 1,2 g/t Au ve 0,9 g/t'dur. -0,106 mm ve -0,053 mm tane boyutlarında ve 8, 12, 24 saat liç sürelerinde çalışılmıştır. Tane boyutu, siyanür konsantrasyonu ve çözünme süresinin Au çözünme verimi üzerindeki etkisinin incelendiği deneylerde tane boyutunun küçültülmesiyle altın çözünme veriminde artış, çözünme süresinde azalma olmuştur. -0,106 mm tane boyutunda Au çözünme verimleri sırasıyla 8 saat için %50,7, 12 saat için %82,2 ve 24 saat için %92,9 iken; -0,053 mm tane boyutunda 8 saat için % 80,7 12 saat için %88,7 ve 24 saat için %93,3 verim elde edilmiştir. -0,106 mm tane boyutunda ise malzeme ile yapılan deneylerde NaCN konsantrasyonu arttıkça altın çözünme verimi artmaktadır. Ancak -0,053 mm boyutunda NaCN konsantrasyonunun belirgin bir etkisi olmamaktadır. Sonuç olarak her iki tane boyutunda da 8 saatlik çözündürme sonucunda -0,106 mm için %89,5 Au verimine -0,053 mm için %86,7 Au verimine ulaşılmıştır. NaCN tüketimi 1,9 kg/t hesaplanmıştır. Her iki boyut grubundada liç

süresi artışına bağlı olarak altın çözünme veriminde artış gözlenmesine rağmen 24 saatlik çözündürme sonunda yaklaşık olarak aynı Au çözünme verimi %93 olarak elde edilmiştir (Arslan, Özikinci ve Perek, 2009).

Arslan, Özdamar, Dinçer ve Gürkan (1999) yapmış oldukları başka bir çalışmada Artvin – Cerattepe yöresinden aldıkları altın cevherinin siyanür ile çözüldürülmesini incelemişlerdir. Numuneler 8,94 g/t Au ve 317,05 g/t Ag içermektedir. NaCN konsantrasyonunun (0,5-1,0-2,0-3,0 g/L), katı sıvı oranının (%10, %20 ve %30), pH ayarlayıcı reaktifin (NaOH ve Ca(OH)₂), kurşun nitrat ilavesinin, tane boyutunun (-0,075 mm ve -0,038 mm) etkisini incelemişlerdir. Optimum çözündürme koşulları -0,075 mm tane boyutunda, %10 katı/sıvı oranında, 1 g/L NaCN konsantrasyonunda, 0,4 g/L Ca(OH)₂ ve 300 g/t Pb(NO₃)₂ ilavesinde 24 saat süresince yapılan liç testleri ile elde etmişlerdir. Bu koşullar ile altının tamamı, gümüşün ise %50'si çözeltiliye alınmıştır. NaCN tüketimi ise 3,9 kg/t olarak tespit edilmiştir.

Mineralojik yapının cevher zenginleştirme işlemine etkisini incelemek üzere bir grup araştırmacı Mastra ve Kaletaş (Gümüşhane) altın cevherleri üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada Mastra ve Kaletaş (Gümüşhane) altın cevherlerinin ilk olarak mineralojik yapıları incelenmiş, cevherlerin zenginleştirme özellikleri araştırılmıştır. İkinci aşamada ise cevherlerin siyanür liç deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Kaletaş cevherinde kuvars ve kalsitin yanında realgar, orpiment, organik karbon ve pirit bulunmaktadır. Altın silisli ortamda yaklaşık 3-9 mikron boyutunda elektrik olarak gözlenmiştir. İncelenen örnekteki ortalama altın tenörü 6.8 g/t'dur. Mastra cevherinde altın tanelerinin boyutları genellikle 5-300 mikron arasında olup Au tenörü 26 g/t'dur. Altın, cevher mineralleri içinde kapanımlar halinde ve kuvars içerisinde düzensiz yapıda taneler halinde bulunmaktadır. 24 saatlik siyanür liçi sonrasında Mastra ve Kaletaş cevherleri için sırasıyla %90 ve %50 altın kazanımı elde edilmiştir. Kaletaş cevherinde altın kazanımının düşük olması, altın tanelerinin çok küçük boyutlarda bulunması ve cevherde organik karbon bulunmasından kaynaklanmaktadır. Kaletaş cevherinde liç verimini arttırmak ve her iki cevherde siyanür sarfiyatını azaltmak için kavurma gibi ön oksidasyon işlemleriyle sülfürlü minerallerin bozundurulması

gerekir. Mastra cevherindeki altının tane boyutlarının büyük ve bunların kuvars içinde bulunması, cevherin öğütme sonrasında gravite ile ön zenginleştirme yapılabileceğini göstermektedir (Alp, Celep, Tüysüz, Vııcıl ve Lermi, 2003).

4.9 Siyanür ve Çevre

Gerek teknik gerek ekonomik nedenlerle siyanür, cevherden altının elde edilmesinde tercihi zorunlu olan kimyasaldır. Siyanür, 1887 yılından beri metallerin eldesinde kullanılmakta ve günümüzde de altın eldesinde tüm dünyada güvenli bir şekilde kullanılmakta ve yönetilmektedir. Madencilik sektörü ve özellikle altın madenciliği sektörü üretim süreçlerinde siyanürü uzun yıllardan beri kullanmaktadır. Öldürücü bir madde olarak algılanmasına karşın siyanür, çağdaş yaşamın vazgeçilemez ve son derece yaygın olarak kullanılan bir kimyasal maddesidir. (Logsdon ve ark., 1999).

4.10 Siyanür

Siyanür, karbon ve azottan oluşan bir moleküldür. Doğada, pek çok böcekte, çeşitli sebze, meyve ve kabuklu yemişlerde, bitkide zararlılara karşı koruma unsuru olarak düşük konsantrasyonlarda bulunur. Kışın yollara dökülen tuzda, otomobil egzoz gazında ve dengeleyici olarak sofraya tuzu gibi günlük hayatımızda maruz kaldığımız çevrede siyanür bulunmaktadır. Siyanür, esas itibarıyla naylon ve akrilikler gibi geniş sınıai organik kimyasal ürün yelpazesinin sentezinde kullanılan az sayıdaki bileşenlerden biri olarak yılda yaklaşık 1,4 milyon ton üretilmektedir. Altın üretiminde kullanılan siyanür dünya toplam siyanür üretiminin yaklaşık %18'ini oluşturmaktadır (Logsdon ve ark., 1999).

Siyanürün düşük konsantrasyonlu çözeltilerden kurşun, bakır ve çinko gibi demir dışı metallerin kazanılmasında yardımcı flotasyon kimyasalı olarak kullanılır. Yılda, toplam siyanür üretiminin %80'ini oluşturan, bir milyon tonu aşkın siyanür nitril, naylon ve akrilik plastikler gibi organik kimyasalların üretiminde kullanılmaktadır. Sanayiideki önemli uygulamaları elektro kaplama, metal işleme, çelik sertleştirme,

fotografik uygulamalar ve sentetik lastik üretimidir. Tüketimin geriye kalan %20'si yükleme, boşaltma ve nakliyesi nispeten kolay ve güvenli bir katı siyanür türü olan sodyum siyanür imalâtında kullanılır (Şekil 4.4). Bu miktarın da %90'ı büyük çoğunluğu altın eldesi olmak üzere, madencilik sektöründe kullanılmaktadır (Logsdon ve ark., 1999).



Şekil 4.4 Dünya siyanür üretiminin madencilikte kullanılan kısmı (Logsdon ve ark., 1999).

Siyanür liç işlemi dünyada geniş çapta uygulanmasına karşın, birçok bilinen sakıncaları da mevcuttur. Düşük yığın liç verimleri, yüksek derecede zehirli (toksik) olması ve çevresel kısıtlamalar başlıca sakıncalarıdır (Dadgar, 1989).

BÖLÜM BEŞ

MİKRODALGA ENERJİ

5.1 Mikrodalga Fırımların Tarihçesi

Yaklaşık yarım yüzyıldan beri mikrodalga kullanımı insan hayatına yaygın bir biçimde girmiştir. Televizyon, radyo, telsiz ve telefon, uydu, radar, teleskop cihazı, osiloskop cihazı, mikrodalga fırın, mikrodalga kullanım alanlarından bazılarıdır. Bununla beraber, birçok gelişmiş mikrodalga cihazı da bilimsel araştırmalarda yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Mikrodalga'nın kaynağı olan magnetron İngiliz bilim adamları tarafından 1940'lı yıllarda keşfedilmiştir. İlk savunma amaçlı olarak II. Dünya Savaşı sırasında radar sistemlerinde kullanılmıştır. Mikrodalga'nın ısı etkisinin olduğu ise bu çalışmalar sırasında tamamen tesadüf eseri Dr. Percy Spencer adlı bilim adamı tarafından tespit edilmiştir. Bu ısı etkisinin ortaya çıkmasından sonra hemen gıdalar üzerinde çalışmalar başlamış ve 1946 yılında mikrodalga ısıtmanın ilk patenti alınmıştır. İlk ticari mikrodalga fırın ise 1947 yılında piyasaya çıkarılmıştır (Haque, 1999; Xia ve Pickles, 1997).

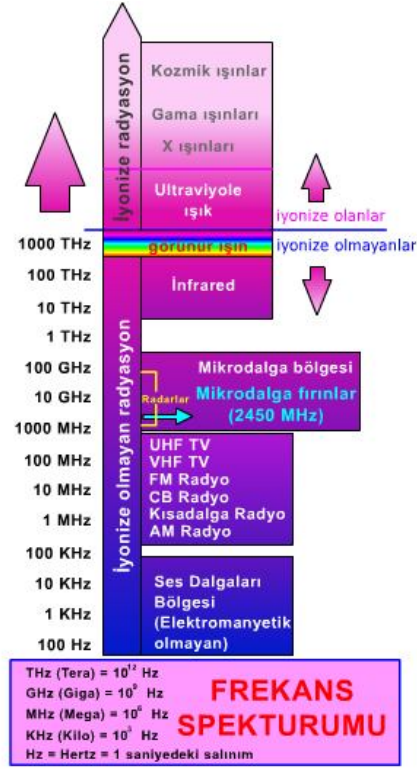
Mikrodalga enerjisinin, madencilik alanında kullanımı son 25 yılda yapılan çalışmalar ile hızla artmaktadır. Çalışmalarda mikrodalga enerjinin; ısıtma, eritme, öğütme, kurutma ve anhidrasyonda, refrakter altın cevherlerinin ön zenginleştirilmesinde, kömür desülfürizasyonunda, liç işlemlerinde, kavurmada, karbonun aktivasyonunda, oksitlerin karbotermik redüksiyonunda ve atıkların minimizasyonunda uygulama potansiyeli yüksektir. İlk yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen önemli avantajları arasında proses süresini kısaltması ve buna bağlı olarak düşük enerji tüketimi yer almaktadır (Haque, 1987; Marland, Han, Merchant ve Rowson, 2000; Rowson and Rice, 1990; Eskibalıcı, 2007).

5.2 Mikrodalga Enerji

Mikrodalga enerjisi, 300 MHz ile 300 GHz aralığında frekansa sahip iyonlaştırma özelliği olmayan elektromanyetik radyasyondur. Mikrodalga frekansları üç band içermektedir: Ultra Yüksek Frekans (UHF: 300MHz-3GHz), Süper Yüksek Frekans (SHF: 3GHz-30GHz) ve Aşırı Yüksek Frekans (EHF: 30GHz - 300GHz). Mikrodalgalar, iletişim alanında yoğun bir uygulamaya sahiptir, bununla beraber endüstriyel, bilimsel, tıbbi ve aletsel (ISMI: Industrial, Scientific, Medical and Instrumentations) uygulamalar için belirli frekanslara müsaade edilmektedir. Günümüzde 2450 MHz, 50 yıl önce Percy L.Spencer tarafından icat edilen ve evlerde kullanılan mikrodalga fırınlarında en çok kullanılan frekanstır (Haque,1999; Yıldız ve Alp, 2000).

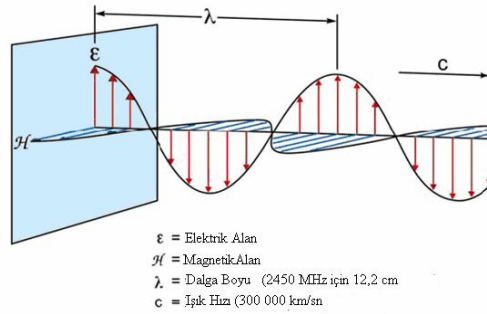
Mikrodalga, nükleer olmayan ve iyonlaşmayan bir ışın şekli olup, TV ve FM radyo dalgaları gibi elektromagnetik dalgalar şeklinde yayılan bir enerjidir. Mikrodalgalar ürünün içinden, ışığın renkli camdan geçtiği gibi geçerler ve üründe kalıcı hiçbir etki bırakmazlar. Ürün bünyesinde herhangi bir değişiklik olmamaktadır. Mikrodalga uygulanabilmesi için ürünün dielektrik kaybına sahip olması yani değişken bir elektromagnetik alan uygulandığında, madde içinde dipolar elektrik yüklerinin oluşması gerekmektedir. Su molekülleri kolaylıkla dipolar elektrik yükleri oluşturabildiğinden, su içeren yapıda her madde, mikrodalga ile ısıtılmaya uygundur (Chan ve Reader, 2000).

Şekil 5.1’de bir elektromanyetik spektrumun dalga boyuna bağlı olarak aldığı isimler şematik olarak verilmiştir. Frekans spektrumuna bakıldığında, mikrodalga fırınlarda kullanılan mikrodalgaların frekansı TV dalgalarının üstünde ve radar dalgaları ile aynı frekans bölgesinde yer almaktadır. Aynı zamanda mikrodalgalar iyonize olmayan ışınlar bölgesinde yer almaktadır. İyonize olmayan ışınlar maddenin moleküler yapısına ve canlı hücrelerin yapısına bir zarar vermezler. İyonize olan ışınlar ise yüksek frekanslıdır ve maddelerin, hücrelerin yapısında kalıcı hasarlara yol açabilirler (What Are Microwaves?, b.t.).



Şekil 5.1 Elektromanyetik spektrumun dalga boyu dağılımı (What Are Microwaves?, b.t.).

Elektromanyetik ışınların dalga boyları ve frekanslarıyla tanımlandığı ve enerjinin dalga frekansı ile doğru, dalga boyu ile ters orantılı olduğu bilinmektedir. Mikrodalgalar; diğer elektromanyetik enerji formlarından (görülebilir, ultraviyole ya da kızılötesi ışınlar gibi) daha uzun dalga boylarına sahiptir. Bir elektromanyetik dalga, dalga boyu(λ), frekans (f) veya enerjisi ile karakterize edilmektedir. Şekil 5.2’de ise elektromagnetik dalganın görünümü verilmektedir (Chan ve ark., 2000).



Şekil 5.2 Bir elektromagnetik dalganın görünümü (Chan ve ark., 2000).

Elektromanyetik dalga birbirine dikey olan elektrik ve manyetik bileşenlerden oluşmaktadır. Her ikisi de iletim yönüne dikey düzlemedir. Elektrik ve manyetizma durgun (statik) halde olabilir. Ancak, hareket halindeki elektrik ve manyetik yükleri elektromanyetik dalgayı oluşturur. Bir elektromanyetik dalganın elektrik ve manyetik alanları birbirlerine ve dalganın hareket yönüne diktir. Şekil 5.2'deki elektrik alan ve yönü, manyetik alan ve yönü gösterilmektedir. Elektromanyetik dalga eksen çizgisi üstünde tek bir yönde ışık hızıyla hareket etmektedir (Chan ve ark., 2000).

Dalga Boyu (λ): İki tepe noktası arasındaki uzaklıktır.

Frekans: Elektromanyetik dalganın belli bir süredeki ve belli noktalardaki titreşim sayısıdır. Dalga boyu kısaldıkça, frekans artmaktadır, aralarında ters bir orantı vardır.

5.3 Mikrodalga ile Muamelenin Mekanizması

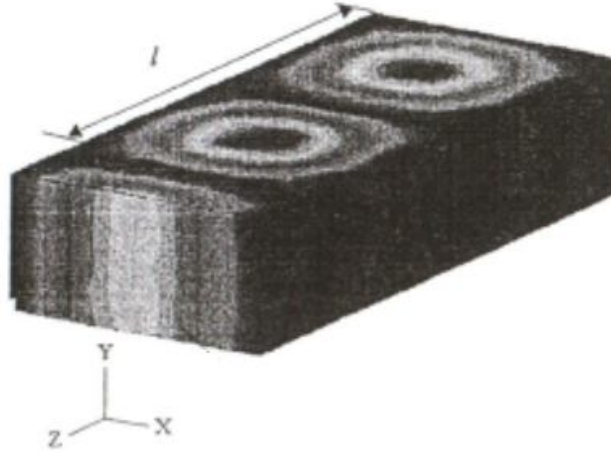
Mikrodalga fırınlar elektrik enerjisiyle çalışır. Fırının bu elektrik enerjisini mikrodalga enerjisine dönüştürmesi ise bir magnetron ile olur. Magnetron 2450 MHz frekansında mikrodalgalar üretir (Haque, 1999).

Mikrodalga ile ısıtmada, herhangi bir alan uygulamadan önce, üründe serbest halde bulunan elektronlar, alan uygulaması ile düzenli bir yapıya geçip dipoller oluştururlar. Ürün içinde bu dipoller her yerde bulunduğu için, ürün bir anda ısınmaya başlar. Bu olay ürün içinde gerçekleştiğinden, dış ortam, ürün içinde ısının yayılması ile ısınır. Oluşan ısı, konvansiyonel sistemin tersine, ürünün içinde daha sıcak olup dış yüzeyde gerek buharlaşma gerekse ısının ışımasını nedeni ile daha ılıktır. Bu hal, içerden dışarıya doğru ısıtma oluşturur. İçerde sıcaklığın daha fazla oluşu, ürün içindeki basıncı arttırdığı için, ürün içindeki nem, basıncın itmesi ile çok daha hızlı bir şekilde ürünün dış çeperine taşınır. Dolayısıyla konvansiyonel sistemlerde olduğu gibi ürünün dış çeperinin, ürünün içi kurumadan kuruması mümkün değildir. Mikrodalga sistemlerinde ılık hava akımı kullanılarak, yüzey neminin üründen hızla uzaklaştırılması suretiyle sistemin verimi daha da arttırılmaktadır (Mingos ve Baghurst, 1991).

Doğadaki moleküllerin büyük bir kısmı dipol yapıdadır. Asimetrik yük içeren moleküller dipol moleküllerdir. Su dipol moleküllere en iyi örnek olarak verilebilir. Dipol moleküller elektromanyetik alandaki frekans değişiminden etkilenecek polaritelerini hızla değiştirebilirler. Böylece oluşan hareket sonucunda ısınma meydana gelir. Mikrodalgalar malzeme içerisinden geçerken polar moleküller kendilerini aynı sıraya dizmeye çalışırlar, elektromanyetik alanın kalkması ile gevşerler. Dalganın frekansına bağlı olarak tekrar dizilirler, tekrar gevşerler. Bu hareket saniyede birkaç milyon defa tekrarlanır. Böylece dipol moleküllerin neden olduğu hareketler malzemenin içerisinde kinetik ve ısı enerjisi olarak depolanır. Elektromanyetik alandaki bu iyonik iletim ve dipol rotasyonu mikrodalga ısıtma süresince sıcaklıkta bir artmaya sebep olur. Bundan dolayı malzeme homojen bir şekilde ısıtılabilir (Galema, 1997).

İyonik iletim mikrodalga ısıtma sistemi mekanizmalarından biridir. Malzemeye mikrodalga ile ısı saçılması uygulandığında, elektrik ve manyetik bileşenler hızlıca değişir ve sürtünmenin artış yönündeki değişime moleküller hızla yanıt veremeyebilir. İyonlar çarpışır ve çarpışmalar kinetik enerjinin termal enerjiye dönüşümüne neden olur. Malzemedeki iyon konsantrasyonu artarsa daha fazla çarpışma meydana gelir, böylece malzemenin sıcaklık artışına neden olur (Schaefer, 1999).

Şekil 5.3'deki gibi mikrodalgaya tabi tutulan dikdörtgen şekilli malzemenin yüzeyinde harelenmiş yapılar görülmektedir. Bu yapılar mikrodalgaya tutulan malzemelerin işlem görmüş durumunda göstermektedir (Chan ve ark., 2000).

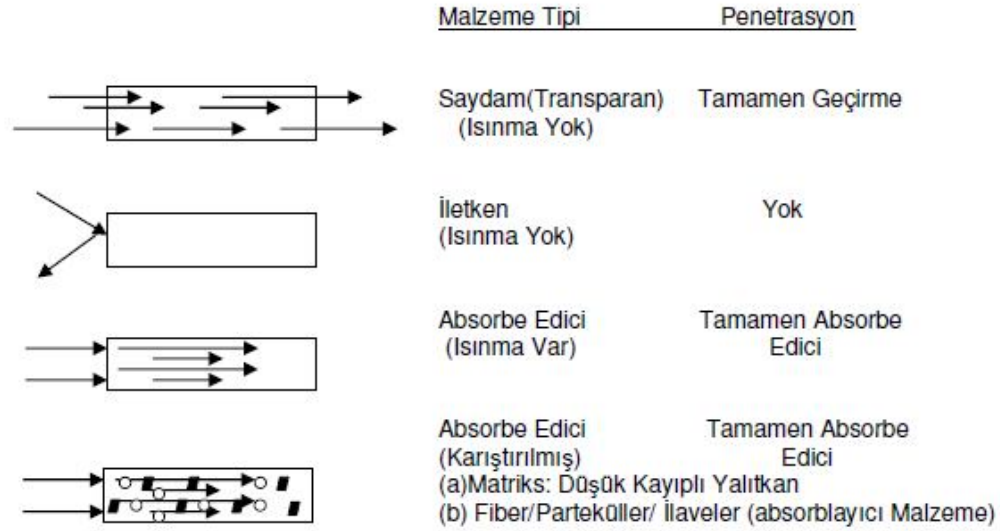


Şekil 5.3 Dikdörtgen malzeme yüzeyine tatbik edilmiş mikrodalğanın ardından malzeme üzerindeki harelenme görüntüsü (Chan ve ark., 2000).

Mikrodalgalar, iyonik parçaların göçü ve/veya dipolar parçaların rotasyonu ile moleküler harekete sebep olurlar. Bir malzemeyi mikrodalga ile ısıtma, malzemenin dissipation (harcama, tüketme) faktörüne büyük oranda bağlıdır. Bu faktör malzemenin dielektrik sabitine, dielektrik kaybının oranı olarak ifade edilir. Dielektrik sabiti, malzemenin mikrodalga enerjisinin içerisinden geçmesi esnasında alıkoyma yeteneğinin bir ölçüsüdür. Kayıp faktörü ise malzemenin enerjiyi tüketmesi yeteneğinin bir ölçüsüdür. Diğer bir deyişle, “kayıp faktörü” giren mikrodalga enerjisinin malzeme içinde ısı olarak tükenmesiyle kayıp olma miktarını vermektedir. Bu nedenle yüksek kayıp faktörlü bir malzeme mikrodalga enerjisi ile kolaylıkla ısıtılabilir. Gerçekte iyonik iletim ve dipolar rotasyon mikrodalga enerjisi kaybının iki önemli mekanizmasıdır (Haque,1999; Yıldız ve ark., 2000).

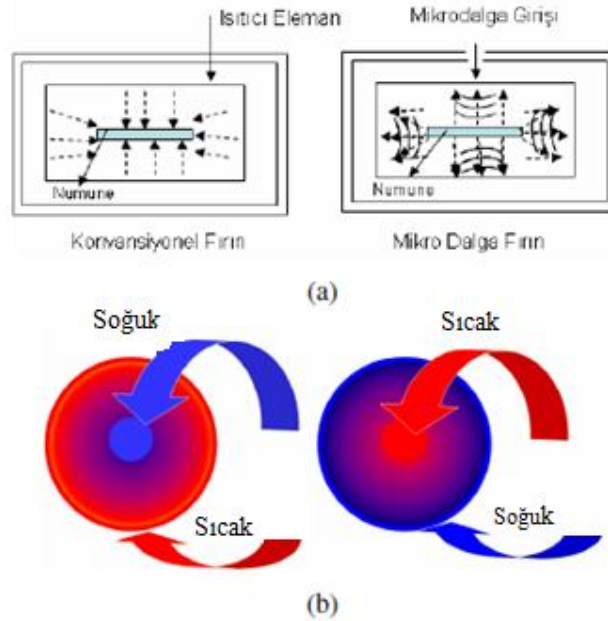
Mikrodalgalar yüzeyden yansıma yaparlar, bu nedenle metalleri ısıtmazlar. Genelde metaller yüksek iletkenliğe sahiptirler ve iletken olarak sınıflandırılırlar. İletkenler mikrodalgalar için sık sık conduit (dalga rehberi) olarak kullanılırlar. Mikrodalgalara karşı geçirimli (transparan) olan malzemeler yalıtkan olarak sınıflandırılır. Yalıtkanlar mikrodalga fırınlarında malzemenin ısıtılmasını desteklemek için kullanılırlar. Mikrodalga enerjisi mükemmel absorbe edici olan

malzemeler, kolaylıkla ısıtılırlar ve dielektrikler olarak sınıflandırılırlar. Şekil 5.4, mikrodalga ısıtma sisteminin basit diyagramını göstermektedir (Chan ve ark., 2000; Haque, 1999; Toraman ve Depçi, 2007).



Şekil 5.4 Malzemeler ile mikrodalgaların etkileşimi (Microwave Power in Industry, 1984).

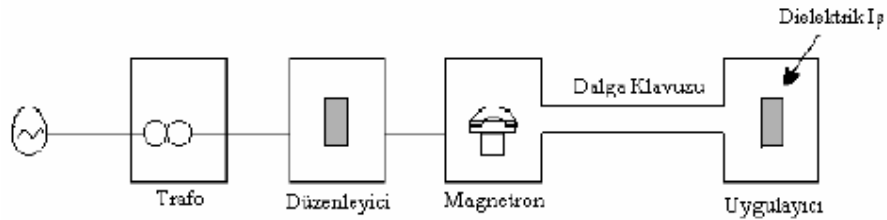
Dielektrik özellik bakımından non-homojen malzemeler düzenli ısıtma yapmazlar. Malzemenin bir kısmı diğer kısmından daha fazla ısınmaktadır. Bu olay genellikle ısı kaybı olarak bilinir. Bu durum, örneğin iyice karıştırılması ya da akıcı hale getirilmesi şartları sağlanarak minimum edilebilir. Yarı iletken malzemelerde mikrodalga ısıtmanın verimliliği ilk sıcaklığına bağlıdır. Gerçekte belirli kritik sıcaklıkların üzerinde aynı yalıtkan malzemeler mikrodalga ısıtma için yanıt verir hale gelmektedir. Mikrodalga ısıtmanın büyüklüğü aynı zamanda malzemenin boyutuna da bağlıdır. Örneğin çok ince boyutlu metaller (iletken), bir mikroark prosesinden geçerek mikrodalga ile ısıtılabilir. Ek olarak manyetit, silikon karbid ya da karbon gibi düşük kayıplı ya da yalıtkan malzemeler bir mikrodalga ısı kolaylaştırıcısı ile ısıtılabilir. Konvansiyonel ve bir mikrodalga fırında ısıtma paternleri Şekil 5.5’de verilmiştir (Kingman, Vorster ve Rowson, 2000; Kutbay ve Kuşkonmaz, 2004).



Şekil 5.5 Konvansiyonel ve mikrodalga fırınlarda ısıtma paternleri (Kutbay ve Kuşkonmaz, 2004).

5.4 Mikrodalga Fırınların Çalışma Prensipleri

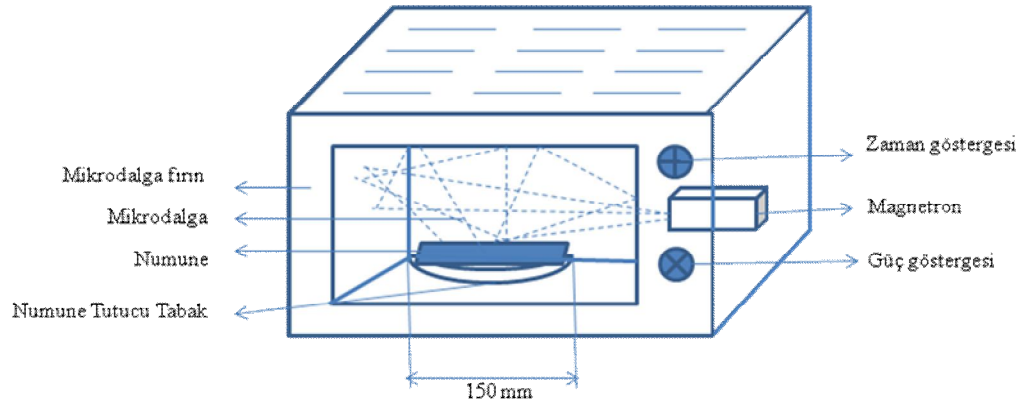
Mikrodalga fırınlar ısıtma sistemi 4 temel kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; güç temini, magnetron, hedef malzemenin ısıtılması için uygulayıcı (örneğin fırın) ve mikrodalgaların jeneratörden uygulayıcıya taşınması için kullanılan dalga klavuzudur. Şekil 5.6'da mikrodalga ısıtma sisteminin basitleştirilmiş diyagramı verilmektedir (Haque, 1999).



Şekil 5.6 Bir mikrodalga ısıtma sisteminin basitleştirilmiş diyagramı (Haque, 1999).

Mikrodalgalar ışık hızında yayılırlar. Mikrodalga kaynağı açılır açılmaz, ısıtılacak kütleye nüfuz eder ve hemen enerji dönüşümünü başlatır. Kaynak kapatıldığında ısıtma prosesi derhal durur. Polar olmayan maddeler (teflon, hava, kuvars camı)

mikrodalga enerjisini ısı enerjisine dönüştüremezler. Mikrodalgalar bu maddelerden geçerken zayıflamaz. Genelde, enerji dönüşümünü yerine getiren ve ısı kaynağını temsil eden fırın, ısıtılacak maddeye mikrodalga gönderir (Şekil 5.7). Metalik fırın muhafazası (mikrodalga bölme) sadece maddeye enerji yönelterek enerji kaybını önlemek ve personeli mikrodalga radyasyona maruz bırakmamak için kullanılmaktadır (Haque, 1999).



Şekil 5.7 Mikrodalga fırın sisteminin şematik gösterimi.

Magnetron; Magnetron adı verilen vakum tüpünden mikrodalga üretilmektedir. Mikrodalga fırının kalbi durumundadır ve elektrik enerjisini mikrodalga radyasyona dönüştürmektedir. Bunun için şehir şebekesinden gelen düşük voltajlı alternatif akım, bir transformatör tarafından gerekli seviyeye yükseltilmekte ve bir kondansatör bu yüksek voltajı filtreleyerek onu doğru akıma dönüştürmektedir. Magnetron sabit bir frekans ve güç üreteceğinden dolayı magnetrona girişteki elektrik güç kaynağında fazla salınım olmaması ve cihazın çalışırken fazla ısınmaması için ise soğutulması gereklidir. Endüstriyel, Bilimsel ve Medikal uygulamaları için magnetronlar; a)mikrodalga fırın uygulamaları ve b)endüstriyel prosesler için olmak üzere iki guruba ayrılabilir. Tipik bir mikrodalga fırın magnetronu 2,45 GHz frekansta, 600-900 W çıkış gücünde %70-75 verim ile çalışmaktadır ve 3,5-4 kV anot voltajına ihtiyaç duymaktadır (Haque, 1999; Thostenson ve Chou, 1999).

5.5 Mikrodalga Enerji ve Geleneksel Fırınlr

Kavurma işlemleri cevherin yüksek sıcaklıklarda ergime olmaksızın işlenmesine denmektedir. Kavurma işleminin amaçları;

- 1) Metalik bileşikler gözenekli hale getirip çözünmeyi kolaylaştırmak
- 2) Bazı safsızlıkları buharlaştırıp uzaklaştırmak,
- 3) Cevherleri daha kolay çözünür hale getirmek

Kavurma bir pirometalurjik işlemdir. Pirometalurji, yüksek sıcaklıklarda yapılan metal üretme işlemlerinin genel adıdır. Kavurma işlemleri genel olarak, en çok sülfürlü cevher ve konsantrelerin, ergime noktasına ulaşmayan sıcaklıklarda ısıtılarak daha sonraki metalurjik işlemlere uygun olacak şekilde bazı fiziksel ve kimyasal değişikliklerin sağlanması işlemi olarak endüstride kullanılır. Buna rağmen, birçok kavurma çeşidi bulunmaktadır. Bunlar; Oksitleyici kavurma, redükleyici kavurma, klorürleştirme kavurması, kalsinasyon kavurması, sinterleme kavurması, florürleştirme kavurmasıdır (Akdağ, 1992).

Geleneksel fırınlardaki uzun bekleme sürelerini en güzel şekilde kısaltan ve aynı etkiyi yapabilen mikrodalga fırınlar cevher hazırlamada yavaş yavaş yerini almaya başlamıştır. Şiddetli ısıtmayı gerçekleştirebilmesi, hızlı bir şekilde ısıtmaya neden olması, işleme çabuk başlayıp durabilme özelliği ile oldukça işlevsel özelliklere sahiptir.

5.6 Mikrodalga ve Altın

Birincil kaynaklardan olan altın cevherleri, genel olarak plaser tipi cevherler, serbest altın içeren cevherler ve sülfürlü ya da karbonlu yapıdaki (refrakter tip) cevherler olmak üzere 3 gruba ayrılır. Plaser veya serbest altın içeren tipteki cevherlerden altın kazanılmasında, siyanürleştirme - çinko ile sementasyon veya aktif karbon üzerine absorpsiyon, dore metal eritmesi ve rafinasyon kademeleri uygulanmaktadır. Refrakter tipteki cevherlerde altın; sülfür ve karbon içeren

minerallerin yapısı içinde kapanımlar halinde bulunduğundan, doğrudan siyanürleştirmeye uygun değildir. Bu yüzden bu tür cevherlerden altının bir ön işlemle (oksidasyon) serbest hale getirilmesi gerekmektedir. Uygulanan ön işlem prosesleri ile refrakter yapıdaki altının siyanür ile kolaylıkla kompleks yapabilir hale getirilmesi ve metal kazanma verimlerini düşüren bileşiklerin uzaklaştırılması sağlanmaktadır (Bayraktar ve ark., 2010).

5.7 Mikrodalga Enerjinin Kullanım Alanları

Mikrodalga enerjinin gıda, çevre gibi endüstri dallarında yaygın olarak kullanımıyla, madencilikte de uygulanabilirliği konusunda yapılan deneysel çalışmalarda büyük artış gözlenmektedir. Mikrodalga enerji minerallerin ısıtılması, kurutulması, oksitli minerallerin redüklenmesi, liç, kavurma, ergitme, kullanılmış karbonun yeniden kazanımı, atıkların geri kazanımı, kömürün desülfürizasyonu ve minerallerin öğütülebilirliklerinin artırılması gibi cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerinde doğrudan veya ön işlem olarak kullanım potansiyeline de sahiptir. Mikrodalga enerjinin metalurjik uygulamaları ise yaklaşık 25 yıldır birçok araştırmacıya konu olmuş ve özellikle bakır, altın, nikel, kobalt ve manganezin liçi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalar özellikle hidrometalurjik süreçte liç süresinin kısaltılması, metal kazanma veriminin artırılmasına yönelik olarak tüvenan cevhere uygulanmıştır. Yapılan araştırmalar mikrodalga teknolojisinin, özellikle liç süresini kısalttığı, kıymetli metal kazanma verimini arttırdığı ve mikrodalga enerji ile muamele edilmiş cevherlerin reaksiyon hızlarının, muamele edilmemiş olanlara nazaran daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga ile muamele işlemi genellikle tüvenan cevhere, liç öncesinde çözmeyi kolaylaştırmak üzere ön işlem olarak uygulanmakta ve olumlu sonuçlar elde edilmektedir (Güngör ve Atalay, 1999).

Mikrodalga enerjisi ile ısıtma, bazı uygulamalarda, diğer ısı kaynaklarına göre üstünlükler sağlamaktadır. Enerjinin maddenin içinde doğrudan ısıya dönüşmesi, anında kontrol edilebilmesine olanak sağlaması ve maddenin yapısını bozacak elektriksel bir etki oluşturmamasıdır. Proses kontrolü, diğer yöntemlere nazaran daha

hızlı yapılabilmektedir. Isıtma derecesine müdahale edilerek ve mikrodalga gücü değiştirilerek ısıtma kontrol altına alınabilmektedir. Kontrol işlemi hızlı olduğundan, kullanılan ısıtıcıların boyutları küçük ve kapladıkları alan azdır (Dincov, Parrott ve Pericleous, 2004; Kocakuşak, İşbilir ve Doğan, 2003; Olmi, Bini, Ignesti ve Riminesi, 2000).

Hava Akımı Altında Büyük Kütlelerin Kurutulması ve Kalsinasyonu

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

Vakumlu Ortamda Isıya Hassas Malzemelerin Kurutulması

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

Isıl İşlemlerde

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

Çalışmalarda mikrodalga enerjinin; öğütmede, kurutma ve anhidrasyonda, refrakter altın cevherlerinin ön zenginleştirilmesinde, kömür desülfürizasyonunda, liç işlemlerinde, kavurmada, karbonun aktivasyonunda, oksitlerin karbotermik redüksiyonunda ve atıkların minimizasyonunda uygulama potansiyelinin olduğu belirtilmektedir (Haque, 1999).

5.7.1 Metalurjik Proseslerde Mikrodalga Kullanımı

Mikrodalga enerjisi daha etkin kullanabilmek ve optimum mikrodalga liç koşullarını ve yöntemini belirleyebilmek için mikrodalga enerjinin liç işlemine etki mekanizmasının bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Öncelikle mikrodalga işlemi sırasında cevheri oluşturan mineraller yapıları gereği birbirlerinden farklı davranış sergilemektedir. Şeffaf (transparan) silikat esaslı gang mineraller gelen ışınların bünyesinden geçmesine izin verirken cevheri oluşturan mineraller, genellikle ışınları absorbe ederek aşırı ısınmaktadır. Esas olarak silikat esaslı veya benzer davranış gösteren mineraller fazla ısınmazken, örneğin kalkopirit veya benzer karakterdeki mineraller 1dk'dan daha az sürede 1000°C'ye ulaşabilmektedir (Walkiewicz, Kazonich ve McGill, 1988). Böylece bazı mineraller daha çok ısınıp yüksek sıcaklıklara ulaşırken, bazı mineraller daha az ısınacaktır. Hidrometalurjik süreçteki çözme süresinin kısalması ve metal kazanma veriminin artması bu termal farklılık sonucu mineral sınırlarında ve içinde oluşan çatlaklarla açıklanmaktadır. Yapılan farklı çalışmalarda, intergranuler ve transgranuler çatlaklar sonucu çözeltinin minerallerin daha iç derinliklerine kadar nüfuz edeceği dolayısıyla çözünme süresinin kısılacığı yönündeki düşünceler Elektron Mikroskop (SEM) görüntüleriyle de desteklenmektedir.

Kömür ve kok halinde karbonun ve ağır metal oksitlerin büyük çoğunluğu mikrodalga ısıtmaya cevap vermektedir. Bu nedenle metal oksitlerin mikrodalga destekli karbotermik redüksiyonu mümkündür. Eğer metal oksit düşük kayba sahipse, yani mikrodalga enerjisine karşı zayıf ise o zaman ilave edilen karbon tozları mikrodalga ısıtmanın rolünü hızlandırabilmektedir. Çeşitli araştırmacılar karbonla (kömür ya da kok olarak) karıştırılmış demir oksitlerin (hematit Fe_2O_3 , manyetit Fe_3O_4) metalik demire redüklenebildiğini belirtmişlerdir. Geleneksel redüksiyonla mikrodalga ile gerçekleştirilen redüksiyonu karşılaştırmak için yapılan çalışmada hematit cevheri, kok ve kireç tozu örnek karışımlarının üzerinde redüksiyon testleri yapmışlardır. Her bir karışım numunesi karşılaştırma yapmak üzere elektrikle ısıtılan muffle fırınında 1000°C de ve 1,3 kW gücündeki 2450 MHz frekansta mikrodalga fırında ayrı ayrı ısıtılmıştır. Numune sıcaklığı numune içine daldırılmış termokupl ile

ölçülmüş, sıcaklık 1000°C'ye ulaştığı zaman test bitirilmiştir. Sonuçta mikrodalga ısıtma hızından geleneksel ısıtma hızında daha büyük olduğu gözlenmiştir. Operasyon maliyetleri için oransal varsayımlar baz alındığında mikrodalga redüksiyon prosesinin geleneksel operasyona göre %15-50 aralığında tasarruf sağlayacağı da belirtilmiştir (Haque, 1999).

Huang ve Rowson (2001) tarafından yapılan bir çalışmada piritin mikrodalga ortamındaki ısıtma karakteristiği incelenmiştir. Çalışmada 0-63; 125-250; 500-1000 mikron tane fraksiyonları kullanılmıştır. Her tane fraksiyonu 400, 800 ve 1200W mikrodalga enerji ile muamele edilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki tane boyutu küçüldükçe malzemenin sıcaklığı da düşmektedir. Mikrodalga gücünün artmasıyla malzeme sıcaklığıda artmaktadır. En yüksek sıcaklık 1200W mikrodalga gücünde ve 0,125-0,250 mm tane fraksiyonunda elde edilmiştir. Deneyle sonunda pirit elementel sülfüre dönüşmüş ve poroz yapıli pirotit oluşmuştur.

Analitik kimyacılar mikrodalga ısıtma cihazını metallerin, minerallerin ve kimyasal ürünlerin analizinde çözme işleminde rutin olarak kullanmaktadır. Mikrodalga ısıtması geleneksel ısıtmaya göre daha fazla ısıtma hızı ve daha hızlı çözünme sağlamaktadır. Gerçekte analitik numunelerin çözünme özelliği, cevher ya da konsantre numunesinde bulunan çeşitli minerallerin liç işlemine uygulanmaktadır (Haque, 1999).

Diğer araştırmada nikel oksit, kobalt ve demir oksit içeren lateritik cevherlerin mikrodalga destekli liç işlemleri üzerine çalışılmıştır. Bu mineraldeki metaller, metal klorürlere dönüştürülmüştür. Bu işlem cevher ve amonyum klorür karışımının 177-312°C aralığında 4-5 dakika süreyle mikrodalga ısıtılması (1200 W, 2450 MHz, N₂ atmosferi) yapılarak, akabinde 30 dakika süreyle 80°C'de su ile liç edilerek başarılmıştır. Nikel ve kobalt ekstraksiyonları sırasıyla %70 ve %85 olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuca geleneksel döner fırında 300°C'de 2 saat süreyle kavurma yapılmasıyla ulaşılabacağı belirtilmiştir. Benzer şekilde oksidik ve/veya sülfirik mineraller içeren bakır cevherleri ya da konsantreleri, cevher ya da konsantrenin ferrik ya da ferro klorürle yaptıkları karışımın 350-700°C aralığında mikrodalga

ısıtılması ile ve akabinde sıcak liç ile çözüldürülmüş ve bakır ekstraksiyonu %96 olmuştur (Kruesi ve Frahm, 1982).

Diğer çalışma bakır sülfür konsantresinin mikrodalga destekli asidik ferrik klorür liçidir. Bu konsantrede temel bakır mineralleri kalkosit (Cu_2S) ve kalkopirit ($CuFeS_2$). Liç çamuru direk olarak çeşitli zaman dilimleri için mikrodalga ile (700 W, 2450MHz) ısıtılmış ve 40-45 dk'lık mikrodalga ısıtması sonucu %99'luk bakır kazanımına ulaşılmıştır. Oysa geleneksel ısıtmada aynı ekstraksiyon mertebesine ulaşmak için 2 saatlik ısıtma işleminin gerekli olduğu belirtilmiştir (Al-Harashsheh ve Kingman, 2004).

Tranquilla, 1997 yılında %9 Arsenik ve %20 kükürt içeren, baskın şekilde arsenopirit ve ikincil olarak pirit ihtiva eden refraktör özellikteki altın konsantresi üzerinde çalışmıştır. Küçük numuneler için (20-50 gram özel dizayn edilmiş aplikatörde kuru konsantre mikrodalgaya maruz bırakılmış, akabinde XRD analizi yapılmıştır. Çok düşük oksijen koşulları altında ve 50 kJ/kg aşağısındaki spesifik enerji mertebelerinde oksidasyon ürünlerinin (pirotit, elementel kükürt, arsenik) gelişimi görülmüştür. Yapılan testlerde dikkate değer olan şey, birçok durumda ürünler, kısa maruz kalma sürelerinde oluşmuş olmalarıdır.

Mikrodalga enerjisi ayrıca zirai, kimyasal ve gıda ürünleri, tekstil, kağıt ve daha bir çok ürün ve malzemenin kurutulmasında artan bir uygulama bulmaktadır. Genel olarak kurutma, su, asit ya da yüksek buhar basınçlı organik madde (örn. alkol, aseton, eter, aromatikler vs.) gibi fiziksel olarak absorbe edilmiş solventlerin giderilmesi işlemidir.

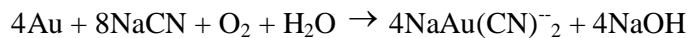
Bir grup araştırmacı, alkali siyanür liçi öncesinde arsenopiritli refrakter altın cevherine laboratuvar ölçeğinde mikrodalga işlemi uygulamış (Haque, 1999) ve altının %98'ini, gümüşün ise % 60'ını çözeltilmeye almışlardır. Bir diğer çalışmada, mikrodalga işlem sonrasında Ora Banda altın ön konsantresinin Au kazanma veriminin, işlem görmemiş cevherden %62 daha fazla olduğu ortaya konmuştur

(Beeby, 1992). Benzer bulguları ortaya koyan çok sayıda çalışma mevcuttur (Tranquilla, 1997; Huang ve ark., 2000; Nanthakumar, Pickles ve Kelebek, 2007). Aynı şekilde biyooksidasyon ön işlemi ile ilgili son 30 yıl içerisinde yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Amankwah ve arkadaşları liç işlemi öncesinde, farklı bakteriler kullanarak gerçekleştirdikleri iki aşamalı biyooksidasyon işleminde altın kazanma verimini %94,7 olarak belirlemişlerdir (Amankwah ve ark., 2005). Refrakter özellikteki 10 g/t Au içeren ve kazanma verimi orijinal cevherde %20 olan pirotit cevherine biyooksidasyon işlemi uygulanmış ve kazanma verimi %86'ya çıkarılmıştır (Ubaladini, Veglio, Beolchini, Toro ve Abbruzzese, 2000). Hindistan'da faaliyet gösteren bir refrakter altın işletmesinden alınan numunelere 60 günlük biyooksidasyon işlemi uygulanmış ve %90'a yakın Au kazanma verimine ulaşılmıştır (Chandraprabha, Modak, Natarajan ve Raichur, 2002). Diğer bir araştırmacı grubu ise, yüksek oranda kükürt ve arsenik içeren refrakter altın cevherlerinin oksidasyonunu asidik ortama ilave edilen Ozon ve Fe (III) ile sağlamışlardır. Ön konsantreye siyanür liçi uygulandığında Au kazanma verimi %19,5'tan %96,5'a yükseltilmiştir (Qingcui, Dengxin ve Fangjun, 2009).

Sonuç olarak, mikrodalga enerjisi, ısıtma, kurutma, öğütme, liç işlemi, kavurma, ergitme, oksitli minerallerin karbotermik redüksiyonu, refrakter özellikteki altın konsantresi yada cevherlerinin ön işlemi ve atık yönetimi gibi mineral işleme ve ekstraksiyon proseslerinde uygulama potansiyeline sahiptir. Genellikle mikrodalga enerjisi temel olarak elektrik enerjisinden düşük dönüşüm randımanı (2450MHz için %50 ve 915MHz için %85) nedeniyle elektrik enerjisinden daha pahalıdır. Bununla birlikte mikrodalga ile ısıtmanın etkinliği geleneksel ısıtmadan çok daha yüksektir ve maliyetinin üstesinden gelmektedir (Haque, 1999).

5.7.2 Altın Kazanımında Mikrodalga Uygulamaları

Altın, sodyum siyanür muamelesi ile liç yapılan cevherden hidrometalurjik ekstraksiyon ile aşağıdaki reaksiyona göre kazanılmaktadır (Habashi, 1970).



Refrakter altın cevherinden altın kazanımı arıtma olmaksızın geleneksel siyanür liçi uygulandığında çok düşüktür. Refrakterlikte esas cevherin içindeki altın türünün çok ince saçınımlı olmasıdır. Bu nedenle altın kazanımının geliştirilmesi yüksek sıcaklık oksitlemesi, yüksek basınç oksitlemesi ya da biyokimyasal oksitleme ön muamelesiyle altın kazanımı araştırılmaktadır. Ancak, bu metotlar pahalıdır, uzun süreler gerektirir ve pratik değildir (Huang ve Rowson, 2002). Mikrodalga enerjisi altın kazanımında başarıyla uygulanabilmekte, bu bağlamda altınla ilişkili mineraller çok iyi mikrodalga absorblama eğilimindedirler. Genelde altın cevheri içinde bulunan gang mineralleri mikrodalga geçirmektedir (Haque, 1999; Huang ve Rowson, 2000). Pirit ve arsenopirit altın ile ilişkili başlıca minerallerdir.

Beeby (1992) cevher altın ilişkisinden altının liç edilebilmesinde kısa mikrodalga vurumlarının (pulse) etkisini incelemiştir. Ora Banda altın cevheri 10dk'da her 30 sn'lik aralıktan sonra 3sn'lik mikrodalga enerjisi kısa sürelerle uygulandığında altın miktarı mikrodalga uygulanmaksızın kazanılan miktardan %62 daha fazla olduğunu ortaya çıkarmıştır. Liç 22°C sıcaklıkta, pH 10,5'da 0.005M NaCN içinde yaş ortamda çözeltide yapılmıştır. Araştırmacı, kazanma verimindeki artışın, mikrodalga işlemi sırasında oluşan yüksek sıcaklık sonucunda iç bünyede biriken gaz basıncının meydana getirdiği kırık ve çatlak gibi yapısal değişimlerle ilişkilendirmiştir.

5.7.3 Atık Aktif Karbondan Altın Elde Etme İşlemleri

Karbona adsorplama teknolojileri kullanan altın zenginleştirme tesisleri, atık aktif karbon oluşturmaktadırlar. Bu atık aktif karbonlar, yüksek değerde altın barındırmakta ve bu altının kazanımı ciddi miktarda yatırım gerektirmektedir. Bu araştırmada, mikrodalga enerjisi kullanılarak atık aktif karbonun yakılması ve oluşan külün konvansiyonel siyanürlü liç işlemine tabi tutulması üzerinde durulmuştur. Öncelikle, aktif karbonun gerçek ve varsayılan elektriksel geçirgenlik değerleri ölçülmüş ve bu değerler oldukça yüksek çıktığı için karbonun iyi bir mikrodalga emici olduğu görülmüştür. Daha sonra, aktif karbonun mikrodalga ile ısıtma işlemine karşı olan tepkileri mikrodalga'nın gücü, parçacık boyutu, işlem süresi ve örneğin ağırlığı gibi parametreler cinsinden çalışılmıştır. Mikrodalga fırınına hava

verildiğinde, karbon okside olup altın içeren küle dönmektedir. Bu kül, konvansiyonel siyanürlü liç işlemine sokulmuş ve 8 saat içinde %95'lik altın kazanımı olmuştur. Bu sonuçlar, altın içeren atık aktif karbonun mikrodalga ile ısıtılmasının teknik olarak geçerli ve yeni bir proje olduğunu göstermektedir (Amankwah, Pickles ve Yen, 2005).

5.7.4 Mikrodalgaın Öğütme İşlemine Etkisi

Uzun ısıtma sürelerinde yada yüksek güç seviyelerinde mineral tanelerindeki artan enerji seviyeleri, aynı zamanda mineraldeki sabit kimyasal değişimlere ve fazlara yol açmaktadır. Bu faz değişimlerinin ve çatlaklarının öğütme direncini büyük oranda düşürdüğü düşünülmektedir. Sıcaklık absorblamayan gang matrisi içinden mikrodalga enerji geçirildiğinde, cevher içerisindeki sıcaklık absorplayan minerallerin ani ısıtılmasıyla termal gerilim yaratıldığını göstermiştir (Walkiewicz ve ark., 1988). Bu termal gerilim mineral tane sınırları boyunca mikro çatlaklara neden olur; sonuçta cevher numunesindekinden daha iyi öğütme olur. Araştırmacılara göre mineral hazırlama tesislerinde kullanılan enerjinin %50-70'i öğütme işleminde tüketilir. Ayrıca geleneksel bir öğütme prosesinin enerji verimi yaklaşık olarak %1'dir. Demir cevherinin mikrodalga ön ısıtması %9,9'dan %23,9'a kadar öğütme verimi arttırdığını göstermişlerdir. Bununla birlikte, bu gelişme mikrodalga ön ısıtmasının enerji tüketimini yeterince karşılamamaktadır. Mikrodalga ısıtmasının bir flotasyon karışımında örneğin CaF_2 flotasyonunda flotasyon derecesini geliştirdiği rapor edilmiştir (Roussy ve Pearce, 1995). Dahası, tüm çalışmalarda mikrodalga transparan matrisindeki cevher minerallerinin hızlı ısıtılması mineral sınırları boyunca mikro çatlaklar oluşturduğundan yeterli büyüklükte termal gerilim oluşturmaktadır. Bu çeşit mikro çatlaklar liç verimi kadar öğütme veriminide geliştirecek potansiyele sahiptir.

Masif sülfürlü bakır cevher prosesine mikrodalga ışınımının etkisi araştırılmıştır. Çalışmalar, Bond iş indeksinde önemli azalmaların sonraki flotasyon prosesine ters etkisini göstermemektedir. 90sn'lik mikrodalgaya maruz kaldıktan sonra, iş indeksinde %70'lik azalma gerçekleşecektir.

5.7.5 Mikrodalgada Metal Oksitlerin Azalmasına, Karbotermik Desteği

Odun kömürü ya da kok olarak karbon ve ağır metal oksitlerin büyük çoğunluğu mikrodalga ısıtmasına yanıt vermektedir. Bu nedenle metal oksitlerin karbotermik düşüşüne mikrodalğanın yardım etmesi mümkündür. Eğer metal oksit enerji kaybına neden olacak kadar az ise (mikrodalga enerjisi alamayacak kadar az ise) eklenen karbonlar mikrodalga ile ısıtmayı hızlandırma görevi görmektedir. Çeşitli araştırmacılar karbonla karışmış demir oksitler (hematit Fe_2O , magnetit Fe_3O_4) metalik demiri düşürebildiğini göstermiştir (Haque, 1999).

5.7.6 Mikrodalğanın Kurutma ve Susuzlandırmaya Yardımı

Mikrodalga ısıtma sistemlerinde elektromanyetik enerji madde içerisinde doğrudan ısıya dönüşmektedir. Bu nedenle mikrodalga ısıtma sistemlerinde ısı, konvansiyonel sistemlerin tam tersine maddenin içinden dışına doğru taşınır. Materyalin iç bölümleri yüzeyinden daha sıcaktır, bu yüzden suyun içten dışa buharlaşması ve düfüzyonu daha basittir. Kurutma boyunca malzemede kabuk oluşumu görülmez ve su kolayca buharlaşır. Malzemenin ısıtılması kimyasal ve fiziksel yapısına bağlıdır. Bu tip ısıtma sistemlerinde ısı; su moleküllerinin rezonansa girmesi ve büyük kayıp açılara sahip (dielektrik) maddelerin iletim kayıplarının oluşması ile açığa çıkmaktadır. Bu sistem ile konvansiyonel ısıtma sistemleri karşılaştırıldığında ısıtma veya kurutma süresinin çok daha kısa olduğu ve daha homojen bir ısıtma ve kurutma sağladığı görülür. Aynı zamanda bu yöntemle sadece malzeme ısıtılmaktadır. Ocağı, iletim grubunu ve ortamdaki havayı ısıtmaya gerek yoktur. Mikrodalga enerjisi; genellikle ön ısıtma, kurutma ve dehidrasyon için uygulanmaktadır (Schiffmann, 1987).

5.7.7 Refrakter Altın Konsantresine Mikrodalğanın Ön İşlem Olarak Uygulanması

Altın, alkalın siyanür liçi ile kolayca işlem görmediğinde, refrakter altın olarak adlandırılır. Refrakter altının büyük bölümü, pirit (FeS_2), arsenopirit ($FeAsS$) ve

pirotit (FeS) gibi sülfürlü minerallerde bulunur. Altın cevher ve konsantresi genellikle, kavurma önışlemi, oksijen basınçlı liç yada bakteri liçi ile alkalın siyanür liçine uygun hale getirilmektedir. Sülfürlü minerallerin mikrodalga enerjisi ile kolayca ısıtılabilmesi, sülfürlü refrakter altına da mikrodalga enerjisi uygulamayı mümkün kılmaktadır (Haque, 1999; Toraman, 2009).

5.7.8 Aktif Karbonun Mikrodalga Desteği İle Geri Kazanımı

Birçok altın zenginleştirme tesisi, CIP (pülpteki karbon) veya CIL (liçteki karbon) işlemlerinde aktive edilmiş karbon kullanmaktadır. Her bir altın siyanür kompleksi $[Au(CN)_2]$ emme-geri bırakma devresinde, karbon geri kazanılır. Bu kullanılmış karbon, genelde bir mineral asidiyle yıkanarak ve ardından dış ısıtmalı bir döner fırında yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılarak (600-750°C) geri kazanılır. Hâlbuki karbon bir mikrodalga ile 1000°C ve üzerine kolayca ısıtılabilir. Haque (1991, 1993), laboratuvar ortamında, 2450 MHz'de çalışan bir mikrodalga ile karbon geri kazanım deneyleri yapmış ve mikrodalga ile ısıtma yönteminin uygulanabilir olduğunu onaylamıştır. Daha sonra, 915 MHz'de pilot boyutta yapılan karbon geri kazanım deneyinde ise geri kazanılan karbonun, konvansiyonel olarak yeniden oluşturulmuş karbona göre daha iyi verim sağladığı ortaya koyulmuştur.

5.7.9 Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Mikrodalga enerjinin kimyasal işlemlerdeki uygulamaları 1960'lı, hidrometalurjik uygulamaları ise 1980'li yıllara dayanmaktadır (Ford ve Pei, 1967). Hidrometalurjik uygulamalarda mikrodalga işlemleri, genellikle suda veya özellikle zayıf asidik/bazik çözeltilerde kolay çözünebilen bileşikler elde etmek üzere ön işlem olarak uygulanmıştır.

Chen, Dutrizac, Haque, Wyslouzil ve Kashyap, (1984) liç işlemleri öncesinde, arsenopirit cevherine mikrodalga işlemleri uyguladıklarında, sıcaklığın hızla yükseldiği ve sülfür ile arseniğin ise ergime sonucu pirotit ve ferroarsenit fazlarına

dönüşüklerini ifade etmişlerdir. Benzer şekilde, pirit de ani ısınarak pirotite dönüşmüş ve ortama sülfür dumanının salındığını gözlemlemişlerdir.

Toraman, (2009) arsenopiritli refrakter altın cevherine laboratuvar ölçekte mikrodalgayı önilem olarak uygulandığından bahsetmiş oksijenli atmosfer koşullarında yapılan deneylerde 550°C'ye ulaşıldığında, demir hematite dönüşürken, As ve S'nin %80'i As₂O₃ ve SO₂ olarak ortamdan uzaklaşmıştır. Müteakiben yapılan alkalin siyanid liçinde altının %98'i, gümüşün ise %60'ı çözeltiliye alındığına dikkati çekmiştir. Araştırmacıların As₂O₃ ve SO₂ oluşumunu önlemek için mikrodalga kalsinasyon deneylerini nitrojen atmosferinde silisli tüp içerisinde yapmış ve tepkime sonucunda FeS, As₂S₃, ve elementel S oluşumunu gözlemlediklerini belirtmiştir. Ayrıca araştırmacılar mikrodalga ısıtma deneylerini konsantre ve NaOH karışımı üzerinde de denemişlerdir. Mikrodalga deneyleri sırasında As₂O₃ ve SO₂ emisyonu oluşmadığı gibi; Na₃AsO₄, Na₂SO₄, FeSO₄ gibi suda kolay çözünebilen bileşikler elde etmişlerdir. Mikrodalga işlemi sonucu elde edilen katı ürün 75°C'de liç işlemine tabi tutulmuş altının %99'u gümüşün %79'u çözeltiliye alınmıştır.

Mikrodalğanın ön işlem olarak uygulandığı, Kanada EMR'daki refrakter özellikteki arsenopiritli altın cevherleri az oksijenli ortamda mikrodalga işlemine tabi tutulmuştur. Ön işlem sonrasında pirotit, elementel S ve As oluşmuştur. S ve As'ı uzaklaştırmak için asitle yıkanan ürün sonraki aşamada tekrar mikrodalga işlemine tabi tutularak oksitlenme sağlanmış ve pirotit manyetite dönüşmüştür. Bu yöntemin temel avantajları düşük enerji maliyeti (0.5C\$/ton), düşük SO₂ emisyonu ve konvansiyonel kavurma ısısına nazaran daha düşük sıcaklık gerektirmesi olarak gösterilmektedir. Ayrıca, geleneksel yöntemlerdeki kavurma, otoklav ve biyooksidasyon işlemleri için yapılan harcamaların, günde 200 ton cevherin mikrodalga uygulanarak konsantre haline dönüştürülmesi için gerekli işletme maliyetlerine karşılık geldiği ifade edilmektedir. Bu bağlamda EMR, mikrodalğanın pirit ve arsenopirite ön işlem olarak uygulandığı, akışkan yatak esaslı bir pilot tesisi 1997'de devreye almıştır.

Huang ve Rowson (2000), Papua Yeni Gine'deki, refrakter özellikteki Lahir altın cevheri üzerinde yapmış olduğu çalışmada, cevher 0.2–16 mm aralığında sınıflandırılmış ve müteakiben 0–70 dk arasında değişen sürelerde mikrodalga işlemine tabi tutulmuştur. Mikrodalga işlemi sonrasında cevherin %80'i 75 mikron elekten geçecek şekilde öğütülmüş ve pH'ı 11–12 aralığında olan siyanür çözeltisinde liç işlemine tabi tutulmuştur. Mikrodalga ile önışlemeden geçirilerek oksitlenmiş cevherin altın kazanma verimi %81 iken, önışlemeden geçirilmemiş cevherin kazanma verimi %37 olarak tespit edilmiştir. Mikrodalga işlem süresi ve tane iriliğinin altın kazanma verimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Çözeltiye alınan altın yüzdesindeki artış, pirit ve arsenopiritin oksidasyonu ile birlikte hematitin poroz bir yapı kazanması sonucu yüzey alanının artması ile ilişkilendirmiştir.

Refrakter altın cevherlerinden altın eldesinde uygulanan bir diğer alternatif yöntem ise markazit, pirit ve arsenopiritin, ön işlem olarak, nitrik asitle okside edilmesidir. Bu çalışmada Huang ve Rowson, (2000 ve 2002) mikrodalga ortamında pirit ve markazitin hidrometalurjik bozunmasını incelemiştir. Farklı tane fraksiyonlarındaki (20–63, 90–125, 180–250 µm) pirit ve markazit örnekleri, nitrik asit içerisinde farklı sıcaklıklarda (70-110°C) liç işlemine tabi tutulmuştur. Liç edilmiş malzeme yıkanarak, 50°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Huang ve Rowson (2002), altının kazanma verimini arttırmak üzere yüksek sıcaklık oksitlemesi, yüksek basınç oksidasyonu ve biyokimyasal oksitleme konularında da araştırmalar yapmışlardır. Ancak bu metotların pahalı olması, işlemin çok uzun zaman gerektirmesi ve pratik olmaması nedeniyle uygulanabilir metotlar olarak değerlendirmemişlerdir.

Karbonatlı altın cevherleri, altın içeren bazı götit cevherleri gibi refrakter olmayan tipteki altın cevherlerine de mikrodalga işleminin başarıyla uygulanabilmektedir (Sparrow ve Woodcock, 1995).

Cu ve Au dışındaki diğer metallerin kazanımına yönelik de yapılmış birçok mikrodalga içerikli çalışmaya rastlamak da mümkündür, başlıcaları ise Ni, Co, Zn ve Mn'dir (Kruesi ve Frahm, 1982; Kruesi ve Kruesi, 1986).

5.8 Minerallerin ve İnorganik Ürünlerin Mikrodalga İle Isıtılması

1967'lerde Ford ve Pei, pek çok reaktif sınıfı metal oksitler ve sülfürlerin ısıtılması için mikrodalga enerji kullanmışlardır. Deneyleerde 2450 MHz'deki mikrodalga enerji; 10 g ile 200 g arasındaki öğütülmüş örneklerin ısıtılmasında uygulanmıştır. Test sonuçları Tablo 5.1'de verilmiştir. Bu çalışmada koyu renkli bileşiklerin yüksek sıcaklıklara (1000°C) hızlıca ısıtılabilmesini ve koyu renkli bileşiklerin ısıtma oranının açık renkli bileşiklerin ısıtma oranından daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Araştırmacılar pek çok metal oksidin mikrodalga ısıtma altındaki davranışını rapor etmişlerdir. Bu sonuçlar yayınlanmış verilerle karşılaştırılmış ve ısıtma oranlarına dayalı olarak, hiperaktif, aktif, zor ısınır ve aktif olmayan olarak dört sınıfa ayrılmıştır. Tablo 5.2'de bu çalışmadaki derleme sonuçları verilmiştir. Bunlar mikrodalga enerjinin, mineral ve inorganik bileşiklerin ısıtılmasında etken olabildiğini göstermektedir (Eskibalci, 2007; Toraman, 2009).

Tablo 5.1 Bazı oksit ve sülfür bileşiklerinin mikrodalga ısıtılması ile ısıtma zamanının bağlı sıcaklık değerleri (Ford ve ark., 1967).

Bileşik	Isıtma zamanı (dk)	Max. Sıcaklık (°C)	Bileşik	Isıtma zamanı (dk)	Max. Sıcaklık (°C)
Al ₂ O ₃	240	1900	FeS	6	800
C	0,2	1000	MgO	40	1300
CaO	40,0	200	MnO ₂	^a	-
Co ₂ O ₃	3 ^a	900	MoO ₃	46	750
CuO	4	800	MoS ₂	0,1	900
CuS	5	600	Ni ₂ O ₃	3,0 ^a	1300
Fe ₂ O ₃	6	1000	PbO	13	900
Fe ₃ O ₄	0,5	500	UO ₂	0,1	1100

^a: Şiddetli bir reaksiyon göstermektedir; MnO₂ den dolayı sıcaklık ölçülememektedir.

Chen ve ark. (1984), ayrı ayrı 40 mineralin mikrodalga enerji ile (2450 MHz) ısıtılmasının sonuçları rapor etmişlerdir. Örneklerin mikrodalga radyasyona maruz kaldığı anlardaki kesin sıcaklıkların bildirilmesinin zorluğundan dolayı yazarlar sıcaklık yerine mikrodalga güç değerlerini ifade etmişlerdir. Mineral örnekleri mikrodalga ısıtmadan önce ve sonra karakterize edilmiştir. Tablo 5.3, Tablo 5.4 ve Tablo 5.5’de bu sonuçlar verilmiştir.

Test sonuçları 2 guruba ayrılmıştır: (1) ısı yok yada çok az ısı üretilmiş ve mineral özellikleri gerçekte değişmeden kalmıştır (2) ısı üretilmiştir, mineraller ya sıcaklığa rağmen stabil kalmış ya da farklı ürünlere hızlıca dönüşmüştür (Haque, 1999).

Tablo 5.2 Bazı malzemelerin mikrodalga ısıtma oranına dayalı olarak sınıflandırılması (Haque, 1999).

Malzeme Sınıflaması	Isıtma oranı (rapor edilen) = °C/min	Max. Sic. (°C)	Not
a) Hiperaktif malzemeler			
UO ₂	200	1100	
MoS ₂	150	900	Karışımlarda Fe ₂ O ₃ /Fe ₃ O ₄ oranına bağlı muhtemelen >20 °C/s
C (mangal kömürü)	100	1000	
Fe ₃ O ₄	20	500/1000	
FeS ₂	20	500	
CuCl	20	450	
MnO ₂	-	-	
b) Aktif malzemeler			
= °C/min			
Ni ₂ O ₃	400	1300	Şiddetli
Co ₂ O ₃	300	900	Şiddetli
CuO	200	800	
Fe ₂ O ₃	170	1000	
FeS	135	800	
CuS	120	600	
c) Zor ısınan malzemeler			
= °C/min			
Al ₂ O ₃	80	1900	
PbO	70	900	
MgO	33	1300	
ZnO	25	1100	
MoO ₃	15	750	
d) Aktif olmayanlar			
= °C/min			
CaO	5	200	
CaCO ₃	5	130	
SiO ₂	2-5	70	

Tablo 5.3 Mikrodalga ısıtma için saydam mineraller (2450 MHz, 150 W, 5 dk maruz kalma) (Chen ve ark., 1984).

Mineral Sınıfı	Mineraller/Bileşikler
Karbonatlar	Aragonit, kalsit, dolomit, siderit
Jarosit tipi bileşikler	Argentojarosit, sentetik natrojarosit (çinko tesis atıkları, Kidd Creek Mines), sentetik plumbojarosit(çinko tesis atıkları, Cominco)
Silikatlar	Muskovit, potasyum, feldspat, kuvars, titan, zirkon, anortit, allanite, almandine, gadolinite
Sülfatlar	Barit, alçıtaşı
Diğerleri	Monazite, sfalerit (düşük-Fe), stibnit, fergusonite

Tablo 5.4 Oksitler ve uranyum mineralleri üzerinde yapılan mikrodalga ısıtma deney sonuçları (2450 MHz frekans,3-5 dk maruz kalma) (Chen ve ark., 1984).

Mineral	Güç (W)	Isınmaya Karşı Tepkisi	Ürün Oluşumu
Allanite	>150	Isınmaz	Değişim yok; allanit
Kassiterit	40	Hızlı ısınır	Değişim yok; kassiterit
Fergusonit	>150	Isınmaz	Değişim yok; Fergusonit
Hematit	50	Hızlı ısınır; yüksek sıcaklıklarda ark meydana gelir	Değişim yok; Hematit
Manyetit	30	Hızlı ısınır	Değişim yok; Manyetit
Monazite	>150	Isınmaz	Değişim yok; Monazit
Pitblend (90 vol.%); klorit, galen ve kalsit içerir	50	Hızlı ısınır	Bazıları UO ₂ , U ₃ O ₈ , ThO ₂ ve Fe-Al-Ca-SiO ₂ camına ergir, diğerleri değişmez

Test sonuçları, pek çok silikatlar, karbonatlar, sülfatlar, bazı oksitler ve sülfatların Tablo 5.3’de olduğu gibi birinci grup içerisine girdiğini göstermektedir. Sentetik ve doğal jarosit, bazı metal oksitler örneğin hematit, manyetit ve kassiterit gibi kolayca ısıtılabilen ve Tablo 5.4’de görüldüğü gibi 2. Grup içerisinde yer almaktadır.

Mikrodalga ısıtmada minerallerin davranışı onların kimyasal bileşimine bağlıdır. Örneğin sfaleritteki Zn için Fe yer değiştirmeleri yüksek demirli sfalerite yol açmakta ve bu minerali mikrodalgaya tepki verir hale getirmektedir. Bu test

sonuçları, mikrodalga enerjinin mineral uygulamalarında ve metal kazanma proseslerinde uygulama alanı bulabileceğini göstermektedir.

Tablo 5.5 Cevher mineralleri üzerinde mikrodalga ısıtmanın sonuçları (2450 MHz, 3-5 dk maruz kalma) (Chen ve ark., 1984).

Mineral	Güç (W)	Isınma Davranışı	Ürün Oluşumu
Arsenopirit	80	Isınır, bazıları kıvılcım saçar.	S ve As gazları, bazıları ergir.
Bornite	20	Hızlıca ısınır.	Bazıları bornit, kalkopirit ve digenite dönüşür.
Kalkopirit	15	Sülfür gazı çıkışı ile hızlıca ısınır.	Cu-Fe sülfürler yada pirit ve Cu-Fe sülfürler.
Kovelline/Anilite	100	Isınması zordur, sülfür gazı çıkışı olur.	(Cu-Fe) ₉ S ₅ bileşime sinterlenir.
Galen	30	Ark yaparak hızlıca ısınır.	Galene sinterlenir.
Nikel/Kobalt	100	Zor ısınır.	Bazıları ergir, pekçoğu etkilenmez.
Pirit	30	Hızlı ısınır, sülfür gazı çıkışı olur.	Pirotit ve S gazları
Pirotit	50	Yüksek sıcaklıkta ark yaparak hızlı ısınır.	Bazıları ergir, pekçoğu etkilenmez.
Sfalerit Zn:%58,9 Fe:%7,4 S:%33,7	100	Soğuk iken ısınması zordur.	Wurtzite dönüşür.
Sfalerit Zn:%67,1 Fe:%0,2 S:%32,7	>100	Isınmaz.	Değişmez, sfalerit
Stibnit	>100	Isınmaz.	Değişmez, stibnit
Tennantite(*)	100	Soğuk iken ısınması zordur.	Kalkopirit;arsenik gazları yayılır.
Tetrahedrid(**)	35	Kolay ısıtılır.	
*(Cu %42,8, Ag %0,1, Fe %4,8, An %1,7, As %12,5, Sb %10,6, S %27,5)			
**(Cu %24,9 Ag %18 Fe %1,9, Zn %4,8, Sb %25,6, As %1,3 S %23,4)			

Son yıllarda, A.B.D. Maden Dairesinde 2450 MHz ile birçok mineralin mikrodalga ısıtma sonuçları rapor edilmiştir. Tüm ısıtma testleri her grup için 25 g öğütülmüş örnekler ile yapılmıştır. Örneklerin sıcaklıkları, K-tipi thermocouple ile tespit edilmiştir. Tablo 5.6'da yapılan bu testlerin sonuçları verilmiştir (McGill ve Walkiewicz, 1987; Walkiewicz ve ark., 1988)

Tablolar incelendiğinde metal tozları ve bazı ağır metal tuzlarının da aynı zamanda iyi ısıtıldığı görülmektedir. Gang mineralleri olarak sayılan kuvars, kalsit ve feldispat bunların ise ısıtılmadığını görüyoruz. Bu çalışma aynı zamanda, mikrodalga transparan yapı içindeki cevher minerallerinin hızlı ısıtılmasının, mineral fazları boyunca mikro çatlaklar yaratmak için yeterli büyüklükte termal gerilim ürettiğini de ortaya çıkarmıştır. Pek çok oksit, sülfür ve karbonatlı minerallere mikrodalga ile ısıtma testleri yapmışlardır. Test sonuçları Tablo 5.7’de verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde oksitlerin büyük çoğunluğunun ve sülfür minerallerinin iyi ısıtıldığı ortaya çıkmaktadır (Chunpeng, Yousheng ve Yixin,1990).

Tablo 5.6 Doğal minerallerin mikrodalga ısıtma altındaki etkileri (McGill ve Walkiewicz, 1987; Walkiewicz ve ark., 1988)

Mineral	Kimyasal Bileşim	Sıcaklık °C	Zaman, dk	Mineral	Kimyasal Bileşim	Sıcaklık, °C	Zaman, dk
Albit	NaAlSi ₃ O ₈	82	7	Molibdenit	MoS ₂	192	7
Arizonit	Fe ₂ O ₃ ·3TiO ₂	290	10	Orpiment	As ₂ S ₃	92	4,5
Kalkosit	Cu ₂ S	746	7	Ortoklaz	KAlSi ₃ O ₈	67	7
Kalkopirit	CuFeS ₂	920	1	Pirit	FeS ₂	1019	6,76
Kromit	FeCr ₂ O ₄	155	7	Pirotit	FeS	886	1,75
Zinober	HgS	144	8	Kuvars	SiO ₂	79	7
Galen	PbS	956	7	Sfalerit	ZnS	87	7
Hematit	Fe ₂ O ₃	182	7	Tetrahedrit	Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	151	7
Magnetit	Fe ₃ O ₄	1258	2,75	Zirkon	ZrSiO ₄	52	7
Mermer	CaCO ₃	74	4,25				

a: belirlenen zamanlar içinde kayıt edilen maksimum sıcaklık

Tablo 5.7 Mikrodalga ısıtmanın değişik minerallere etkisi (500W, 2450 MHz) (Chunpeng, Yousheng ve Yixin, 1990).

Mineraller	Kimyasal Bileşim	Zaman, dk	Sıcaklık, °C
Jamosit	$Pb_2Sb_2S_5ZnS$	2	>850
Titanomagnetit	$xTiO_2.yFe_3O_4$	4	>1000
Galen	PbS	4	>650
Kalkoprit	$CuFeS_2$	4	>400
Pentlandit	$(FeNi)_9-xS_8$	4	>440
Nikel pirotit	$(FeNi)_4-xS$	4	>800
Cu-Co sülfür konsan.	$xCu_2S.yCoS$	4	>800
Sfalerit	ZnS	4	>160
Molibdenit	MoS_2	4	>510
Stibnit	Sb_2S_3	4	oda sıcaklığı
Pirotit	FeS	4	>380
Pirit	FeS_2	6,75	1019
Bornit	Cu_3FeS_4	4	>700
Hematit	Fe_2O_3	4	>980
Manyetit	Fe_3O_4	4	>700
Limonit	$mFeO_2.nH_2O$	4	>130
Kasiderit	SnO_2	4	>900
Kobalthidrat	$CoO.nH_2O$	4	>800
Kurşun molibdenit	$PbMoO_4$	4	>150
İlmenit	$FeTiO_4$	4	>1030
Rutil	TiO_2	4	oda sıcaklığı
Kurşun karbonat	$PbCO_3$	4	>180
Simitsonit	$ZnCO_3$	4	>48
Siderit	$FeCO_3$	4	>160
Serpantin	$Mg(Si_4O_{10})(OH)_3$	4	>200
Melakonite	$(Cu_2,Al_3)H_2-x(Si_2O_3)(OH)_4$	4	>150
Antimon oksit	Sb_2O_3	4	>150

5.9 Mikrodalgayı Enerjiye Dönüştürmede Etkin Olan Faktörler

Genel olarak bir malzemenin dielektrik özellikleri; sıcaklık, nem içeriği, yoğunluk ve malzeme geometrisi ile ilişkilidir.

Nem içeriği: Nem içeriği ne kadar fazla ise ısınma o kadar hızlı olur, kritik nem yüzdesinden sonra malzeme yapısında bozulmalar başlar.

Yoğunluk: Maddelerin yoğunluğu azaldıkça dielektrik özellikleri azalır, dolayısıyla daha zor ısınırlar. Havanın dielektrik sabiti 1'dir ve elektromanyetik dalgaların büyük bir kısmını geçirir.

Sıcaklık: Malzemenin özelliğine bağlı olarak bazı malzemelerin dielektrik sabiti sıcaklıkla artarken, bazıları azalır. Genel olarak maddelerin donma noktalarının altında düşük dielektrik sabitleri vardır. Örneğin; 0°C'deki buzun dielektrik sabiti 0.003 iken, aynı sıcaklıktaki suyun dielektrik sabiti 12 civarındadır.

Frekans: Dielektrik özellikler uygulanan mikrodalganın frekansı ile etkilenmektedirler.

Elektrik İletkenlik: Yüklü iyonların ortamda bulunması mikrodalga ısıtmada en kuvvetli etkidir. Kurutma sırasında buharlaşma sonucu konsantrasyon artışı, sona doğru ısıtma hızını hızlandırır.

Termal İletkenlik: Mikrodalga ısıtmalarda termal iletkenlik etkisi azdır. Çünkü mikrodalga çok hızlı bir ısıtma yöntemidir. Mikrodalga ısınının malzemeye işleme derinliğinin az olması halinde veya geometrisi düzgün olmayan şekillerde termal iletkenlik homojen ısıtma için önem kazanabilir.

Spesifik Isı: Dielektrik kayba ve zayıf mikrodalga absorblamaya rağmen düşük spesifik ısıya sahip maddeler mikrodalgalar ile kolaylıkla ısıtılabilir. Bunun nedeni sıcaklığı yükseltmek için birim ağırlık başına daha az kalori gerekmesidir (Al-Harashsheh ve ark., 2004).

Mikrodalganın Malzemeye İşleme Derinliği: Büyük kütlelerin ısıtılmasında bu özellik çok önem taşımaktadır. Enerjinin mümkün olduğunca iç bölgelere işlemesi gerekir. İşleme derinliği frekans küçüldükçe artmakta, büyüdükçe azalmaktadır. Bu nedenle madde içerisinde elektromanyetik dalga ilerledikçe alan ve güç dağılımı gittikçe zayıflayacağından mikrodalga enerjisi ile ısıtılacak maddelerin kalınlıkları büyük önem taşımaktadır. Numunenin kalınlığı dalganın işleme derinliğinden fazla ise, iç kısımların soğuk kalması olasıdır (Bows, 1999; Chan ve ark., 2000; Risman, 1991 Al-Harashsheh ve ark., 2004; Klark, Folz ve West, 2000).

5.10 Mikrodalga Isıtmanın Avantaj Ve Dezavantajları

Avantajları;

Enerji Penetrasyonu:

- Mikrodalga enerjisini madde yüzeyine bırakmaz, frekansına ve gelis açısına göre madde içinde belli bir işleme derinliği vardır.
- Mikrodalga, malzemeleri içten ısıtmaya başladığından yüzeyde yanma oluşmaz
- MD ısıtmada sıcaklık ve zaman ayarlaması kolaydır ve kısıtlama yoktur
- Cisimlerin iç bölgelerinde istenilen nokta hedeflenerek ısıtma yapılabilir

Enerji Absorpsiyonunda Seçicilik:

- Malzemeler mikrodalgayı yansıtıcı, absorplayıcı ve geçirici olarak mikrodalga sınıflandırılabilir. Mikrodalga ısıtmalarda polar ve küçük molekülü solventler mikrodalga enerjisini fazla emerler. Malzemeler kuruyunca veya polarite özellikleri azalınca mikrodalga absorplama seçicilikleri azalabilir.

Isıtma Prosesi Çok Hızlıdır:

- Isıtma hızı ayarlanabilir.
- Malzemenin cinsi, ısınma ısısı, dielektrik özellikleri, geometrisi, ısı kaybı mekanizması ve mikrodalga ısıtıcının özellikleri gibi parametrelerden ısıtma hızı etkilenir. Örneğin, ısıtma gücü 2 kat arttırılınca hız da 2 kat artar.

Malzemenin Tümünde Homojen Isıtma Yapılabilir:

- Konvansiyonel ısıtmalarda olduğu gibi malzeme içinde büyük ısı değişimi oluşmaz, ısıtma istenilen bölgeye ve geometriye göre ayarlanabilir.
- Enerji dönüşüm verimi yüksektir.
- Doğrudan doğruya hedeflenen malzeme ısıtılabilir.
- Heterojen malzemelerde bazı bileşenler ısıtılıp, bazıları ısıtılmayabilir, yani selektif ısıtma mümkündür.
- Fırının duvarları, taşıyıcı bantlar ve içindeki havanın ısıtılmasına gerek yoktur.
- Fırın ısınmadığından, ayrıca soğutma ekipmanlarına ve izolasyona gerek yoktur.
- Isıtma hızla kontrol altına alınabilmektedir ve daha hızlı proses kontrolü sağlar.
- Isıtmanın başlatılması ve kesilmesi çok hızlıdır.
- Cihazların kapladıkları alan ve hacim çok küçüktür.
- Mevcut tesislere kolaylıkla adapte edilebilir ve montajı kolaydır.
- Ürün kalitesini artırır ve kabuklaşmayı önler.
- Yüzeyde istenilmeyen fiziksel ve kimyasal değişiklikleri önler.
- Proseste daha az atık ürün oluşur.
- Şiddetli ısıtma gerçekleştirilebilir.
- Otomasyona uyumlu olması ve yüksek güvenlik seviyesinin sağlanabilmesi
- Sonsuz metal tüp kaynağından transfer edilebilmesi.

Sıcaklığa Bağlı Pek Çok Kimyasal Reaksiyonu Başlatabilir

- Kataliz olarak kullanımı olabilir.
- Organik sentezlerde, polimerizasyonda, plastiklerde solvent gidermede, emülsiyon bozmada, ilaç sanayinde kullanılabilir (Eskibalcı, 2007).

Dezavantajları;

- MD ısıtma ile bazı ürünler zarar görebilir (ısı uygun dağıtılmazsa).
- Ani ısıtma sonucu oluşan basınçla üründe patlama, kabarma ve dağılmalar olabilir.
- Giriş voltajındaki değişimler cihazda ve üründe problem yaratabilir.
- Kurutma işlemlerinde %50'den fazla su içeren sistemler için uygun değildir.
- Sabit yatırım 2500-3000 \$/kWh kadardır.
- Gıda ve kurutma sanayi dışındaki uygulaması yaygınlaşmamıştır (Eskibalcı, 2007).

BÖLÜM ALTI

EFEMÇUKURU ALTIN MADENİ

Efemçukuru Altın Madeni, Ege Bölgesi'nde İzmir ili Menderes ilçesi, Efemçukuru köyü yakınlarında kurulmaktadır. Söz konusu yatırımın tamamı Eldorado Gold – Vancouver, Kanada (Eldorado) Şirketine ait Tüpraş Metal Madencilik Ltd. Şti. tarafından inşa edilmektedir.

Efemçukuru Projesindeki işletilebilir rezerv 2,5 milyon ton ve cevherin tenörü 12,65 gr/ton olarak tahmin edilmektedir. Öngörülen 10 yıllık faaliyet ömrü boyunca tahmini üretim yıllık 250,000 ton olacaktır.

Efemçukuru damar tipi epitermal bir yataklanma göstermektedir. Stockwork yapı mevcuttur. Efemçukuru numuneleri mineralojik çalışmaları, cevherin pirit, az ama belirgin miktarda sfalerit, kalkopirit ve arsenopirit içerdiğini göstermektedir. Pirit ve galen altın ve gümüşün doğal alaşımı olan elektrümla birlikte bulunan iki mineraldir. Saydam gang mineralleri ağır mineral konsantrasyonlarında az miktarda bulunmaktadır. Cevherde bulunan gang mineraller rodokrosit, kuvars, kalsit ve K-feldspattır. Az miktardaki diğer mineraller; kovalit (Bi-Pb-Ag-Sülfür), arsenopirit ve metalik bizmuttur (Oyman, Minareci ve Pişkin, 2003).

Cevher dolgu ve aşırı breşleşme göstermektedir. Damar tipik olarak %95-%99 arasında kuvars, rodonit, rodokrosit, pirit ve küçük metal sülfürleri ve bunların oksitlenme ürünlerinden oluşmaktadır. Cevherin sülfür içeriği genel olarak %1-5 civarındadır. Pirit en bol miktardaki sülfür minerali olup onu sfalerit, galen, kalkopirit kalıntıları takip etmektedir. Mineralojik çalışmalara dayanan parajenez, altının ince taneli (2,5-50 mikron) olduğunu, sülfür minerallerinin sınırları içinde ve üstünde yayılmış taneler halinde, ayrıca lokal olarak silika-karbonat içinde izole tanecikler içerdiği ileri sürmektedir.

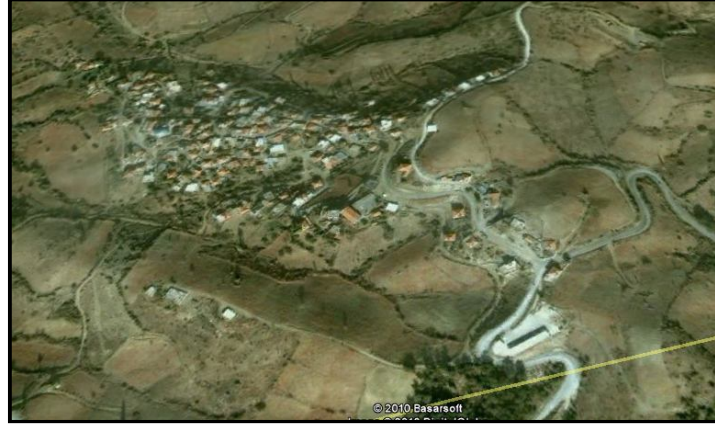
Maden yatağında ekonomik değere sahip tek bileşen az miktardaki gümüş ile altındır. Cevherdeki bileşik bakır, kurşun ve çinko konsantrasyonları genel olarak %0,5 ile %1'den fazla olmayıp, bileşik temel metal değerleri de %10'u aşmamaktadır. Dolayısıyla ekonomik kazanım açısından yetersizdir.

BÖLÜM YEDİ

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 Tesisin ve Cevher Sahasının Yeri

Efemçukuru, İzmir'den yaklaşık 20 km mesafede bulunan 30 km²'lik bir maden ruhsat sahası içinde yer almaktadır (Şekil 7.1). İzmir ili sınırları içindeki proje sahasına erişim gerek sahil şeridinden gerekse kuzeydeki İzmir kentinden asfalt yollarla sağlanmaktadır (Şekil 7.2).



Şekil 7.1 Efemçukuru köyü ve maden ocağının uydu görüntüsü (Google Earth 2010).



Şekil 7.2 Efemçukuru maden işletmesinden bir görünüm (Anonim, 2010b).

7.2 Numune Alma ve Boyut Küçültme Çalışmaları

Çalışmalarda kullanılan altın cevheri için, İzmir, Efemçukuru altın madenine gidilerek TÜPRAG Metal Madencilik şirketi yetkilileri ile görüşülmüş ve SOS1, 109583 ve 109584 olarak adlandırılan üç sondaj bölgesinden yaklaşık 850 kg numune alınmıştır (Şekil 7.3 ve 7.4).

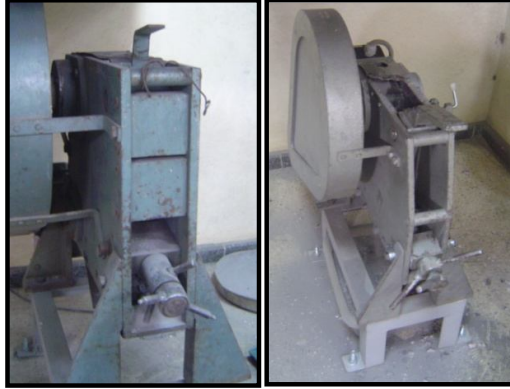


Şekil 7.3 İzmir, Efemçukuru bölgesi sondaj sahasında mostra vermiş altın cevheri.



Şekil 7.4 DEU Maden Müh. Bölümü numune deposuna getirilmiş altın cevheri numune çuvalları, toplam 850 kg.

Efemçukuru yöresinden alınan, en büyük tane boyutu yaklaşık 300 mm olan 850 kg numunenin yaklaşık 200 kg'ı harmanlandıktan sonra depolanmıştır. Kalan yaklaşık 650 kg numune önce elle (balyoz yardımıyla) primer çeneli kırıcıya beslenecek tane boyutu olan -80 mm'nin altına indirilmiştir. Bu malzeme primer çeneli kırıcıya beslenerek önce 20 mm tane boyutunun altına, sonra da sekonder çeneli kırıcıya beslenerek 5 mm'nin altına indirilmiştir (Şekil 7.5). Söz konusu malzeme, sekonder çeneli kırıcının çene ayarı tekrar küçültülerek, -3,35 mm tane boyutunun altına indirilmiştir. Tane boyutunun %100'ü 3,35 mm altına indirilen malzeme harmanlama, konileme ve dörtleme işleminin ardından riffle tip numune bölücü (hazneli numune bölücü) ile numune bölme işlemine tabi tutulmuştur. Bölme işlemi sonucu 640 kg malzeme 1250 g'lık numunelere bölünmüş ve torbalanmıştır. Bu numuneler güneş ışınlarına maruz kalmayacak şekilde deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere depolanmıştır (Şekil 7.6).



Şekil 7.5 Boyut küçültme işleminde kullanılan laboratuvar tipi primer ve sekonder kırıcılar.



Şekil 7.6 Numune bölme işleminde kullanılan hazneli numune bölücü (Riffle numune bölücü).

7.3 Cevherin Karakterizasyon Çalışmaları

Cevher numuneleri üzerinde karakterizasyon çalışmaları; kimyasal ve mineralojik analizler, tane boyut dağılımı, elek-metal (boyuta göre altın dağılımı) analizi, serbestleşme boyutu tayini, XRD ve SEM yüzey analizleri yapılmıştır.

7.3.1 Altın Numunelerinin Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS)

Altın cevherinin zenginleştirilmesine yönelik yöntemin/yöntemlerin belirlenmesi amacıyla cevher içindeki mineralleri ve elementleri belirlemek için kimyasal ve mineralojik testler yapılmıştır. Numuneler kimyasal analiz için çubuklu değirmende öğütülerek -0,106 mm altına indirilmiştir. Efemçukuru altın cevherinin Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS) ile yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 7.1'de verilmektedir. Cevherin ortalama 7 g/t altın içerdiği ve demir içeriğinin de yüksek olduğu görülmüştür.

Tablo 7.1 İzmir, Efemçukuru altın cevherinin kimyasal analiz sonuçları.

Element	Ortalama miktar (g/t)	Element	Ortalama miktar (%)
Au (g/t)	7	% Mn	1,09
Ag (g/t)	50	% Na₂O	0,15
Cu (g/t)	277	% K₂O	3,20
Pb (g/t)	2592	% CaO	0,68
Zn (g/t)	534	% MgO	0,29
Ni (g/t)	95	% Al₂O₃	4,96
Co (g/t)	6	% SiO₂	72,91
Cd (g/t)	3	% SO₃	2,89
		% Fe₂O₃	12,36
		Toplam	98,90

7.3.1.1 Katı Numunede Altın Analizi

Numune içeriğindeki metalleri ve miktarlarını tespit etmek amacıyla kimyasal analiz yapılmaktadır. Analiz için öncelikle örnek alınacak malzeme etüvde 105°C'de 45 dk bekletilir. Süre sonunda malzeme desikatöre alınır. Soğutulur. 400 mL'lik erlene 10 g örnek tartılır. %37'lik HCl'den (Merck kalite) 25 mL ilave edilir. Üzeri saat camı ile kapatılır orta sıcaklıktaki kum banyosu üzerine yerleştirilir. 15 dk sonra 15 mL %65'lik HNO₃ (Merck kalite) ilave edilir. 20 dk ısıyla yumuşatılır. Süre

sonunda 25 mL %37'lik HCl ile 25 mL saf su ilave edilir. Üzeri kapatılır ve kaynatılır. Kaynadıktan sonra kum banyosundan alınır saat camı kaldırılır ve soğuması beklenir. Ardından 305 nolu (siyah bant) Whatman filtre kağıdı ile 250 mL'lik balon jöjeye süzülür. Süzme işlemi tamamlandıktan sonra balon jöjenin 250 mL çizgisine kadar saf su ile doldurulur. Bu süzüntüden Ag, Pb, Zn, Cu, Mo gibi tayinler yapılabilir. Bu çalışma için 250 mL'lik balon jöje iyice çalkalandıktan sonra 50 mL çözelti içinden çekilir ve 50 mL'lik balon jöjeye aktarılır. Bu kısımdan direkt olarak Atomik Absorpsiyon Spektroskopisinde (AAS) diğer metal tayinleri yapılabilir. Kalan çözelti Au analizi için ayırma hunisine alınır 15 mL metilizobütiletan ilave edilir ve 15 sn şiddetle çalkalanır. Standa yerleştirilir. 5 dk faz oluşana kadar beklenir. Fazlara ayrıldıktan ayırma hunilerinin alt fazı behere aktarılır. Üst fazı gelince durulur. Beherdeki atılır. Geriye kalan kısma %37 saflıktaki HCl'den %10 (hacim/hacim)'luk hazırlanarak 35 mL ilave edilir ve çalkalanır. Fazlar ayrıldıktan sonra sulu tabaka tekrar çekilir ve atılır. Keton tabakası 25 mL'lik bir balon jöjeye alınır ve çizgisine kadar metilizobütiletan ile tamamlanır iyice çalkalanır ve Au AAS'de okunur. AAS'de okunan değer % elementtir (Perkin-Elmer, 1976).

$$\% \text{ Element} = \frac{\text{AAS'de okunan değer} \times \text{seyrelme faktörü} \times \text{balon jöje hacmi}}{\text{Numune miktarı (g)}}$$

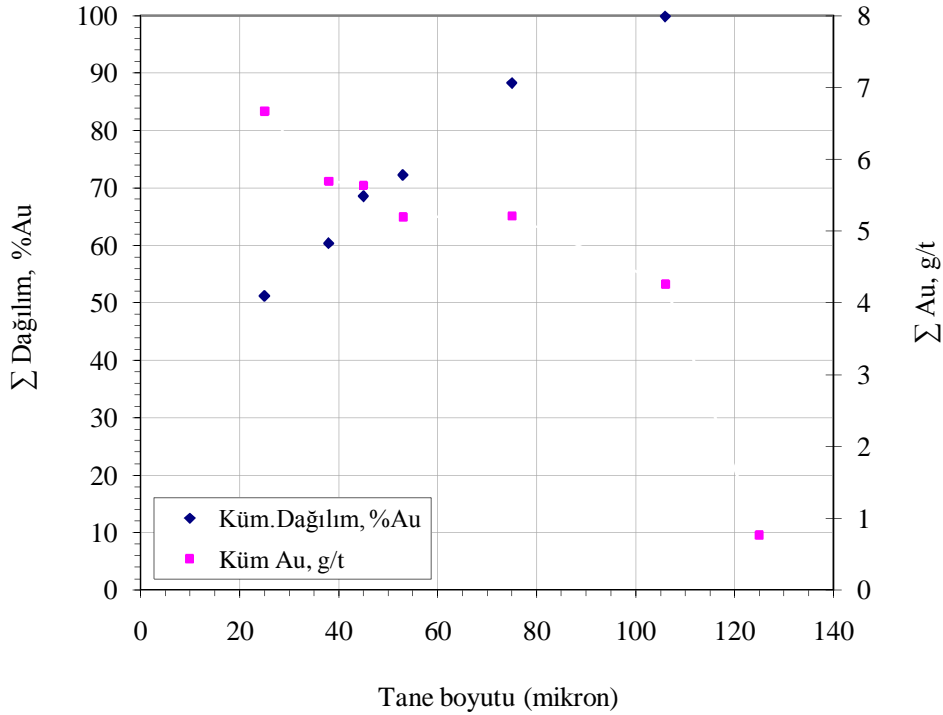
$$\text{ppm} = \% \text{ Element} \times 10000$$

7.3.2 Altın Numunelerinin Elek Metal Analizi

Altın cevheri numunelerinin tane fraksiyonuna göre altın dağılımını görebilmek için numune alma kurallarına uygun olarak alınan -0,106 mm tane boyutuna sahip malzemenin elek analizi yapılmış ardından her fraksiyon için kimyasal analiz yapılarak altın tenörü belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 7.2 de ve Şekil 7.7'de verilmektedir.

Tablo 7.2 Cevherin -0,106 mm tane boyutuna öğütülmüş besleme malı elek-metal analiz sonuçları.

Tane Boyutu, mm	Ağırlık (%)	Au (g/t)	Dağılım % Au	Kümülatif Elek Altı		
				\sum %Ağ	\sum Au, g/t	\sum Dağılım, % Au
+ 0,106	1,69	1	0,19	100,0	1	100,00
- 0,106 + 0,075	16,74	5	11,57	98,31	4	99,81
- 0,075 + 0,053	17,08	6	15,96	81,57	5	88,24
- 0,053 + 0,045	4,86	5	3,72	64,50	5	72,28
- 0,045 + 0,038	6,51	8	8,16	59,64	6	68,56
- 0,038 + 0,025	10,23	6	9,17	53,13	6	60,40
- 0,025	42,89	8	51,24	42,89	7	51,24
Besleme Malı	100,00	7	-	-	-	-
Hesaplanan Besleme Malı	100,00	8	-	-	-	-

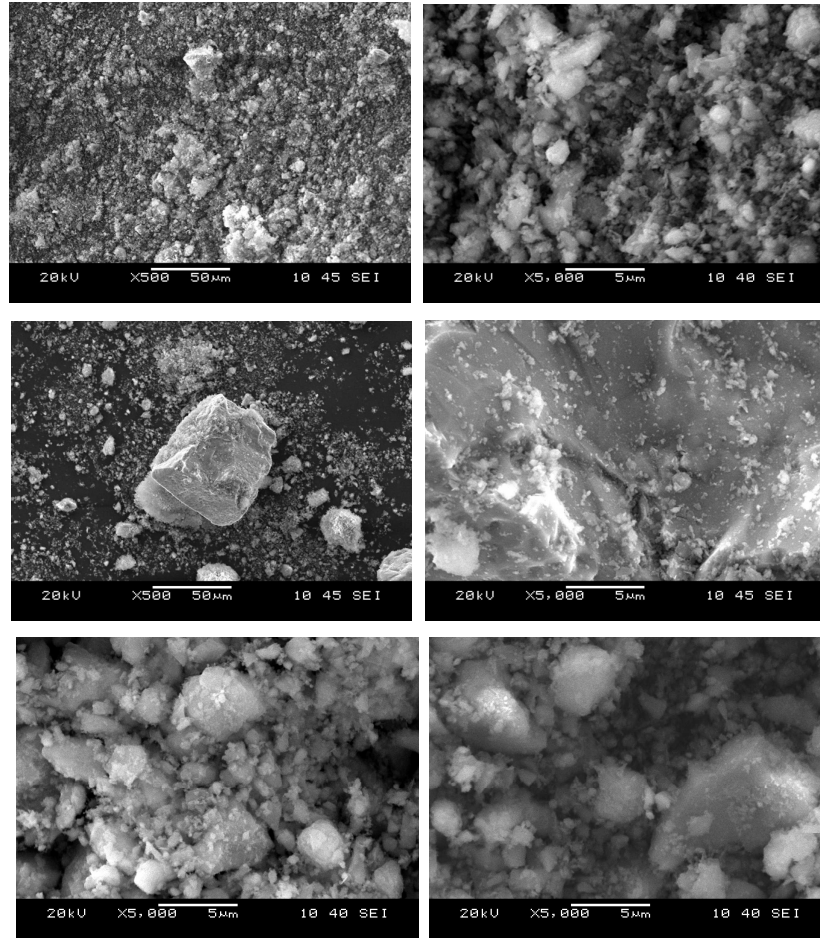


Şekil 7.7 Cevher kümülatif dağılım ve tenör eğrileri.

Tablodan ve şekilden görüldüğü gibi malzemenin -0,106 mm tane boyutunda ortalama tenörü 7 g/t'dur. Tane fraksiyonları bazında incelendiğinde ise tane boyutu küçüldükçe altın tenöründe artış olmuştur. Örneğin besleme malının yaklaşık %40'ı 0,025 mm'nin altında kalmaktadır. Altın tenörünün ise bu boyutta 8 g/t'a çıktığı, daha iri boyutlarda ise düşük değerlerde kaldığı görülmüştür. Bu durum serbestleşme tane boyutu ile de ilişkilidir. Altının -0,025 mm altında kaldığı çalışmalar bazında mikroskop görüntülerinde ise 5 mikron tane boyutuna kadar altın gözlemlenmiştir.

7.3.3 SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Analizleri

Efemçukuru cevheri -0,075 mm'nin altına öğütülmüş ve yüzey özellikleri (porozite) ile tane şekillerinin belirlenmesi için numuneler 105⁰C'de etüvde kurutulup desikatörde soğutulmuş ve DEU Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında SEM analizleri yapılmıştır. SEM görüntüleri Şekil 7.8'de verilmiştir. Tanelerin köşeli, fakat gözeneksiz yapıda, kırık ve çatlağın olmadığı gözlemlenmiştir. Kuvars taneleri oldukça yoğun olarak mevcuttur. Taneler üzerine yapılan EDX analizlerinde demir, bakır, çinko, kurşun, nikel, mangan, titan, kalsiyum ve kükürte rastlanmıştır.



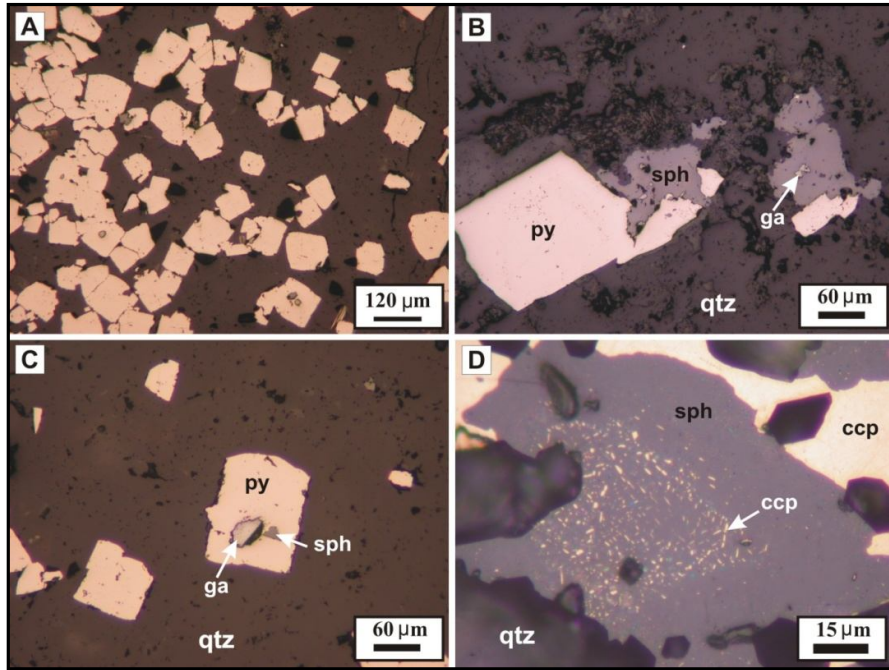
Şekil 7.8 Efemçukuru numunelerinin SEM görüntüleri.

7.3.4 Altın Numunelerinin Mineralojisi ve Petrografisi

Mineralojik testler için seçilen 10 adet el numunesinin ortak yüzeyleri referans alınmış ve belirlenen yerlerinden bölünen taşların bir kesilmiş yüzeyin bir parçasından parlak kesit diğer karşı parçasından ince kesit olmak üzere numuneler hazırlanmıştır. Parlak kesit analizleri ve fotoğraflanması Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır.

7.3.4.1 Sülfürlü Mineraller

En yaygın gözlenen cevher minerali pirittir. Piritlerin en büyük tane boyu 0,5 mm'yi aşmaktadır. Diğer sülfür minerali çinkoblenddir. Çinkoblend yaygın olarak piritle birlikte bulunur. Çinkoblendler genellikle mikron boyutunda kalkopirit ve pirit eksolüsyonları içermektedir. Bu eksolüsyonların birçok örnekte çinkoblend kristal büyüme sınırları boyunca dizilim sunduğu belirlenmiştir. Galen yaygın olarak çinkoblendle birlikte piritlerin kovuk ve boşluklarını doldurur şekilde gözlenmektedir (Şekil 7.9).

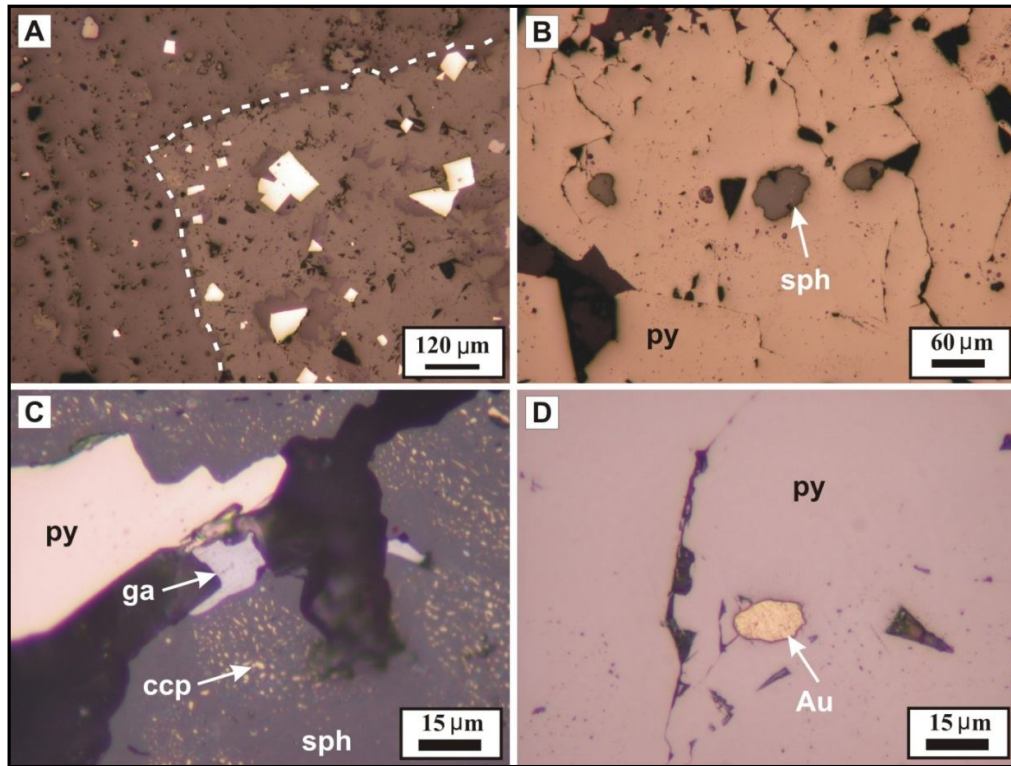


Şekil 7.9 8 nolu örneğe ait cevher dokuları (ccp, kalkopirit; py, pirit; sph, sfalerit; qtz, kuvars; ga, galen).

Kalkopirit bu örneğin parajenezinde pirit, çinkoblend ve galene göre daha az yer almaktadır. Örnek 5 mineral içeriği açısından örnek 8'e benzemekle beraber iki yönüyle farklılık sunmaktadır.

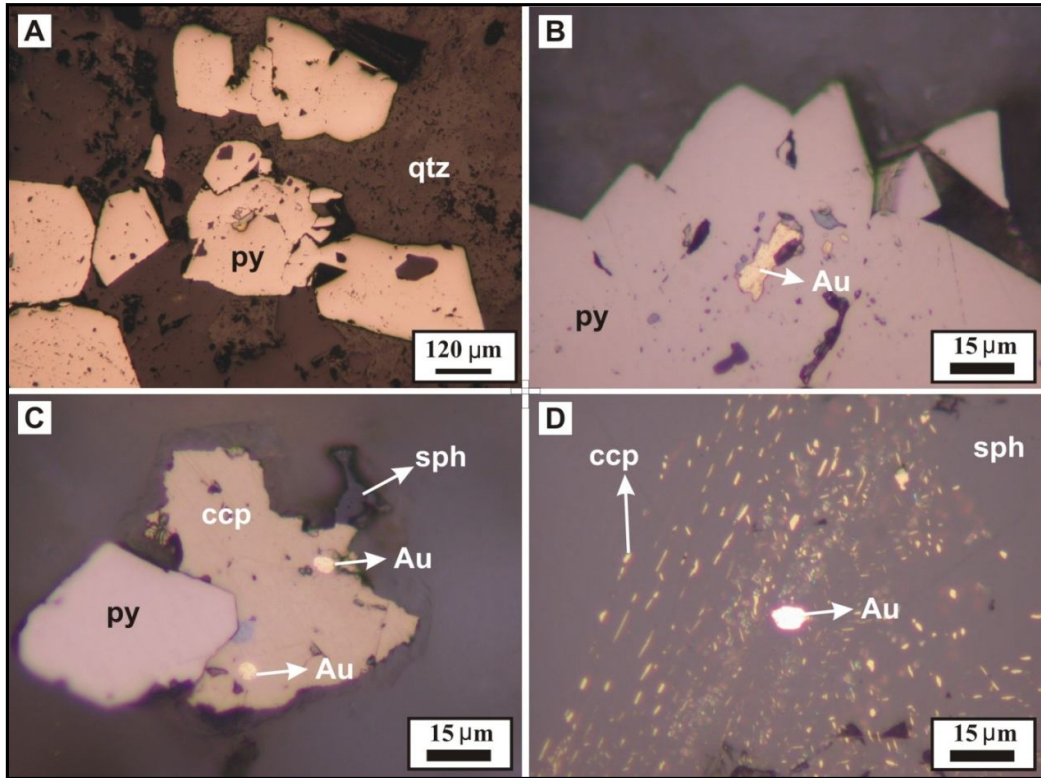
- 1) Tektonikten etkilenmiştir. Breşik cevher içermektedir (Şekil 7.10 A).
- 2) Sülfür mineral içeriği daha yoğundur. Bununla birlikte çinkoblend içeriği daha fazla olup, kalkopirit ve galen içeriği daha azdır.

Örnek 5 boyu milimetreyi aşabilen oldukça iri pirit kristalleri içermektedir (Şekil 7.10 B). Pirit kristallerinin boşluk ve kovukları yaygın olarak çinkoblend tarafından doldurulmaktadır. Pirit dışında çinkoblend ve daha az oranda galen ve kalkopirit önemli cevher mineralleridir (Şekil 7.10 C). Bu örnek altın açısından zengin sayılabilecek örnek olup, altın genellikle piritler içinde yer almaktadır (Şekil 7.10 D).



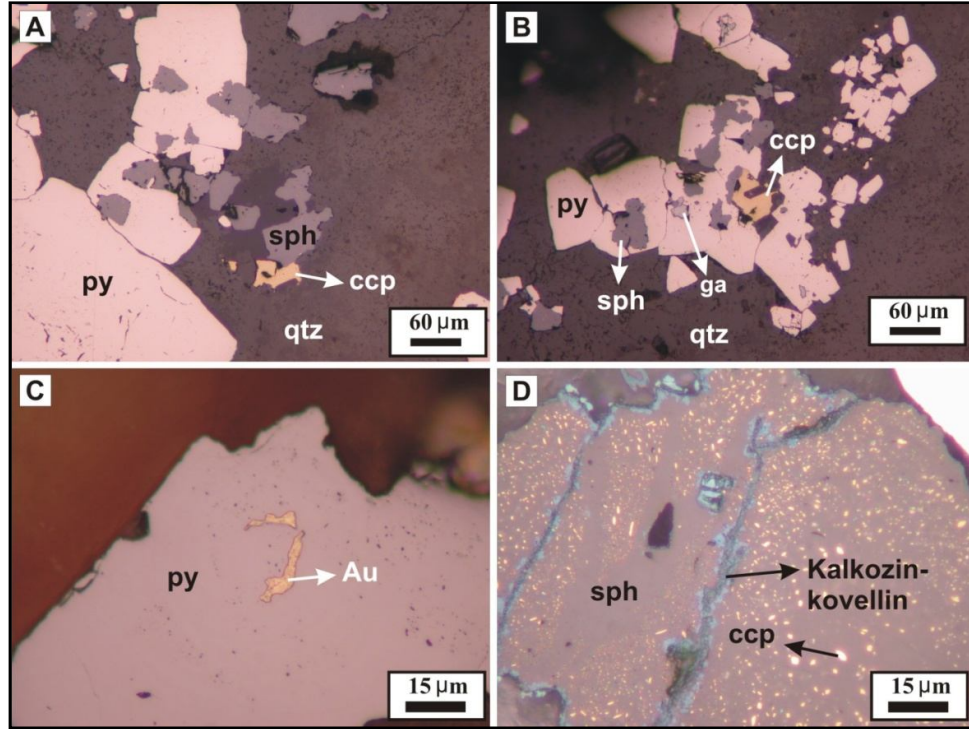
Şekil 7.10 5 nolu örneğe ait cevher dokuları (Au, altın; ccp, kalkopirit; py, pirit; sph, sfalerit; qtz, kuvars; ga, galen).

Pirit en bol bulunan sülfür minerali olarak en yaygın altın içeren faz olarak belirlenmiştir (Şekil 7.11 A). İri bir pirit kristali içindeki boşlukları galen ve gümüş ile birlikte dolduran altın oluşumu Şekil 7.11 B’de verilmektedir. Özşekli bir pirit kristalini çevrelemiş olarak gözlenen kalkopirit kristali içinde yer alan altın oluşumları Şekil 7.11 C’de verilmektedir. Şekil 7.11 D’de ise çinkoblend kristali içinde yer alan kalkopirit eksolüsyonları arasında yer alan altın oluşumu gözlenmektedir.

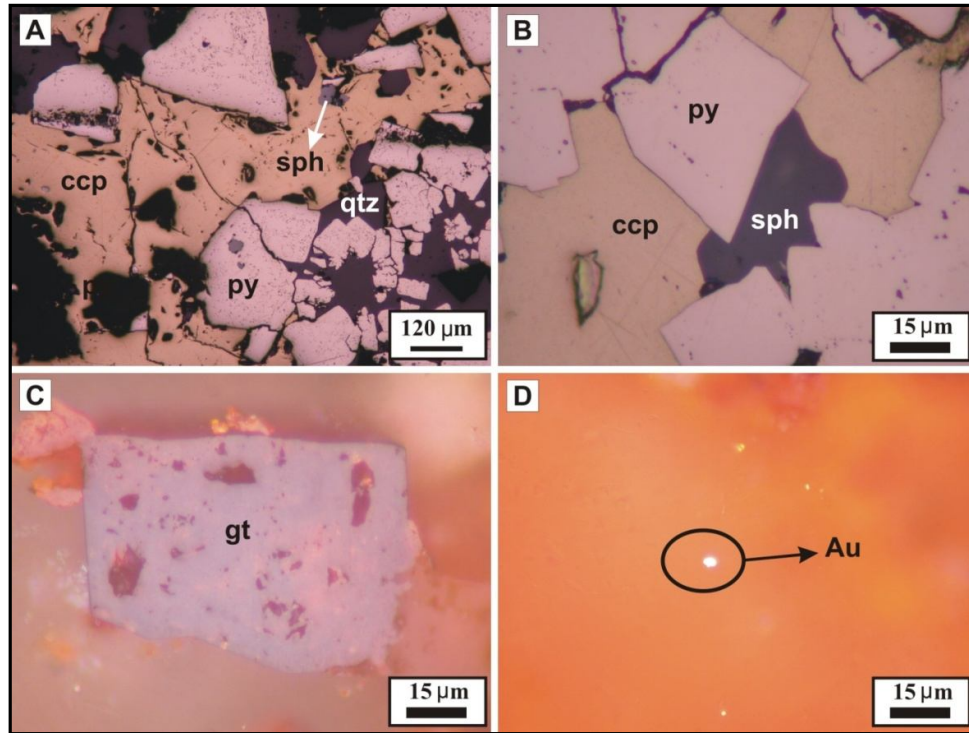


Şekil 7.11 3 nolu örneğe ait cevher dokuları (Au, altın; ccp, kalkopirit; py, pirit; sph, sfalerit; qtz, kuvars).

6 nolu örnek diğerlerine benzer bir örnektir ve başlıca pirit, çinkoblend ve daha az kalkopirit ve galenden oluşmaktadır (Şekil 7.12 A ve B). Altın genellikle pirit taneleri içinde gözlenmekte ve yaklaşık boyu 20 mikrona yakın kristallerine rastlanmaktadır (Şekil 7.12 C). Gerek çinkoblend gerekse kalkopiritler kenar, köşe ve çatlakları boyunca yer yer kalkozin-kovelline dönüşmüştür. Bu dönüşüm cevherin bu bölümünde oksidasyon-sembentasyon olaylarının gelişiminin bir göstergesidir (Şekil 7.12 D).



Şekil 7.12 6 nolu örneğe ait cevher dokuları (Au, altın; ccp, kalkopirit; py, pirit; sph, sfalerit; qtz, kuvars; ga, galen).



Şekil 7.13 7 nolu (A ve B) ; 10 nolu (C) ve 2 nolu (D) örneğe ait cevher dokuları (Au, altın; ccp, kalkopirit; py, pirit; sph, sfalerit; qtz, kuvars; gt, götit).

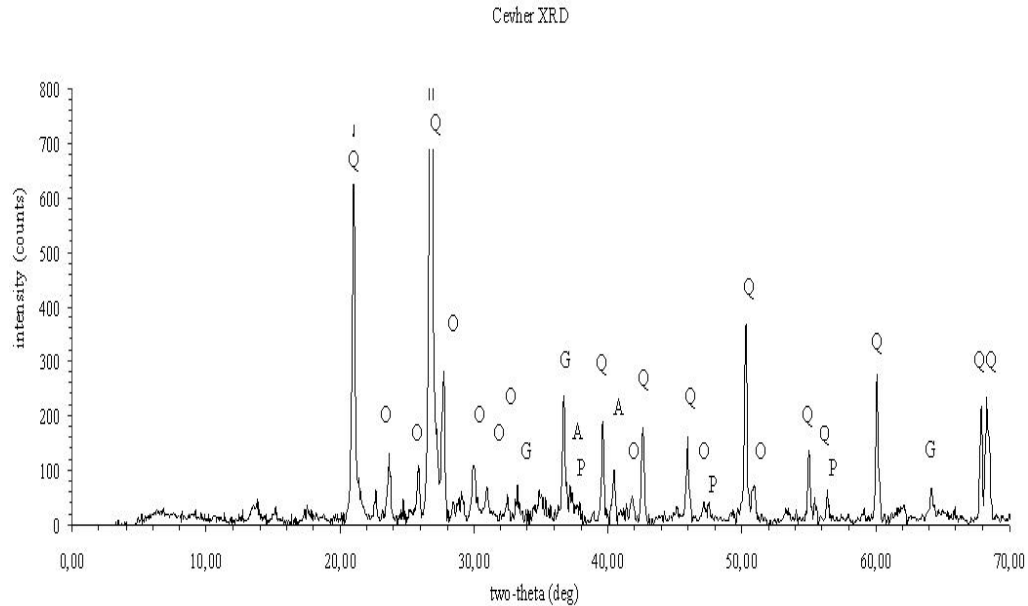
7 nolu örnek bakır açısından en zengin olan örnektir. Bu örnekte başlıca bakır minerali kalkopirittir. Kalkopirit içeriğine yakın pirit ve çok daha az oranda kalkopirit ve pirit parajenezde yer almaktadır. Oksidasyondan etkilenmiş bir örnektir (Şekil 7.13 A ve B)

7.3.4.2. Oksitli Mineraller

Örnekler içinde 2, 9 ve 10 nolu örnekler başlıca kuvars ve demiroksitlerden oluşmaktadır. Özellikle Fe ve Fe-Cu sülfürlerin oksidasyonu sonucu başlıca götit ve daha az oranda hematitten oluşan bir cevher parajenezi vardır. Özşekli piritler kısmen veya tamamen götite dönüşmüştür (Şekil 7.13 C). Bu örneklerde yer yer serbest halde ince taneli altına benzer oluşumlar gözlenmektedir (Şekil 7.13 D).

7.3.5 X-Ray Difraksiyon (XRD) Analizleri

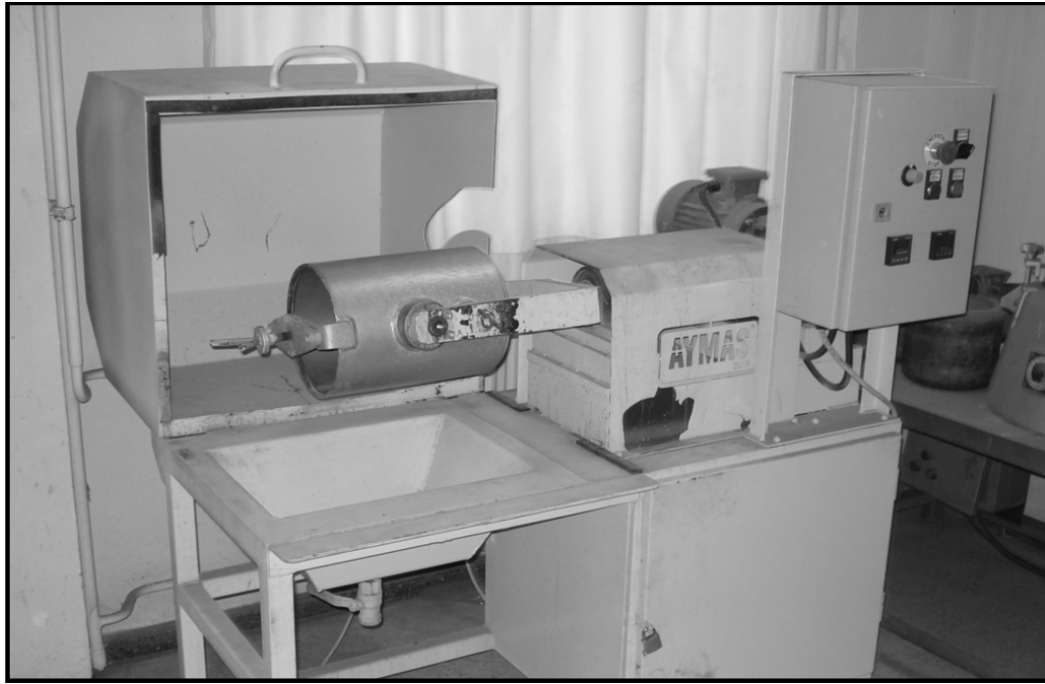
Efemçukuru altın cevherinin X ışını kırınım deseninde karakteristik SiO_2 pikleri ve eser elementlerden kuvars, ortoklas, pirit, gümüş, götit Şekil 7.14'de görülmektedir.



Şekil 7.14 Besleme malı XRD sonuçları (Q-Kuvars, O-Ortoklas, P-Pirit, A-Gümüş, G-Götit).

7.3.6 Ögütme Parametreleri

-3,35 mm tane boyutuna kırılan cevher ögütme testlerine tabi tutulmuştur. Ögütme testleri Şekil 7.15’de görülen laboratuvar tip çubuklu değirmende yapılmıştır. Farklı ögütme sürelerinde 625 g numune 83 d/dk’da % 65 katı oranında ögütülmüştür. Ögütme testleri sonucunda 10, 20 ve 30 dk’lık ögütmelerin sırasıyla -0,106; -0,075 ve -0,053 mm tane boyutlarında malzeme verdiği saptanmıştır (Tablo 7.3).



Şekil 7.15 Laboratuvar tipi çubuklu değirmen.

Tablo 7.3 Ögütme süresi sonunda malzemenin tane boyutu.

Ögütme Süresi, dk	Malzemenin tane boyutu, mm
10	-0,106
20	-0,075
30	-0,053

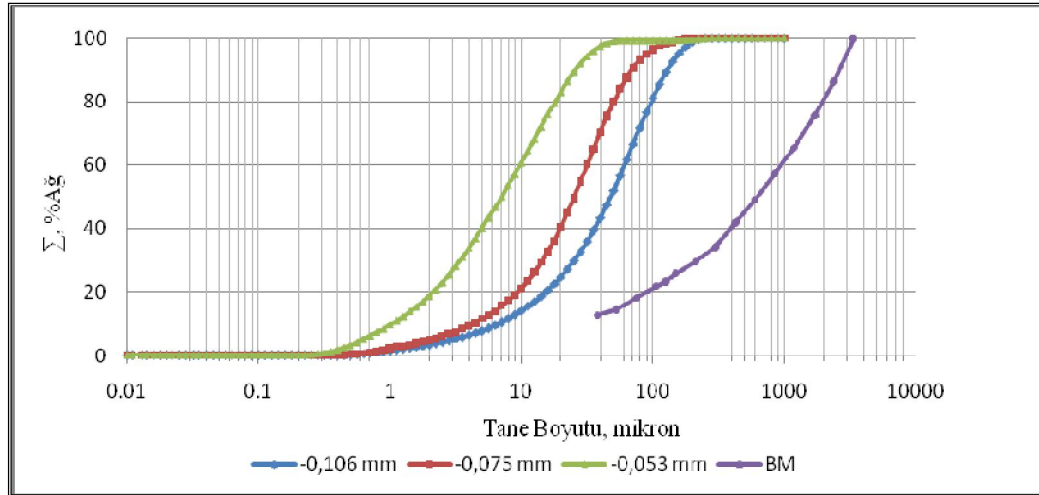
7.3.7 Tane Boyut Analizi

Sekonder çeneli kırıcı çıkışında malzemenin %100'ü -3,35 mm tane boyutunun altında kalmıştır. Çubuklu değirmene beslemeden önce yapılan elek analizi sonuçları Tablo 7.4'de verilmektedir.

Tablo 7.4 Çubuklu değirmen öncesi malzemenin elek analizi sonuçları.

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (g)	% Ağırlık	∑ EA %Ağ
+ 3,350	1,00	0,16	100,00
-3,350 + 2,360	83,98	13,72	99,84
-2,360 + 1,700	65,25	10,66	86,12
-1,700 + 1,180	61,70	10,08	75,46
-1,180 + 0,850	50,07	8,18	65,38
-0,850 + 0,600	49,15	8,03	57,20
-0,600 + 0,425	45,22	7,39	49,18
-0,425 + 0,300	46,20	7,55	41,79
-0,300 + 0,212	28,65	4,68	34,24
-0,212 + 0,150	23,03	3,76	29,56
-0,150 + 0,125	14,97	2,45	25,80
-0,125 + 0,106	9,90	1,62	23,36
-0,106 + 0,075	22,19	3,62	21,74
-0,075 + 0,053	22,25	3,63	18,12
-0,053 + 0,038	10,81	1,77	14,48
-0,038	77,85	12,72	12,72
Toplam	612,22	100,00	

Cevherin çubuklu değirmende öğütüldükten sonra 10dk'da -0,106 mm, 20 dk'da -0,075 mm ve 30 dk'da -0,053 mm tane boyutlarına indirilerek liç deneyleri için hazırlanmış numunelerinin boyut analizi Malvern Master Sizer 2000 ile yaş ortamda yapılmıştır (Şekil 7.16).



Şekil 7.16 Öğütülen malzemelerin Malvern Master Sizer 2000 ile yapılan tane boyut analizi.

Şekil 7.16'da görüldüğü gibi -3,35 mm tane boyutuna sahip malzeme 10 dk'da -0,106 mm tane boyutunun altına öğütülmüştür. Malzeme öğütme işlemi sonucu $d_{50}=47,72$ mikron, $d_{90}=128,89$ mikron boyutundadır. 20 dk boyunca -0,075 mm tane boyutu altına öğütülmüş malzeme için $d_{50}=25,32$ mikron, $d_{90}=69,31$ mikron boyutundadır. 30 dk sonunda -0,053 mm tane boyutuna indirilen malzemenin d_{50} değeri 7,05 mikron iken d_{90} değeri 25,80 mikron olarak ölçülmüştür. Şekilden görüldüğü gibi -3,35 mm tane boyutuna sahip malzemenin %80'i 2 mm'dir.

7.4 Knelson Gravite Konsantratör Çalışmaları

Knelson gravite konsantratörü ile Efemçukuru altın cevheri içinde bulunan serbest altının kazanılması araştırılmıştır. Gang minerali (ρ kuvars $2,65 \text{ g/cm}^3$) ile altını bünyesinde barındıran sülfürlü mineraller (ρ pirit 5,0; ρ sfalerit 4,0; ρ galen 7,5 ve ρ kalkopirit $4,2 \text{ g/cm}^3$) arasında belirgin bir yoğunluk farkı bulunmaktadır. Bu nedenle de cevherin yoğunluk farkı etkisini arttırmak üzere ince boyutlarda etkin ayırma yapan Knelson Konsantratör kullanılmıştır.

Deney sonuçlarında baz alınan kriter özellikle tenör ve verim değişimidir. Optimum koşulları belirlemek amacıyla konsantratörün Santrifüj kuvveti (G kuvveti) ve besleme malı tane iriliği olarak iki farklı parametre gözönüne alınmıştır. Gravite

kuvveti, 3 farklı G kuvvetinde uygulanmıştır. Bu kriterlerin değişimi ile elde edilen veriler birbirleri ile karşılaştırılarak Efemçukuru altın cevheri için optimum koşullar belirlenmiştir.

Deneylerde kullanılan laboratuvar tip Knelson gravite konsantratör Şekil 7.17’de gösterilmektedir. Konsantratör 3 inch (7,62 cm) konik çapa sahiptir. Konsantratörün standart çalışma koşulları ve deney şartları Tablo 7.5’de verilmektedir. Ayrıca su basıncı 28 kPa olarak deneylerde sabit tutulmuştur.



Şekil 7.17 Deneylerde kullanılan Knelson konsantratörünün ve koninin genel görünümü.

Tablo 7.5 Knelson MD3 konsantratörün çalışma koşulları.

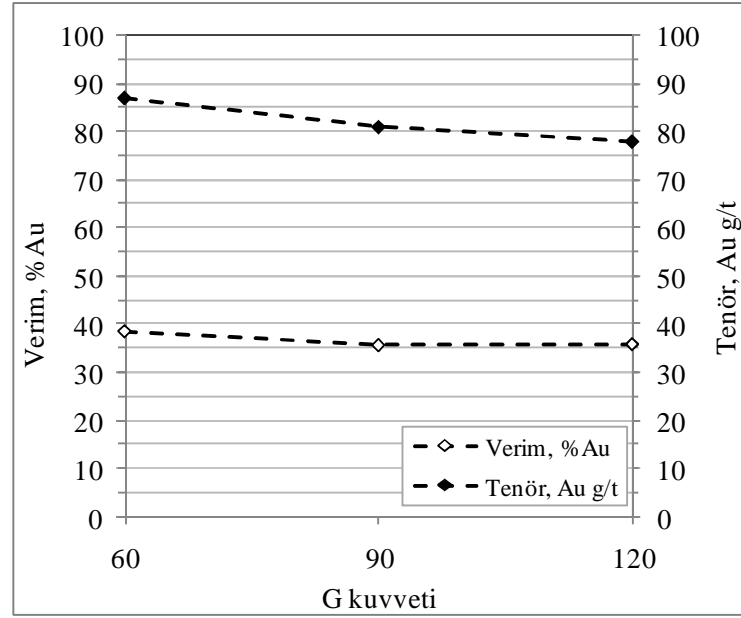
	Model (D, inch)	Güç (HP)	Koninin Santrifüj Hızı, d/dk	Kapasite (t/h)	Pülp Yoğunluğu (% Ağırlık)	Maks. Tane Boyutu (mm)
Standart Konsantratör Parametreleri	3	1/6	1200	0,065	0 – 75	2
Deney Parametreleri	3	1/6	1200	0,024	25-30	0,075 0,106 0,212

7.4.1 Knelson Konsantratör Testlerinde Tane Boyutunun ve G Kuvvetinin Etkisi

İlk deneyde kullanılan 2 kg besleme malı maksimum tane boyutu -0,212 mm olarak cihaza beslendi. Yerçekimi ivmesi 60 G, 90 G ve 120 G olmak üzere 3 farklı G kuvveti kullanıldı. Sonuçlar Tablo 7.6 ve Şekil 7.18’de verilmektedir.

Tablo 7.6 -0,212 mm tane boyutu için Knelson Konsantratöre beslenen üründen elde edilen sonuçlar.

Tane Boyutu (mm)	G kuvveti	Ürün	Ağırlık (%)	Au (g/t)	Verim, %Au
-0,212	60	Konsantre	3,50	87	38,50
		Artık	96,50	5	61,50
		Besleme M.	100,00	8	100,00
-0,212	90	Konsantre	3,50	81	35,60
		Artık	96,5	5	64,40
		Besleme M.	100,00	8	100,00
-0,212	120	Konsantre	3,60	78	35,80
		Artık	96,40	5	64,20
		Besleme M.	100,00	8	100,00

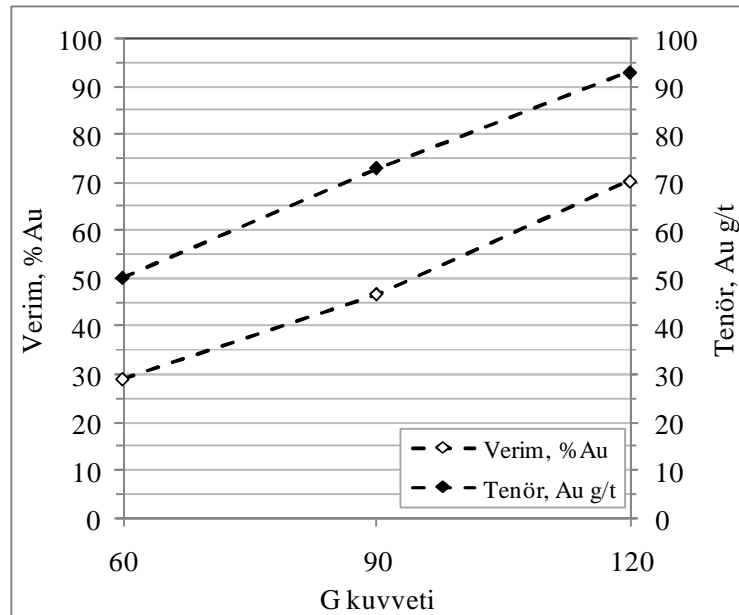


Şekil 7.18 -0, 212 mm tane boyutunda G kuvveti değişimine bağlı olarak tenör verim eğrileri.

Maksimum -0,212 mm tane boyutuna sahip malzemeye uygulanan G kuvveti değerleri arttıkça tenör ve verim bu durumdan negatif olarak etkilenmektedir. İkinci grup deneylerde kullanılacak olan besleme malının maksimum tane boyutu -0,106 mm'dir. Tablo 7.7'de 3 ayrı G kuvvetine göre elde edilen ürünlerin verim ve tenörleri görülmektedir.

Tablo 7.7 -0,106 mm tane boyutu için Knelson konsantratöre beslenen üründen elde edilen sonuçlar.

Tane Boyutu (mm)	G kuvveti	Ürün	Ağırlık (%)	Au (g/t)	Verim, %Au
-0,106	60	Konsantre	3,29	50	28,62
		Artık	96,71	4	71,38
		Besleme M.	100,00	6	100,00
-0,106	90	Konsantre	3,73	73	46,70
		Artık	96,27	3	53,30
		Besleme M.	100,00	6	100,00
-0,106	120	Konsantre	4,40	93	70,28
		Artık	95,60	2	29,72
		Besleme M.	100,00	6	100,00



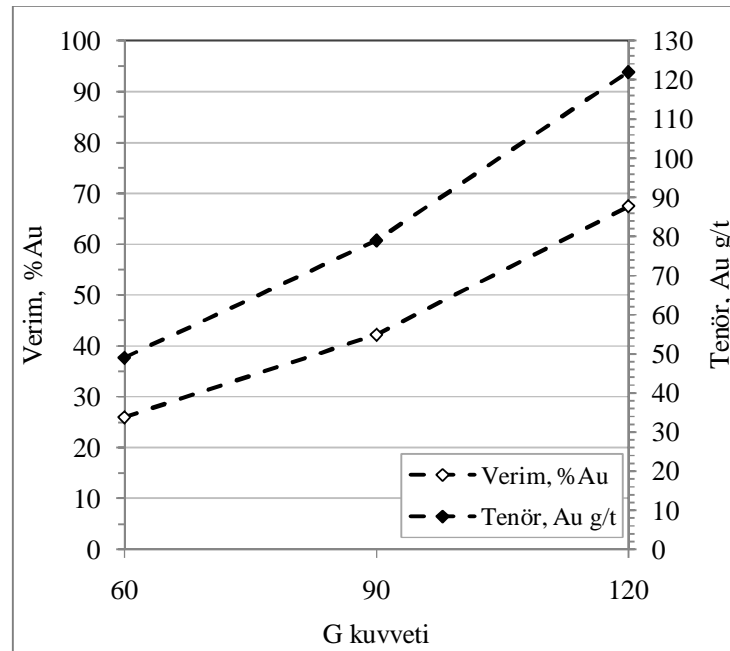
Şekil 7.19 -0,106 mm tane boyutunda G kuvveti değişimine bağlı olarak tenör verim eğrileri.

Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki maksimum besleme malı tane iriliği -0,106 mm olan malzemenin G kuvveti arttıkça altın tenörünü ve verimini pozitif olarak etkilemektedir (Şekil 7.19). Deney sonunda 120 G'de toplam verim %70 altın tenörü 93 g/t olarak hesaplanmıştır.

3. grup deneyde yine 2 kg malzemenin %80'inin -0,075 mm altında olması sağlanarak deneylere başlanmıştır. Elde edilen deney sonuçları Tablo 7.8'de verilmiştir.

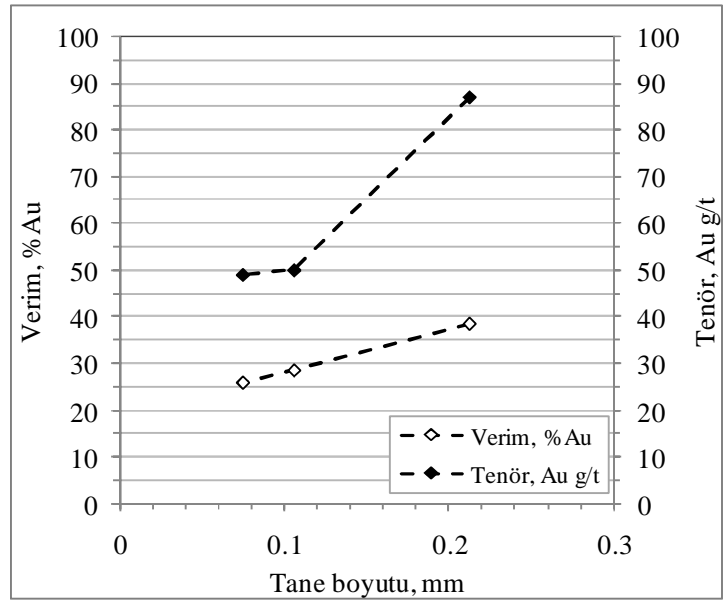
Tablo 7.8 -0,075 mm tane boyutu için Knelson Konsantratöre beslenen üründen elde edilen sonuçlar.

Tane Boyutu (mm)	G kuvveti	Ürün	Ağırlık (%)	Au (g/t)	Verim, % Au
-0,075	60	Konsantre	3,82	49	25,99
		Artık	96,18	6	74,01
		Besleme M.	100,00	7	100,00
-0,075	90	Konsantre	3,84	79	42,18
		Artık	96,16	4	57,82
		Besleme M.	100,00	7	100,00
-0,075	120	Konsantre	3,99	122	67,43
		Artık	96,01	2	32,58
		Besleme M.	100,00	7	100,00



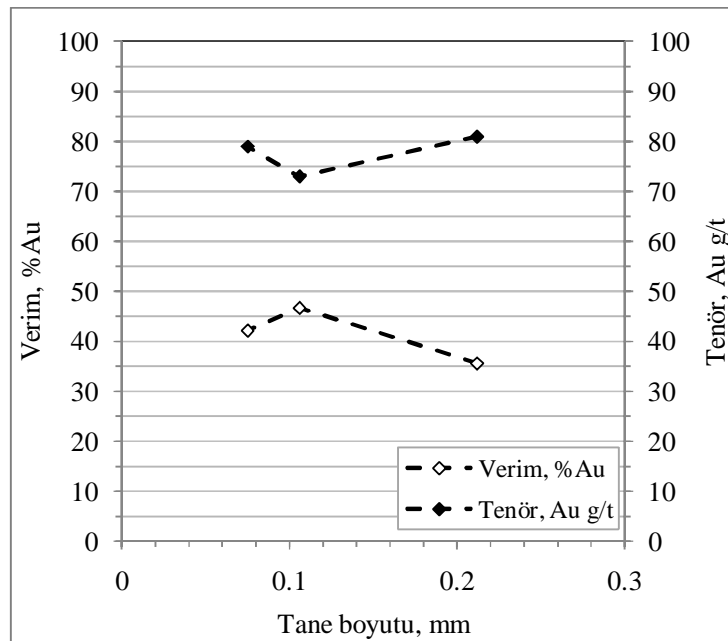
Şekil 7.20 -0,075 mm boyutunda G kuvveti değişimine bağlı olarak tenör verim eğrileri.

-0,075 mm altına indirilen malzemenin Knelson konsantratöre 120 G'de beslenmesi durumunda verim %67,43 ve Au tenörü 122 g/t olarak elde edilmiştir. Şekil 7.20'de G kuvvetinin artışı ile tenör ve verimde de artış olduğu görülmektedir. G kuvvetinin 60'dan 120'ye çıkışı verimide %26'dan % 67,43'e çıkarmıştır.



Şekil 7.21 60 G'de tane boyutuna göre konsantrenin tenör verim eğrileri.

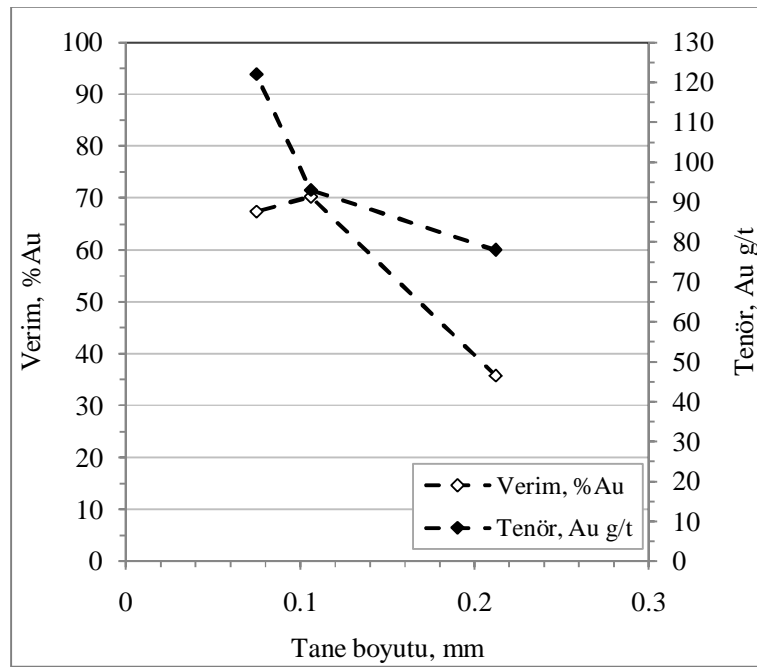
Sabit G kuvveti değeri tane boyutuna bağlı olarak konsantrelerin tenör ve verimlerinin karşılaştırılmasıyla elde edilebilir. Şekil 7.21'de gösterildiği gibi 60 G'de yapılan deneylerde altın verimi tane boyutundaki artışla lineer olarak artmaktadır. En yüksek verim %38,5 Au ile 0,212 mm'de, 60 G'de elde edilmiştir.



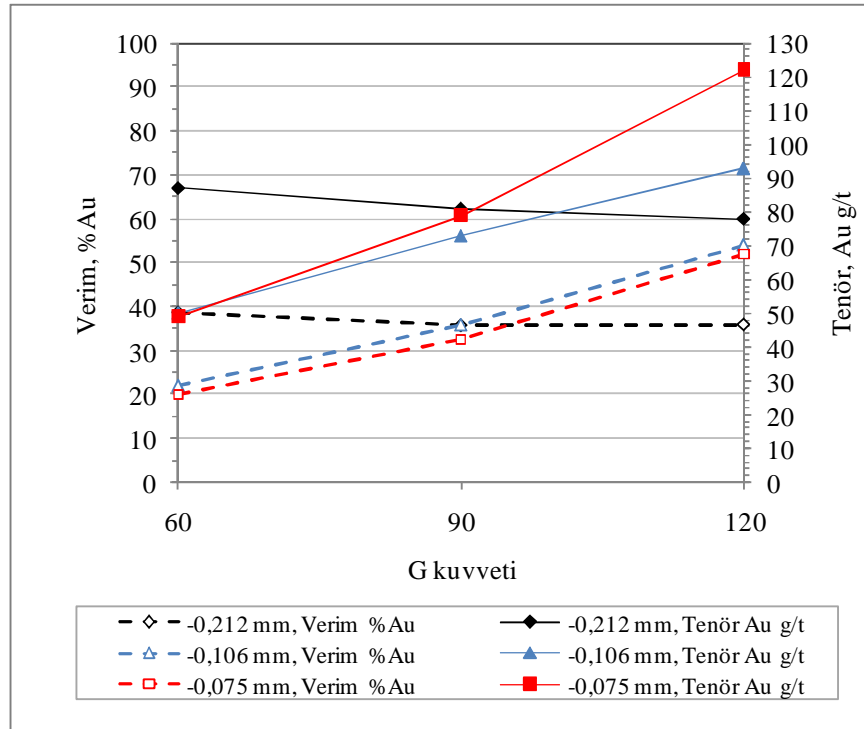
Şekil 7.22 90 G'de tane boyutuna göre konsantrenin tenör verim eğrileri.

90 G parametrelili deney sonuçlarına göre tane boyutu arttıkça verim düşer, bunun nedeni altın içeriğinin çok az artmasıdır. En yüksek verim Şekil 7.22’de görüldüğü gibi -0,106 mm besleme tane boyutunda altın verimi % 46,7’dir. Buna rağmen, bu tane boyutunda en düşük altın tenörü 73 g/t’dir.

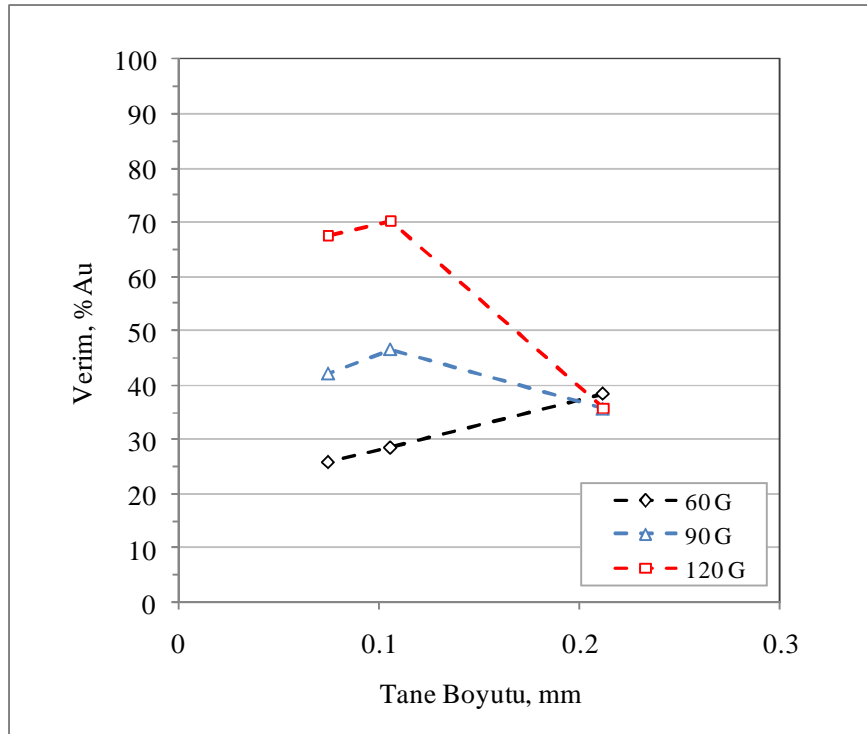
Deney sonuçları göstermiştir ki 120 G’de tane boyutunun artışıyla verim düşmektedir. En yüksek verim Şekil 7.23’de görüldüğü gibi -0,106 mm besleme malı tane boyutunda %70,3’tür. 120 G’de elde edilen en yüksek altın tenörü -0,075 mm tane boyutunda 122 g/t’dur. Altın tenörü iri tane boyutlarına doğru giderek düşmüştür. Şekil 7.24’de G kuvvetine göre tane boyut farklılıklarındaki tenör verim değişimi verilirken Şekil 7.25’de ise tane boyutuna bağlı G değişimlerinin etkisi görülmektedir.



Şekil 7.23 120 G’de tane boyutuna göre konsantrenin tenör verim eğrileri.



Şekil 7.24 G kuvvetine bağlı olarak farklı tane boyutlarında tenör ve verim değişimleri.



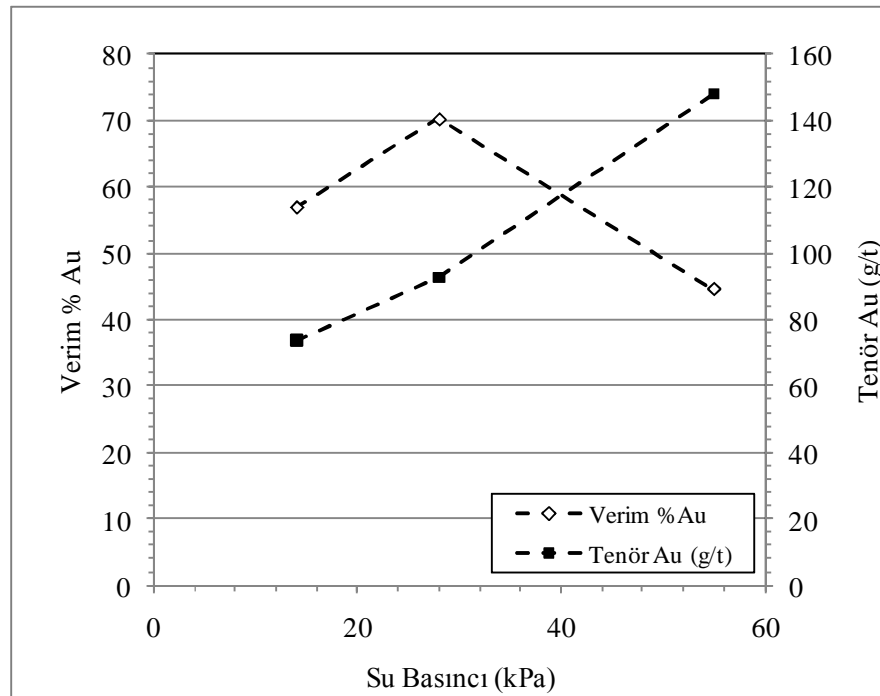
Şekil 7.25 Farklı G kuvvetlerinde tane boyutuna bağlı verim değişim eğrileri.

7.4.2 Knelson Konsantratör Testlerinde Su Basıncının Etkisi

Knelson konsantratör testlerinde su basıncı 28 kPa olarak sabit tutulmuştur. Optimum sonuçları verim göz önüne alınarak tane boyu -0,106 mm ve santrifüj kuvveti 120 G alınarak optimum su basıncı tespit edilmiştir. Optimum su basıncını tespit etmek için 14 kPa, 28kPa, 55 kPa'da denemeler yapılmış ve sonuçları Tablo 7.9'da ve Şekil 7.26'da verilmiştir (Tufan, 2010).

Tablo 7.9 Optimum su basıncı tespiti için deney sonuçları.

Tane Boyutu (mm)	G Kuvveti	Su Basıncı (kPa)	Ürünler	Ağırlık (%)	Tenör Au (g/t)	Verim %Au
-0,106	120	14	Konsantre	4,69	74	56,91
			Artık	95,31	3	43,09
-0,106	120	28	Konsantre	4,40	93	70,28
			Artık	95,60	2	29,72
-0,106	120	55	Konsantre	1,93	143	44,52
			Artık	98,27	3	55,48



Şekil 7.26 Farklı su basıncında tenör verim değişim eğrileri.

Su basıncı artışı altın tenöründe belirgin bir şekilde değişime neden olmuştur. 14 kPa basınçta 73,80 g/t olan altın tenörü, 55kPa su basıncına çıkarıldığında neredeyse 2 kat artarak altın tenörünü 143 g/t seviyelerine getirmiştir. Fakat bu tenörde altın verimi oldukça düşmüştür. En uygun su basıncı deneyler sırasında da kullanılmış olan 28 kPa'dır (Tufan, 2010).

Tablo 7.10 Sodyum siyanür liçi için hazırlanacak malzemenin deney şartları.

Deney Parametreleri	Çalışma Değerleri
G Kuvveti (G)	120
Maksimum tane boyutu (mm)	0,106
Su basıncı (kPa)	28
Besleme hızı (t/h)	0,024
Numune miktarı (g)	2000
Katı Sıvı Oranı (%)	25-30

Tablo 7.10'da sodyum siyanür liçi için hazırlanacak malzemenin deney şartları verilmiştir. Liç deneyleri için yaklaşık 1,5 kg Knelson konsantresine ihtiyaç duyulmaktadır. Konsantratör çanak kapasitesi yaklaşık 80 g olduğundan 2 kg'lık beslemeler yapılmıştır. Konsantratörden yaklaşık 40 kg malzeme fasıllı olarak geçirilmiştir ve ortalama 20 deney yapılmıştır. Tablo 7.11'de Knelson ile hazırlanan liç işleminde kullanılacak gravite numunesinin tenörü 53 g/t Au, verimini ise % 59,41 verilmektedir.

Tablo 7.11 Gravite konsantre numunesinin liç verileri.

pH	Verim %Au	Tenör, Au (g/t)
pH=5,5-5,8	59,41	53

7.5 Multi-Gravite Seperatörü (MGS) Uygulamaları

Gravite çalışmaları kapsamında yapılan deneylerde Knelson konsantratörü dışında laboratuvar tipi C 900 model Mozley Multi-Gravite Seperatörü (MGS) kullanılmıştır. MGS çalışmaları cevher (besleme malı) ve knelson atığına uygulanmıştır. MGS ile yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar alınamamıştır.

Deney değişkenleri olarak tambur açısı, motor devri (d/dk), ve su besleme debisi seçilmiştir. En uygun deney koşulları 3° tambur açısı, 2 L/dk su beslemesi ve 200 d/dk tambur devri olarak belirlenmiştir. En büyük tane boyutu 0,106 mm ve altın tenörü 7,2 g/t olan besleme malına, belirlenmiş koşullarda yapılan MGS deneyi sonuçları Tablo 7.12’de verilmiştir.

Tablo 7.12 MGS deney koşulları, altın kazanımı ve konsantre tenörü.

<i>Au Kons.</i>	<i>Au Tenör, g/t</i>		<i>Verim, % Au</i>	Deney Koşulları
	Kons.	Artık		
<i>% Ağ.</i>				
2,8	33	7	13,06	-0,106 mm, 2 L/dk, 200 d/dk, 3°

7.6 Flotasyon Deneyleri

Flotasyon çalışmalarında farklı toplayıcılar ve miktarları, pH ayarlayıcılar, farklı pH seviyeleri, bastırıcı, canlandırıcı ve sülfürleyici reaktif miktarları araştırılmıştır. Flotasyon çalışmaları Maden Mühendisi Baran Tufan tarafından yürütülmüş ve optimum koşullar belirlenmiştir. 2 L’lik selüllerde 625 g katı malzeme ile çalışılmıştır. Malzemenin doğal pH (5,5 – 5,8) ’nda uygulanan flotasyonda, 10 dk kondüsyonlama süresinde ortama sürekli hava beslenmiştir. Flotasyon süresi 2 dk’dır. Liç için gerekli olan 1,5 kg ön konsantre hazırlanmıştır. Liç işlemine hazırlanan numunenin flotasyon şartları Tablo 7.13’de verilmektedir (Tufan, 2010).

Tablo 7.13 Optimum flotasyon koşulları.

Deney Parametreleri	Miktar
NaHS (Sülfürleyici)	0,1 kg/t
Na₂SiO₃ (Silikatları bastırıcı)	1 kg/t
CuSO₄ (Canlandırıcı)	200 g/t
Aero 350 (Toplayıcı)	100 g/t
Çam yağı (Köpürtücü)	100 g/t
Tane Boyutu	0,106 mm

Tablo 7.14 Flotasyon konsantresinin tenör ve verim tablosu.

pH	Verim %Au	Tenör, Au (g/t)
5,5-5,8	68,74	65

Flotasyon selülüne 625 g beslenen malzemenin yaklaşık %5'lik kısmı konsantre olarak alınmaktadır. Her deneyde ortalama 30 g konsantre elde edilebilmektedir. Bu nedenle liç deneyleri için yaklaşık 50 deney yapılmıştır ve ön konsantre hazırlanmıştır. Tablo 7.14'de liç deneyi için hazırlanmış flotasyon konsantresi tenör ve verim değerleri verilmektedir.

7.7 Gravite ve Flotasyon Ön Konsantresinin Karakterizasyon Çalışmaları

7.7.1 Konsantrelerin Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS)

Knelson konsantratörünün altın kazanımındaki başarısını MGS sağlayamamıştır. Konsantrelere yapılan metal analizlerinde de görüldüğü üzere (Tablo 7.15 ve 7.16), MGS cihazı altın kazanımında Knelson'un gerisinde kalmıştır. Serbestleşme boyutu 20 mikron altında olan altın cevheri için gravite yöntemi olarak Knelson konsantratörü 53 g/t altın tenörü ile flotasyon konsantresi ise 65 g/t Au tenörü ile elde edilmiştir (Tablo 7.17).

Tablo 7.15 MGS konsantresinin kimyasal analiz sonuçları.

Element	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Ni	Fe ₂ O ₃	Mn
Tenör (g/t), %	33	89	850	6790	2030	3050	%26,84	%4,64

Tablo 7.16 Knelson ön konsantresinin kimyasal analiz sonuçları.

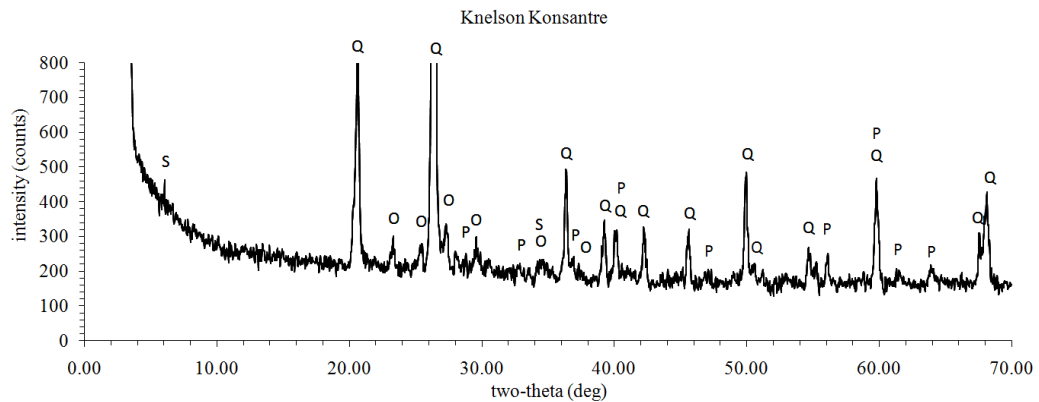
Element	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Ni	Fe ₂ O ₃	Mn
Tenör (g/t), %	53	81	396	3988	848	2801	%12,60	%1,86

Tablo 7.17 Flotasyon ön konsantresinin kimyasal analiz sonuçları.

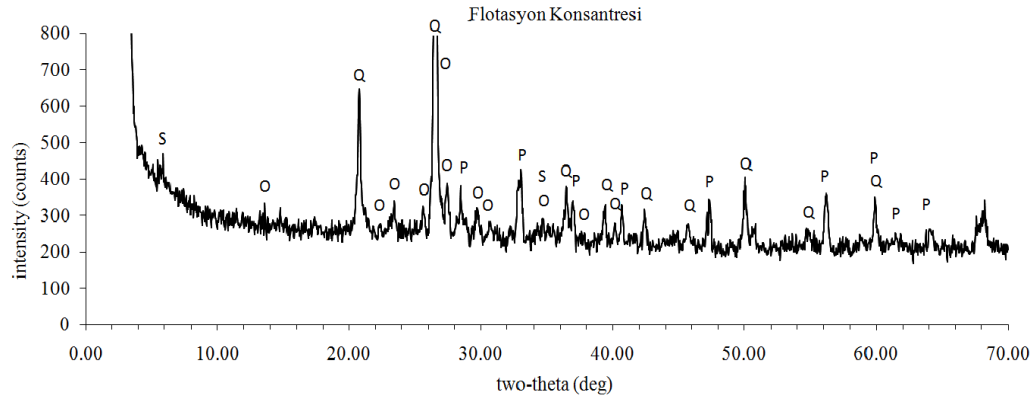
Element	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Ni	Fe ₂ O ₃	Mn
Tenör (g/t), %	65	156	920	3930	3433	1128	%15	%1,35

7.7.2 Konsantrelerin X-Ray Difraksiyon (XRD) Analizleri

Mikrodalga enerji uygulanmadan önce Knelson ve flotasyon ön konsantrelerinin XRD analizleri yapılarak mineral içeriği hakkında ilgi edinilmeye, yapıda oluşacak değişimler saptanmaya çalışılmıştır.



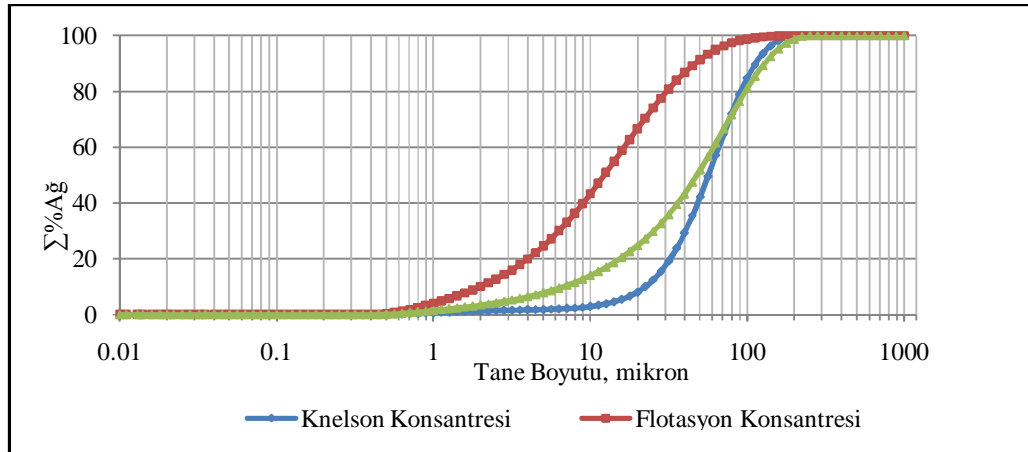
Şekil 7.27 Knelson ön konsantresi XRD sonuçları (Q - Kuvars, O - Ortoklas, P - Pirit, S- simektit).



Şekil 7.28 Flotasyon ön konsantresi XRD sonuçları (Q - Kuvars, O - Ortoklas, P - Pirit, S-Simektit).

7.7.3 Ön Konsantrelerin Tane Boyut Analizi

Flotasyon ön konsantresi ve Knelson ön konsantresi (Şekil 7.29) numunelerinin boyut analizi Malvern Master Sizer 2000 ile yaş ortamda yapılmıştır.



Şekil 7.29 Knelson ve flotasyon ön konsantrelerinin tane boyut dağılımının besleme malı ile karşılaştırılması.

Knelson ve flotasyon ön konsantrelerini üretmek için seçilen tane boyutu -0,106 mm'dir. Şekil 7.29'da Knelson ve flotasyon ön konsantrelerine ait tane boyut dağılım eğrileri görülmektedir. Eğri incelendiğinde $d_{50} = 57$ mikron, $d_{90} = 113$ mikron boyutundadır. Flotasyon ön konsantresine ait tane boyut dağılımı eğrisi

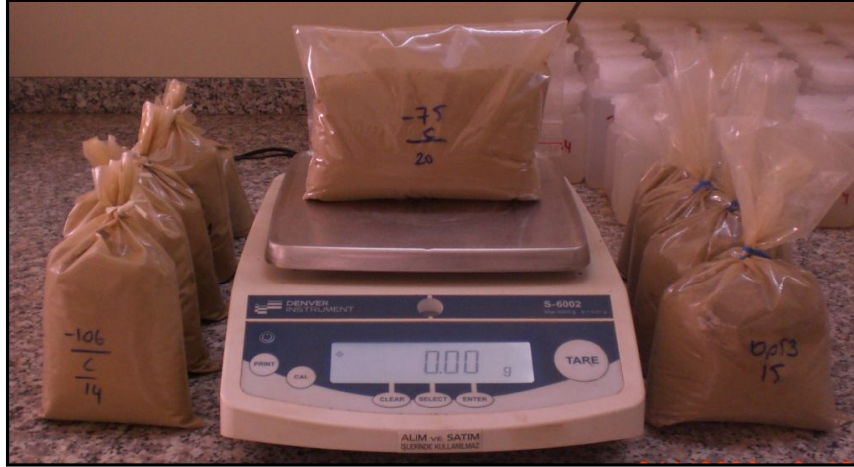
incelendiğinde ise $d_{50} = 12$ mikron, $d_{90} = 46$ mikron boyutundadır. Eğrilerden de anlaşılacağı gibi Knelson konsantratör çalışma prensiplerine uyarak flotasyon konsantresine göre daha iri malzemeleri kazanırken flotasyon konsantresi 12 mikron gibi çok ince boyuta kadar çalışabilmektedir. Besleme malı olan -0,106 mm tane boyutuna sahip malzemenin d_{50} değeri 47,72 mikron iken d_{90} değeri 128,89 mikrondur.

7.8 Numune Hazırlama

Cevher numunesi olarak liç ve mikrodalga çalışmalarında kullanılacak malzemelerin tane boyutu -3,35 mm, -0,106 mm, -0,075 mm ve -0,053 mm'dir. 10'ar kg bahsi geçen boyutlara indirilen cevher harmanlandıktan sonra numune bölücü kullanılarak 450 g'lık homojen numunelere ayrılmıştır (Şekil 7.30 ve 7.31). Knelson ve flotasyon ön konsantreleri ise aynı yöntemle 25 g'lık homojen numunelere bölünmüştür.

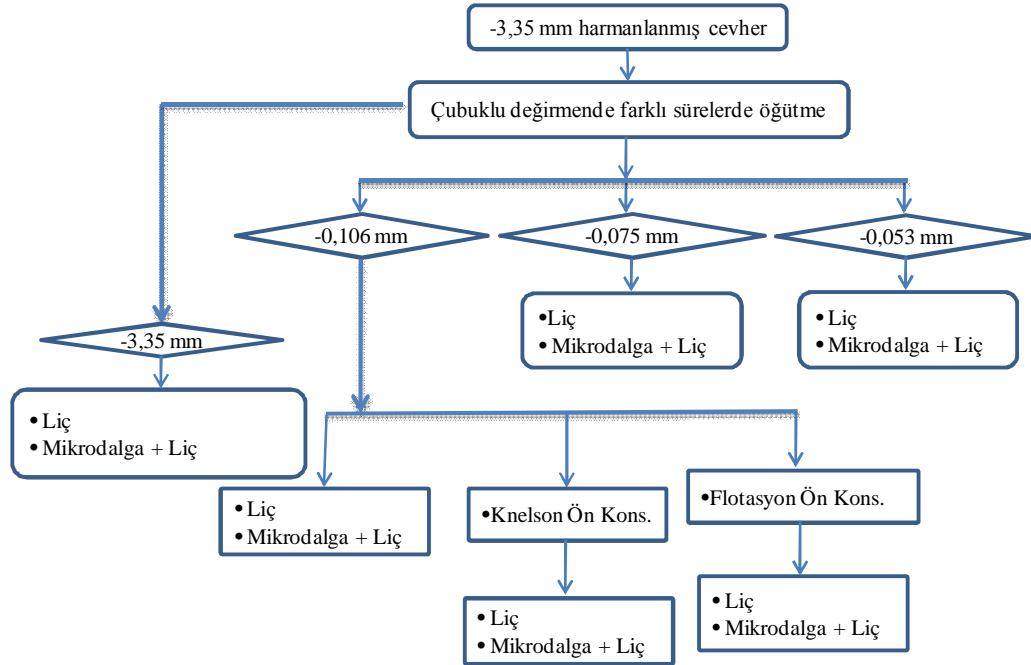


Şekil 7.30 Retsch marka numune bölücü.



Şekil 7.31 Numune tartımı.

Şekil 7.32’de görülen akım şemasında deneyler hakkında ön bilgi verilmektedir. Cevher 4 ayrı tane boyutuna öğütülmüş ve her tane boyutuna liç ve mikrodalga işlemi uygulanmıştır. Knelson ve flotasyon çalışmaları sonunda -0,106 mm tane boyutunda uygun sonuçlar elde edilmiştir. Cevher liç çalışmaları sonucunda da uygun sonuçlar alınan -0,106 mm, karşılaştırma amacıyla yapılan deneylerde baz alınmıştır. Knelson ve Flotasyon konsantrilerine ve tane boyutlarına sırasıyla önce liç ardından mikrodalga işlemini takiben liç yapılmıştır. Cevher için yapılan mikrodalga işlemi için 20 dk mikrodalga süresi baz alınmıştır. Mikrodalgaya 25 g’lık malzeme yerleştirilerek toplamda her tane boyutu için 450 g numune hazırlanmıştır. Konsantreler ise 10, 20 ve 30 dk mikrodalga işlem süresine tabi tutulmuş ve ardından liçe alınmıştır. Konsantrelerde liç katı miktarı her deney için 25 g’dır.



Şekil 7.32 Liç ve mikrodalga çalışmaları deney grupları.

7.9 Mikrodalga Çalışmaları

Mikrodalga uygulaması ile cevher ve ön konsantrelerdeki minerallerin mineralojik ve kimyasal özellikleri değiştirilerek altının liç hızının ve altın kazanma veriminin artırılması araştırılmıştır. Deneyler 800W gücündeki ev tipi mikrodalga fırında yapılmıştır. Şekil 7.33’de görülen HMT 72G 420 model Bosch marka 2 adet mikrodalga fırın kullanılmıştır.



Şekil 7.33 HMT 72G 420 model Bosch marka mikrodalğanın görünümü.



Şekil 7.34 2 Kapsülde yapılan çalışmalarda ani sıcaklık artışları nedeniyle plazma oluşumları.

Mikrodalga işlemi boyunca malzemenin yerleştirildiği çeşitli potalar, kapsüller kullanılmıştır (Şekil 7.34). Fakat ani sıcaklık artışları nedeniyle kırılmalar olmuştur. Bu durumu önlemek için yapılan çeşitli denemeler sonucu tuğla üzerinde yapılan çalışmaların ısıyı homojen dağıtma ve sıcaklığın artışına yardımcı olması nedeniyle tercih edilmiştir (Şekil 7.35).



Şekil 7.35 Numunelerin mikrodalga işleme tabi tutulduğu tuğla.

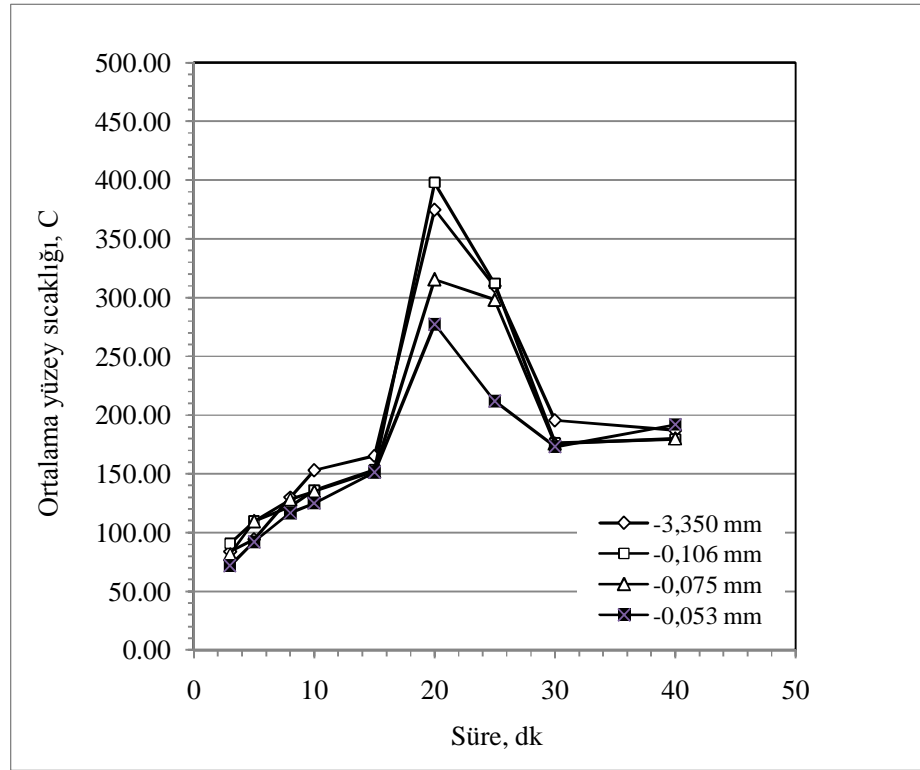
7.9.1 Cevhere Yapılan Mikrodalga İşlemleri

Cevher ile yapılan mikrodalga çalışmalarında mikrodalga işlem süresi ve tane boyut değişimine bağlı olarak iki farklı parametre denemiştir. 3, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30 ve 40 dk olmak üzere 9 farklı süre ve -3,35 mm, -0,106 mm, -0,075 mm ve -0,053 mm olmak üzere 4 ayrı tane boyutu seçilmiştir. Numune miktarı 25 g ile sabit tutulmuş ve süre sonunda infrared termometre kullanılarak yüzey sıcaklıkları

ölçülmüştür (Şekil 7.36). Her deney birbirinden bağımsız olarak yapılmıştır. Numuneler tuğla üzerine belirli bir kalınlıkta yayılarak yerleştirilmiştir.



Şekil 7.36 Cem DT 8859 marka infrared termometre ile fırın içindeki numunenin yüzey sıcaklığının ölçülmesi, ölçüm aralığı: -50 + 1600 °C.



Şekil 7.37 Mikrodalga süresine göre malzeme yüzey sıcaklıkları.

Şekil 7.37'de görüldüğü gibi numunelerin sıcaklığı tane boyutu küçüldükçe azalmaktadır. 20 dk sürede tüm tane boyutları maksimum sıcaklığa ulaşmıştır.

Cevher ile ilgili çalışmada malzemenin hazırlanmasındaki zorluk nedeniyle 20 dk mikrodalga süresi ile sabit tutulmuştur.



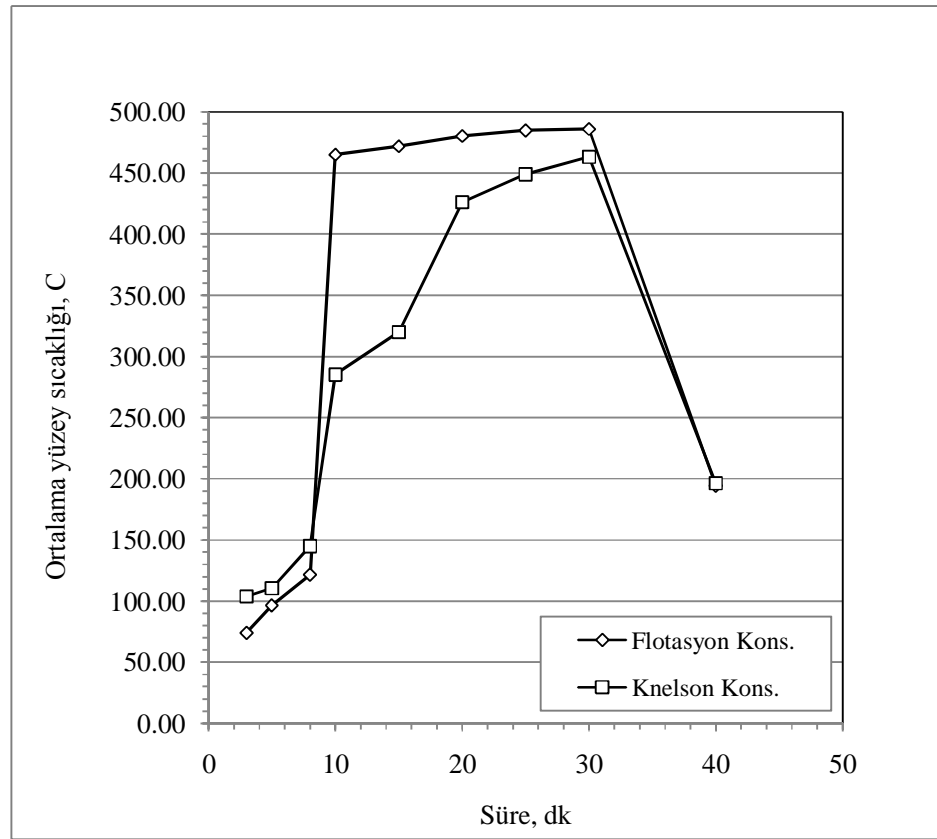
Şekil 7.38 -0,106 mm tane boyutlu cevherin mikrodalga öncesi tuğla üzerine serilmesi.

Cevher liçi deneylerinde her deney için 450 g numune kullanılmıştır. Mikrodalga işlemi belirli miktarda malzemeye belirli miktarda yükseklik ile etki ettiğinden her işlem süresinde yaklaşık 25 g'lık malzeme kullanılmış daha sonra harmanlanarak gerekli miktar alınarak liç işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 7.38).

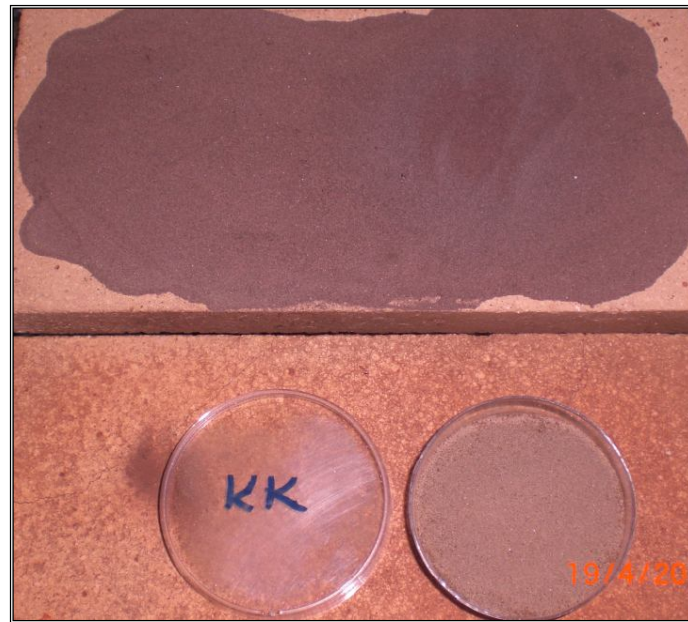
7.9.2 Konsantrelere Yapılan Mikrodalga İşlemleri

Konsantreler ile yapılan mikrodalga çalışmalarında yine 2 farklı parametrenin kombinasyonları denenmiştir. 3, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30 ve 40 dk olmak üzere 9 farklı süre ve flotasyon konsantresi ile Knelson konsantresi kullanılmıştır.

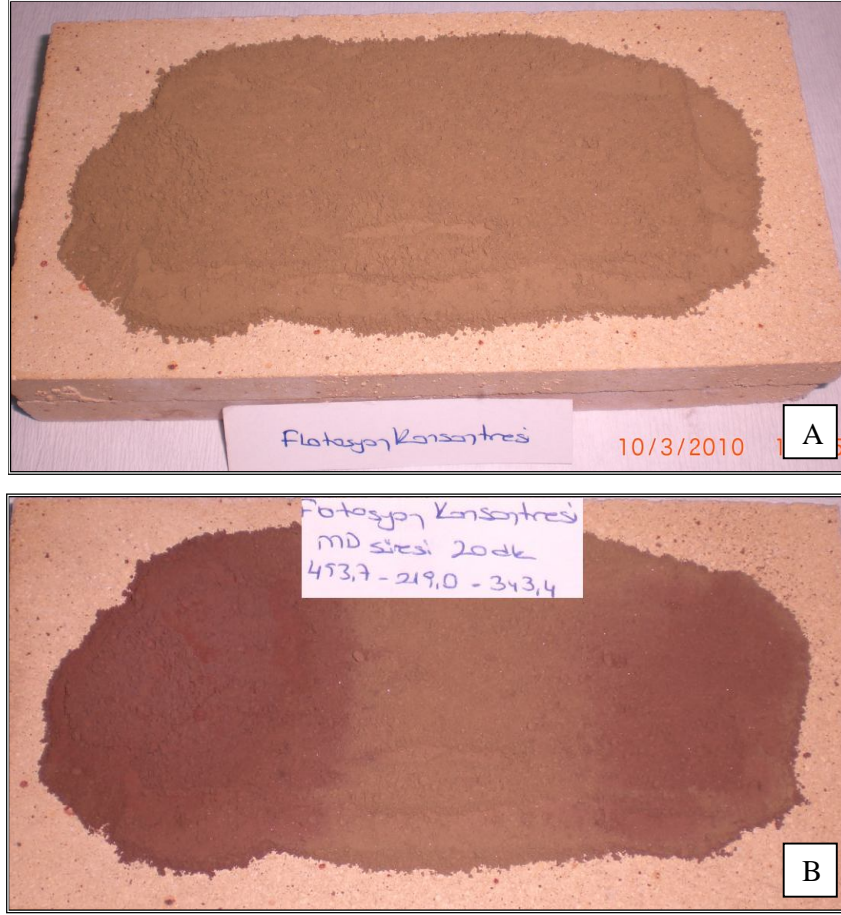
Şekil 7.39'da flotasyon ve Knelson konsantreleri için mikrodalga işlem süresi belirlenmektedir. Farklı sürelerde işleme tabi tutulan numunelerin yüzey sıcaklıkları infrared termometre ile 5 saniye boyunca malzeme üzerinde dolaştırılarak ölçülmüştür (Şekil 7.40 ve 7.41). İnfrared termometre maksimum, minimum ve ortalama sıcaklığı ölçmektedir. Çalışmada dikkate alınan sıcaklık ortalama sıcaklıktır.



Şekil 7.39 Mikrodalga süresine göre malzeme yüzey sıcaklıkları.



Şekil 7.40 Knelson konsantrenin mikrodalga öncesi ve 20 dk'lık mikrodalga işlemi sonrası görüntüsü.



Şekil 7.41 Flotasyon konsantresinin mikrodalga öncesi (A) ve sonrası (B) görüntüsü.



Şekil 7.42 Malzemenin 20 dk mikrodalga işlemi sonrası görüntüsü.

Malzemenin ölçülen yüzey sıcaklığı ile iç sıcaklığı çok farklıdır, iç sıcaklık çok yüksektir. Şekil 7.42'de malzemenin her tarafı sağında görüldüğü gibi idi fakat karşılaştırma yapılabilmesi için sol tarafı spatül yardımıyla açıldığında malzemenin

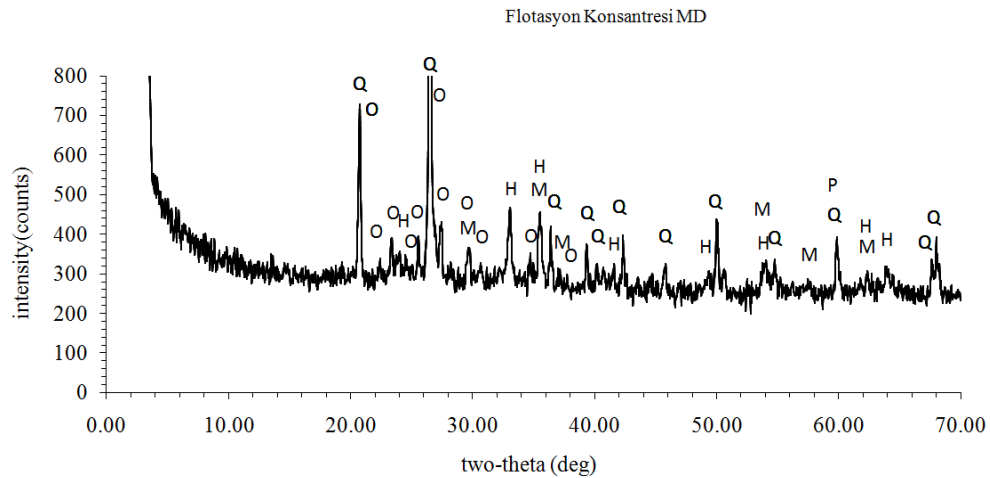
yüzeyinin hemen altında mikrodalgaın ne kadar etkili olduğu görölmektedir. Bu görüntü malzeme 20 dk mikrodalga işlem süresine tabi tutulduktan sonra elde edilmiştir.

7.9.3 Mikrodalga Konsantrelerinin Karakterizasyon Çalışmaları

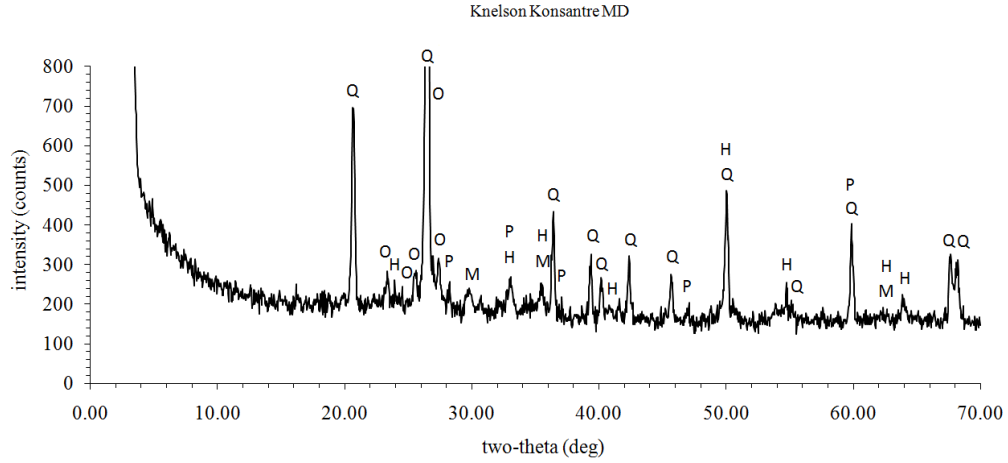
Cevherin, flotasyon ve Knelson ön konsantrelerinin mikrodalga öncesi yapılan XRD, mikroskop ve sem analizlerinde yoğunlukla, kuvars, pirit minerallerine, az da olsa götit minerallerine rastlandığı daha önce ilgili bölümlerde verilmiştir. 30 dk'lık 800 W'da mikrodalga işlemine tabi tutulan konsantrelerin yeniden karakterizasyonları yapılmış ve mikrodalgaın konsantreleri etkilediği tespit edilmiştir.

7.9.3.1 Konsantrelerin X-Ray Difraksiyon (XRD) Analizleri

Knelson ve flotasyon konsantrelerin mineral içeriğini tespit edebilmek için XRD analizleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 7.43 ve 7.44'de verilmiştir.



Şekil 7.43 Flotasyon ön konsantresi 30 dk MD işlemi sonrası XRD grafiği (Q-Kuvars, O-Ortoklas, P-Pirit, H-Hematit, M-Manyetit).



Şekil 7.44 Knelson ön konsantresi 30 dk MD işlemi sonrası XRD grafiği (Q-Kuvars, O-Ortoklas, P-Pirit, H-Hematit, M-Manyetit).

Flotasyon ve Knelson ön konsantrelerine yapılan mikrodalga işlemi sonucu işlem öncesi yoğunlukla piritin görüldüğü XRD analizlerinde, işlem sonrası piritin hematit ve manyetite dönüştüğü tespit edilmiştir.

7.9.3.2 Konsantre Örneklerinin Mineralojisi, Petrografisi

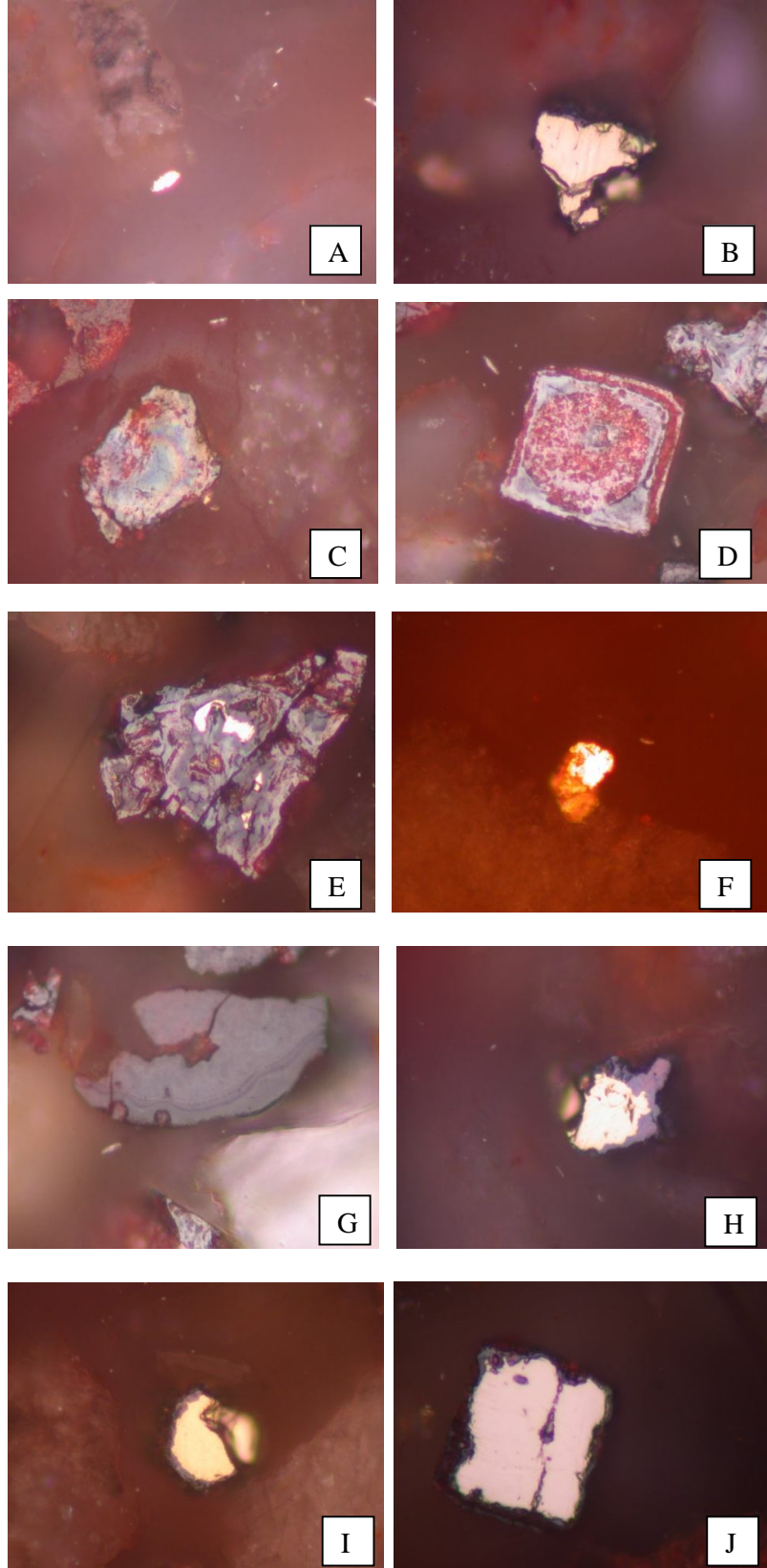
Konsantrelerin parlak kesitleri hazırlanarak mikroskop altında incelenmiştir. Mineralojik değişimleri mikrodalga öncesi görüntülerle karşılaştırmış ve diğer analizlerle desteklenmeye çalışılmıştır. Knelson ön konsantresi 30 dk 800 W mikrodalga işleme tabi tutulmuş ve ardından parlak kesit için hazırlanmıştır (Şekil 7.45).



Şekil 7.45 Parlak kesit numuneleri A) flotasyon ön konsantresi, B) Knelson ön konsantresi.

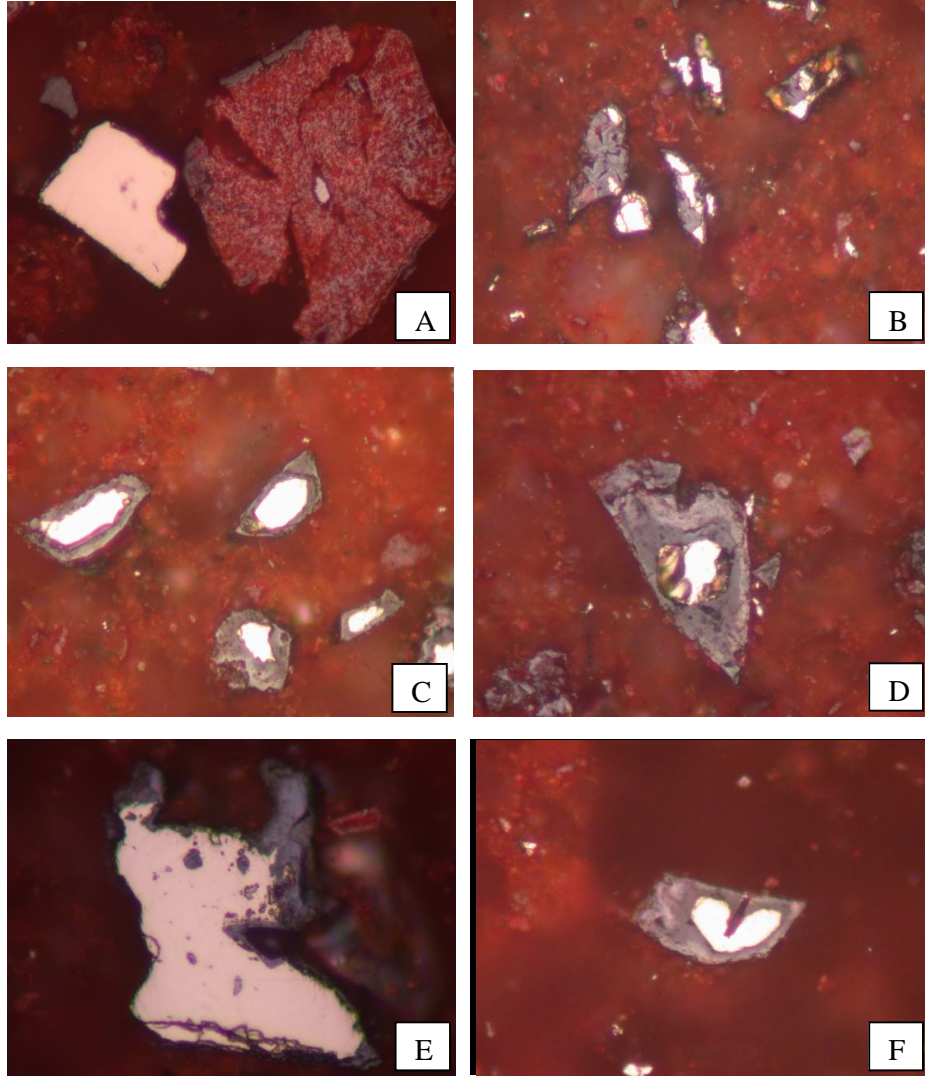
Knelson ön konsantresine uygulanan mikrodalga işleminin ardından yapılan mikroskop çalışmasının genelinde pirit, hematit, manyetit ve götit mineralleri mevcuttur. Daha önceki mikroskop çalışmalarında öz şekilli piritler yoğun olarak gözlenmişti ve çok az olmamakla birlikte öz şekilli götitlerde mevcuttu. Fakat mikrodalga işlemi sonrası piritin kapanımlar halinde hematit, manyetit ve götitin içinde kaldığı gözlenmiştir. Şekil 7.46A'da altın tanesi gözlenmektedir. Şekil 7.46B'de ise pirit minerali görülmektedir. Şekil 7.46C'de götit içinde mavimsi hareler şeklinde yapılar görülüyor muhtemelen bu yapılar mikrodalğanın etkisi ile oluşmuştur. Cevherde gözlenen yapılarda özşekilli götite rastlanmıştır fakat bu şekilde hareli ve piriti hapsetmiş yapılara rastlanmamıştır. Şekil 7.46D'de özşekilli, kübik pirit götite dönüşmüş, fakat mikrodalga etkisi ile olmamış doğal koşullarda gelişmiş bir yapıdır. Şekil 7.46E'de ise pirit mineralinin yer yer hematite ve hematitten manyetit dönüşümü görülmektedir. Pirit burada manyetit içerisinde kalmıştır. Pirit doğal şartlarda oksitlenmeye başlamış ve muhtemelen manyetit fazında iken Knelson gravite konsantratörde işlem görmüştür ve bünyesine su almıştır. Bu durumun ardından mikrodalga işlemine tabi tutulmuş ve mikrodalğanın etkisi ile götite dönüşmeye başlamıştır. Bu nedenle piritin etrafında dönüşmeye başlamış götitler görülmektedir. Mikrodalğanın etkisi olarak hareli yapı da görülmektedir. Mikrodalga işlem süresi ve gücü yeterli olmadığından dönüşüm tamamlanamamıştır. Şekil 7.46F'de bir altın tanesi daha görülmektedir. G'de ise doğal şartlarda oluşmuş götit minerali üzerinde kolloform doku mevcuttur yani düşük sıcaklıktaki oksidasyona bağlı gelişen bir yapıya işaret etmektedir.

Şekil 7.46 H ve I'da yine pirit minerali kırma öğütme ardından knelson konsantratörden geçirilme ve kurutulma aşamasında hematite ve hematitten manyetite dönüşmeye başlamış, dönüşüm süresi tamamlanmadan mikrodalgaya tabi tutulmuştur bu nedenle piritin çevresinde mikrodalğanın etkisi ile götit oluşumu başlamıştır. Şekil 7.46J'de ise kalkopirit okside olmuştur. Kalkozin kovaline dönüşmüş gibi görülmektedir. Örneklerde kalkopirit az pirit daha fazla görülmüştür. Piritin hematit ve manyetite, manyetitin ise muhtemelen Knelson Konsantratörde işlem görmesi ile bünyesine su alması ardından mikrodalga ile muamelesi ile götit oluşumunu başlatmıştır.



Şekil 7.46 Knelson konsantresi 30 dk MD işlemi sonrası mikroskop görüntüleri.

Flotasyon ön konsantresi de 30 dk 800 W mikrodalga işleme tabi tutulmuş ve ardından parlak kesit için hazırlanmıştır.



Şekil 7.47 Flotasyon konsantresi 30 dk MD işleme sonrası mikroskop görüntüleri.

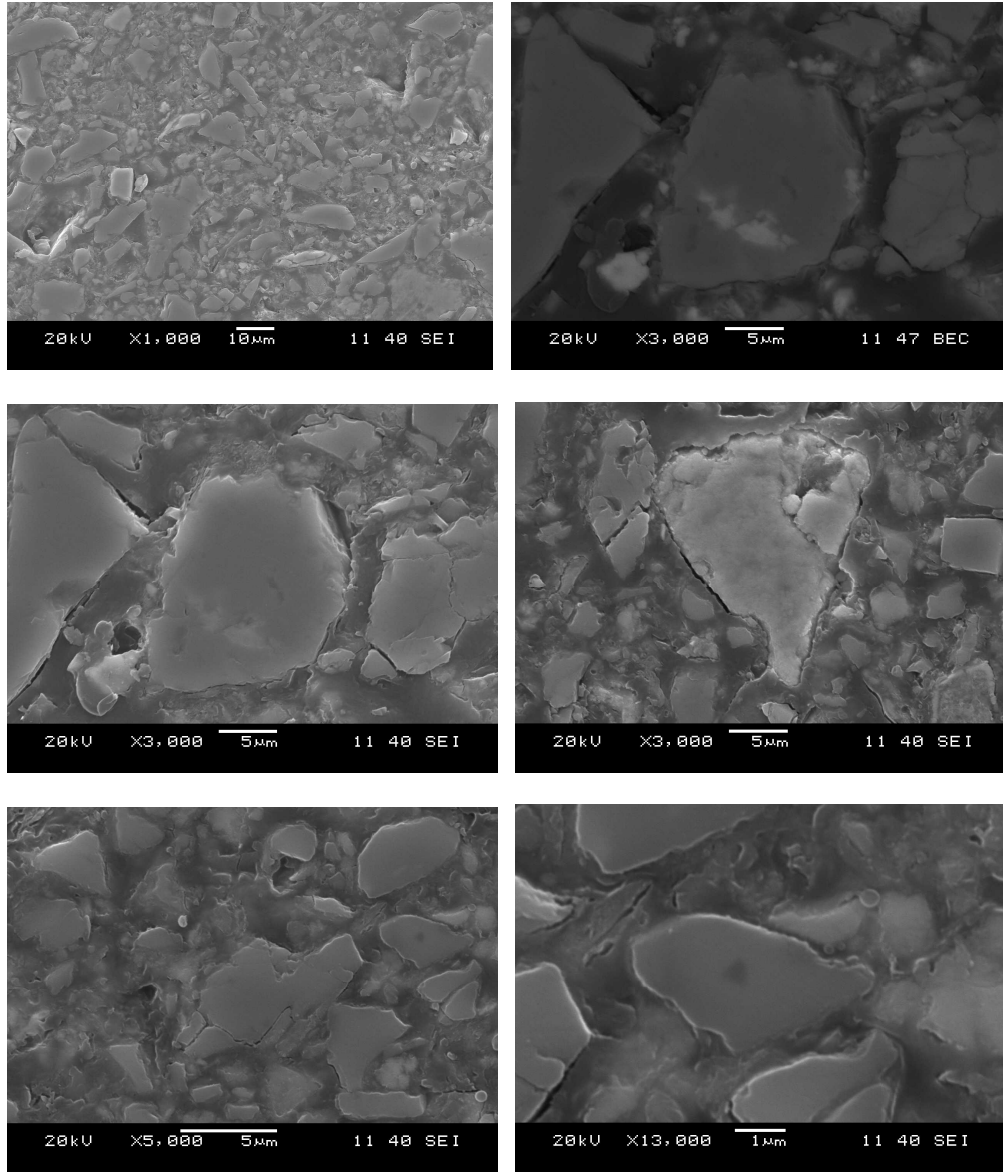
Şekil 7.47’de ki flotasyon konsantresi mikroskop görüntüleri incelendiğinde Knelson konsantresine göre çok daha küçük tane boyutuna sahiptir. Pirit, hematit, manyetit ve götit buradada yoğun şekilde görülmektedir. Şekil 7.47A’da pirit ve hematit yan yana hematit yer yer götite dönüşmüştür. Şekil 7.47B’de ise piritlerin yoğun olduğu bir fotoğraf. Piritler götit ile birlikte, yine ince boyutlarda hematitler görülmekte. Şekil 7.47C’de ise piritler götit içinde kapanımlar halinde kalmıştır. Muhtemelen burada bir dönüşme mevcuttur. Piritler götite dönüşmekte fakat

sıcaklığın yetersiz kalması nedeniyle dönüşmemiş kısımlarda mevcuttur. Şekil 7.47D’de pirit ve kalkopirit götütün içinde ve bir zonlanma görülmekte bu durum muhtemelen mikrodalganın etkisi. Şekil 7.47E’de yine bir zonlanma mevcut fakat burada kalkopiritin daha fazla etkilendiğini görüyoruz. Şekil 7.47F’de bu zonlanmalara bir örnektir. Genel olarak bakıldığında piritin hematite ve götite dönüştüğü bu dönüşümün flotasyon ön konsantresini hazırlama şartlarında ve bu şartları takiben mikrodalga ile muamelenin kombine olarak etki ettiği muhtemeldir.

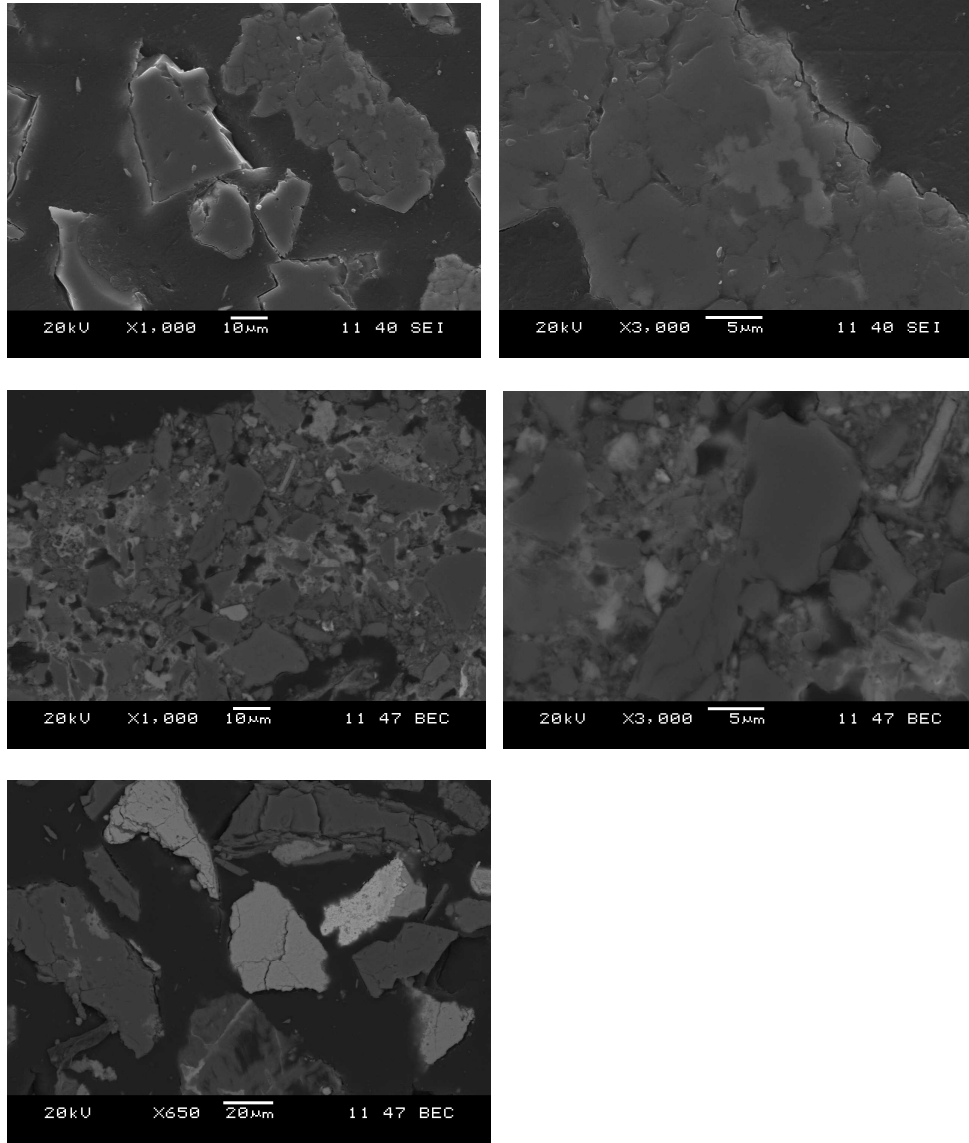
7.9.3.3 Konsantrelerin SEM görüntüleri

Malzemenin yüzey özelliklerini daha net şekilde ortaya koyabilmek için SEM çalışması yapılmıştır. Şekil 7.48’de flotasyon konsantresine ait görüntüler verilmektedir. Yapılan SEM analizinde Pb ve Mn oksitlerin ayrıca piritlerin mevcut olduğu görülmüştür. Bakır, titan, silis ve alüminyum mineralleri de mevcuttur. Taneler özşekilli, köşeli fakat kırık ve çatlaklı değildir. Yine piritler kapanımlar halindedir. Harelenmeler ise yer yer fark edilmektedir.

Şekil 7.49’da Knelson ön konsantresinin SEM görüntüleri verilmektedir. Titan, demir, alüminyum, silis, potasyum ve oksijen varlığı tespit edilmiştir. Pb ve Mn oksitler mevcuttur. Taneler daha iri, köşeli ve gözeneksizdir.



Şekil 7.48 Flotasyon ön konsantresi 30 dk mikrodalga işlemi sonrası SEM görüntüleri.



Şekil 7.49 Knelson ön konsantresi 30 dk mikrodalga işlemi sonrası SEM görüntüleri.

7.9.3.4 Konsantrelerin Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS)

Knelson ve flotasyon konsantrelerin yaş kimyasal analizi yapılarak içeriğindeki elementlerin tenör ve % değerleri Tablo 7.18 ve 7.19’da verilmektedir.

Tablo 7.18 30 dk MD işlemi sonrası flotasyon ön konsantresinin kimyasal analiz sonuçları.

Element	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Ni	Fe ₂ O ₃	Mn
Tenör (g/t), %	76	161	950	4934	2569	1125	%8,48	%1,06

Tablo 7.19 30 dk MD işlemi sonrası Knelson ön konsantresinin kimyasal analiz sonuçları.

Element	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Ni	Fe ₂ O ₃	Mn
Tenör (g/t), %	59	75	502	4877	1006	797	%5,91	%2,26

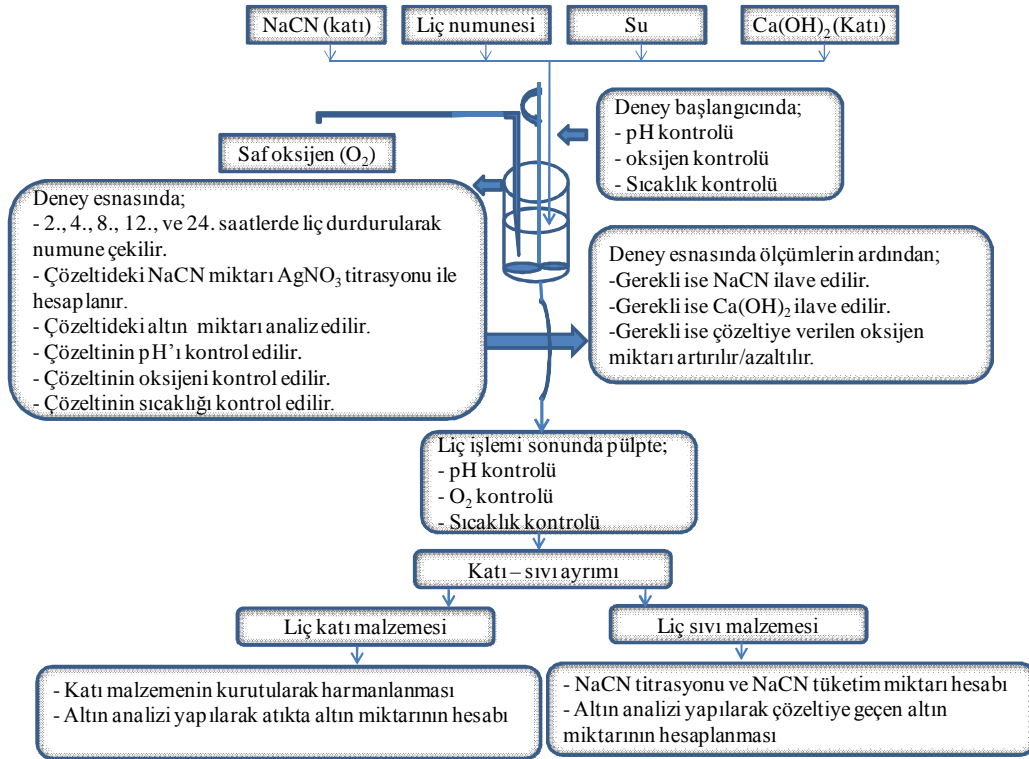
7.10 Liç Çalışmaları

Siyanür liçi çalışmaları cevher, flotasyon ön konsantresi ve Knelson ön konsantresine uygulanmıştır. Çalışmalar önce cevher üzerinde yapılmış optimum liç koşulları belirlenmiştir. Tane boyutu, NaCN konsantrasyonu, NaCN tüketimi, katı/sıvı oranı ve liç süresinin altın çözünme verimleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Liç işlemi ve parametreleri Knelson gravite seperatör ve flotasyon ön konsantrelerine ayrı ayrı uygulanarak, konsantre elde edilme şeklinin altın kazanma verimine etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, mikrodalga enerjisi kullanılarak liç süresinin kısaltılması ve verimin artırılmasına çalışılmıştır.

Liç yöntemi karıştırma liçi olarak belirlenmiştir. Liç süresi 12 saattir ve 2. 4. 8. ve 12. saatlerde karıştırma işlemi durdurularak 35 mL numune çekilmektedir. Numunenin 10 mL’si çözeltideki NaCN miktarını tespit etmek için kullanılmaktadır. Kalan 25 mL ise liçte altın ve gümüş analizi için saklanmaktadır.

10 mL ayrılan çözeltinin içine 1-2 damla Fluka 39090 5-(4-Dimethylaminobenzylidene) rhodanine ile hazırlanan indikatör ilave edilir. Daha

sonra 0,01 M AgNO_3 ile titrasyona tabi tutulur. Çözeltide kalan NaCN miktarı tespit edilir ve azalan miktar kadar NaCN ilave edilir.



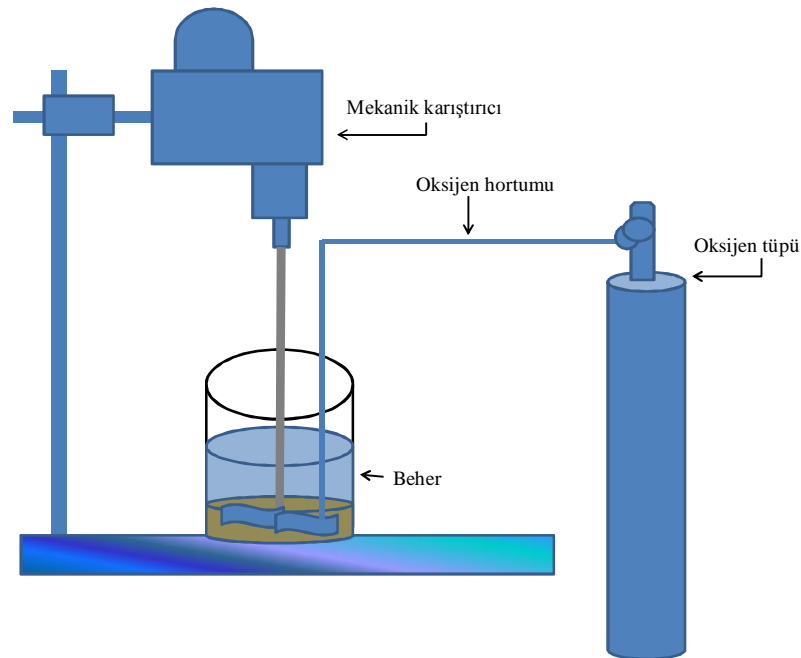
Şekil 7.50 Liç işlem süreci.

Şekil 7.50'de görüldüğü gibi liç işlemi kontrollü şekilde yapılmaktadır. Liç deneylerinde damıtılmış su kullanılmıştır. Liç başlangıcında katı sıvı oranı ayarlanarak 10 dk belirlenen d/dk'da karıştırılmakta ardından pH değeri 10,5-11 arasında ayarlanmaktadır. pH ayarının ardından belirlenen konsantrasyonda katı olarak NaCN ilave edilmektedir. 5 dk NaCN'ün çözelti içinde erimesi beklenerek tekrar pH kontrolü yapılır ve çözeltiye saf oksijen verilir (Şekil 7.51). Liç süresi bu aşamaların ardından başlatılmaktadır. Liç süresinin başlamasından itibaren 2., 4., 8., 12. saatlerde karıştırma işlemi durdurularak çözeltinin pH'ı, sıcaklığı ve çözelti içindeki oksijen miktarı WTW marka oksijen metre ile ölçülmektedir (Şekil 7.52). Alikot çekmeden önce çözelti içindeki partiküllerin çökmesi için yaklaşık 30 dk beklenmektedir. Çözeltiden 10 mL NaCN tüketim miktarının belirlenip eksilen miktar kadar ilave etmek amacıyla alikot alınmakta. 25 mL ise altın analizi için ayrıca alınmaktadır. Ardından beher tartılmakta eksilen miktar kadar su ilave

edilmektedir. Aynı şekilde pH 10,5 altına düştü ise $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ilave edilerek ayarlanmaktadır. Oksijen miktarında düşme eğiliminde ise behere verilen oksijen miktarı arttırılmaktadır. Cevher liç işleminin gidişatını özümseyebilmek için deney süresi 24 saat olarak alınmış fakat konsantrelere yapılan liç işleminde 12 saat baz alınmıştır. 24 saat sonunda liç işlemini durdurulup ölçümler tekrar yapılır ve katı sıvı ayrımı ile numuneler alınarak analizler yapılır kalan miktarlar depolanır. Siyanür liçi çalışmaları olası tehlikeleri önlemek için çeker ocak içinde yapılmıştır.



Şekil 7.51 Liç çalışmasından bir fotoğraf.

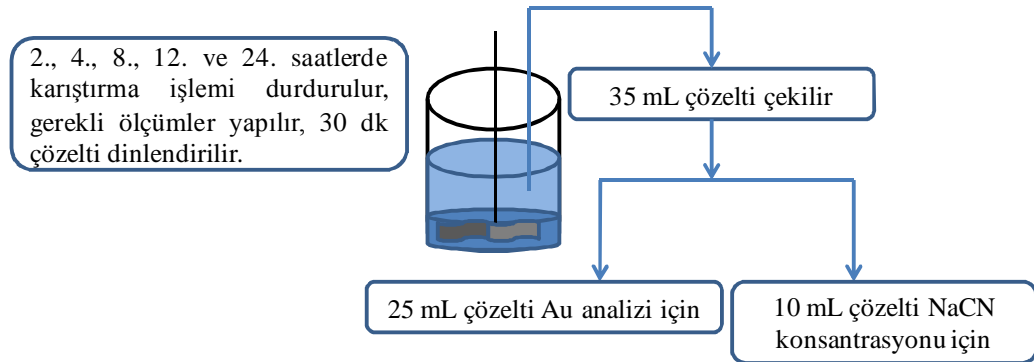


Şekil 7.52 Siyanür liçi deney düzeneği.

Şekil 7.51’de liç çalışmasından bir görüntü verilmektedir. Çalışmada saf oksijen tüplerinden alınan oksijen beherler içerisine verilmektedir. Şekil 7.52’de siyanür liçi deney düzeneği verilmektedir. Belirli periyotlarda beher içerisindeki oksijen miktarı WTW marka OXI 3205 oksijen metre ile pH değeri ise yine WTW marka pH 315i ile ölçülmüştür (Şekil 7.53).



Şekil 7.53 Liç çalışmalarında kullanılan pH ve oksijen metre.



Şekil 7.54 Liç işleminde alikot alımı.

Alikot çekimleri her ne kadar berrak çözeltilerden alınsada 25 mikronluk şırınga ucu filtrelerden geçirilerek çözelti tamamen berraklaştırılmakta analiz ve titrasyon işlemleri bu berrak çözeltilere yapılmaktadır (Şekil 7.54).

Çözeltideki altın ve gümüş analizi için çözeltilerden alınan 25 mL’lik numuneye 0,1 g Merck kalite Na_2O_2 ilave edilir. 2 dk kaynatılır. 1 damla %10’luk Merck kalite Pb-asetat ilave edilir. Alevden uzaklaştırılır. 0,01 g alüminyum tozu ilave edilir. H_2 gaz çıkışı duruncaya kadar karıştırılır. Oluşan çökelek süzgeç kağıdından filtre edilir.

Kağıttaki çökelek 4 mL HNO₃ + 6 mL HCl karışımının sıcak çözeltisi ile çözülür. Çözelti 25 mL'lik balon jöjeye alınır. AAS'da Au ve Ag analizi yapılır (Perkin-Elmer, 1976).

$$\% \text{ Element} = \frac{\text{AAS'de okunan değer} \times \text{seyrelme faktörü} \times \text{liç sıvı miktarı}}{\text{Numune miktarı (g)}}$$

$$\text{ppm} = \% \text{ Element} \times 10000$$

7.10.1 Cevher Tane Boyutu Değişimine Göre Yapılan Liç Çalışmaları

Deneyler 1600 mL'lik beherde yapılmıştır, toplam deney süresi cevher için 24 saat olup, cevherde 450 g malzeme kullanılmıştır. Deney sırasında ve sonunda çözeltiden alikotlar alınarak siyanür tayini gümüş nitrat titrasyonu ile yapılmış ve siyanür tüketimleri hesaplanmıştır. Cevher liçi -3,350 mm, -0,106 mm, -0,075 mm ve -0,053 mm olmak üzere dört ayrı tane boyutunda yapılmıştır. Deneyler oksijen ilaveli ve doğal şartlarda olmak üzere iki ayrı ortamda yapılmıştır. NaCN, 300 mg/L, 600 mg/L ve 1000 mg/L olmak üzere 3 ayrı konsantrasyon değerinde kullanılmıştır. Konsantrasyon değişiminin liç süresine ve verimine etkisi araştırılmıştır. Cevher ile ilgili tüm çalışmalar ağırlıkça %45 katı/sıvı (%45 k) oranında, 450 d/dk'da, 19-22°C hava sıcaklığı ve 28-32 mg/L oksijen ilavesinde, damıtılmış su kullanılarak yapılmıştır. Şekil 7.55'de siyanür ve diğer kimyasalların tartıldığı hassas terazi görülmektedir.



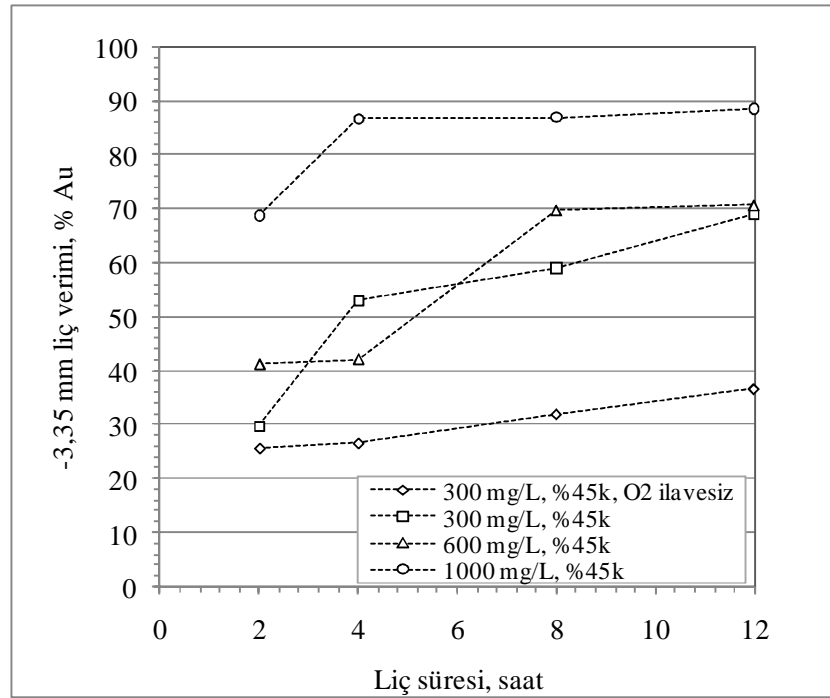
Şekil 7.55 Siyanür ve diğer kimyasalların tartıldığı hassas terazi.

Tablo 7.20 ve Şekil 7.56’da görüldüğü gibi tüketilen siyanür miktarına göre altın kazanımı da artmaktadır. Oksijen ilavesi yapılmayan liç işleminde verim %36 Au değerinde kalırken aynı şartlarda 28-32 mg/L oksijen ilaveli ortamda verim % 69 Au değerine ulaşmıştır. Verimde ki yaklaşık 2 kat artış siyanür tüketiminde görülmemiştir. Siyanür konsantrasyon miktarı arttıkça 300 mg/L’de çok bariz farklar olmamasına karşın 1000 mg/L’de %88 Au verimine ulaşmıştır.

Tablo 7.20 Cevherin -3,35 mm tane boyutunda yapılan NaCN liçi deney sonuçları (%45k, 450 d/dk).

Ürünler	300 mg/L NaCN	300 mg/L NaCN	600 mg/L NaCN	1000 mg/L NaCN
	Verim, %Au	Verim, %Au	Verim, %Au	Verim, %Au
2 saat	25,66	29,71	41,11	68,69
4 saat	26,63	53,01	42,06	86,71
8 saat	31,99	58,95	69,74	86,93
12 saat	36,63	68,99	70,67	88,56
NaCN tüketimi, g/t	403	607	940	1027
24 saat	53,48	69,91	82,35	90,52
NaCN tüketimi, g/t	672	874	1453	1589
Ortalama Çözünmüş Oksijen, mg/L	6,42 (Oksijen ilavesiz)	30	36	25

Tablo 7.20’de görüldüğü gibi NaCN tüketim hesaplamaları önce 12 saat, ardından 24 saat olarak yapılmıştır. Cevherde 24 saatlik liç deneyleri yapılarak cevherin liç kinetiği hakkında daha verimli sonuçlar alınmaya çalışılmıştır. Ardından konsantreler için 12 saat liç süresi baz alındığından karşılaştırmalarda kolaylık olması açısından bu şekilde de hesaplanmıştır. Aynı durum -0,106 ve -0,075 mm tane boyutlarında yapılan liç çalışmaları içinde geçerlidir.



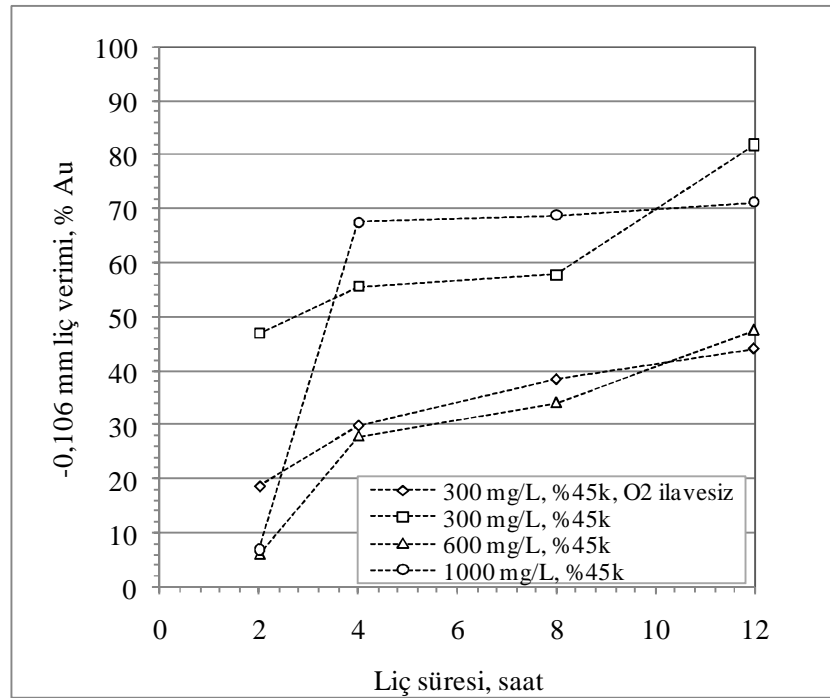
Şekil 7.56 -3,35 mm tane boyutu liç verimi sonuçları.

Tablo 7.21 Cevherin -0,106 mm tane boyutunda yapılan NaCN liçi deney sonuçları (%45k, 450 d/dk).

Ürünler	300 mg/L NaCN	300 mg/L NaCN	600 mg/L NaCN	1000 mg/L NaCN
	Verim, %Au	Verim, %Au	Verim, %Au	Verim, %Au
2 saat	18,60	46,96	5,90	6,92
4 saat	29,85	55,59	27,89	67,54
8 saat	38,39	57,88	34,10	68,86
12 saat	44,05	81,89	47,60	71,25
NaCN tüketimi, g/t	937	650	610	805

24 saat	75,35	82,19	100,00	100,00
NaCN tüketimi, g/t	1148	840	977	1393
Ortalama Çözünmüş Oksijen, mg/L	8,68 (Oksijen ilavesiz)	30	30	30

-0,106 mm tane boyutunda Tablo 7.21’de görüldüğü gibi altın kazanım oranına bağlı olarak siyanür tüketimi de artmıştır. Şekil 7.57’de görüldüğü gibi liç süresi arttıkça altın verimi de artmaktadır. 600 mg/L ve 1000 mg/L NaCN konsantrasyonunda yapılan liç çalışmalarında ekstraksiyonun 4 saate kadar hızlı daha sonra normal seyirinde devam ettiği görülmektedir. 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda verim %82 Au olarak hesaplanmıştır.



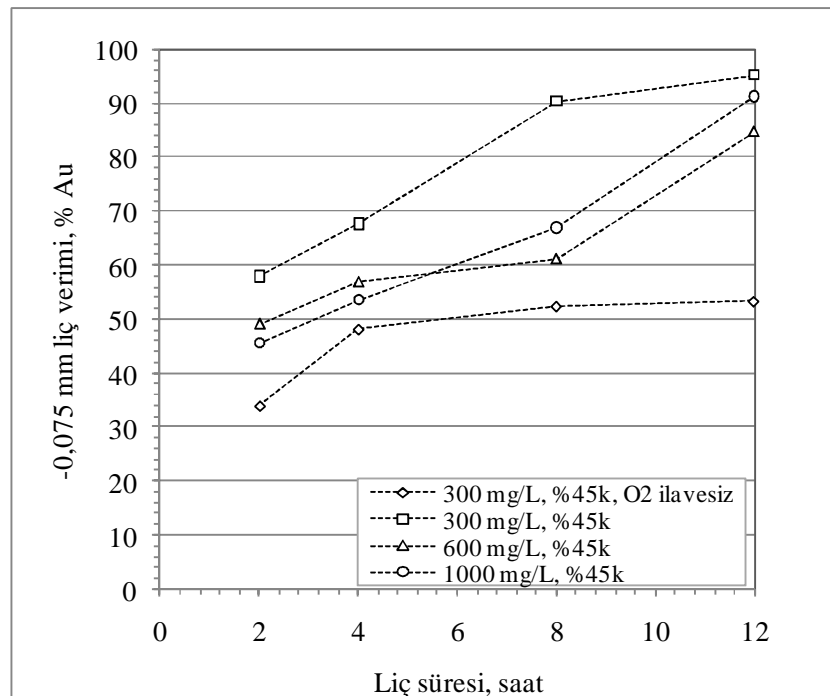
Şekil 7.57 -0,106 mm tane boyutu liç verimi sonuçları.

-0,075 mm tane boyutunda yapılan liç çalışmaları göz önüne alındığında yine altın kazanım oranına bağlı olarak siyanür tüketimi artmıştır (Tablo 7.22). Liç süresi arttıkça 300 mg/L NaCN konsantrasyonu için altın kazanım verimi % 95'lere çıkmaktadır. Tane boyutu küçüldükçe siyanür konsantrasyonundaki artış verimi düşürmüştür. Bu durum Şekil 7.58’de de görülmektedir.

Tablo 7.22 Cevherin -0,075 mm tane boyutunda yapılan NaCN liçi deney sonuçları (%45k, 450 d/dk).

Ürünler	300 mg/L NaCN	300 mg/L NaCN	600 mg/L NaCN	1000 mg/L NaCN
	Verim, %Au	Verim, %Au	Verim, %Au	Verim, %Au
2 saat	33,83	57,93	49,06	45,53
4 saat	48,10	67,62	56,86	53,53
8 saat	52,40	90,38	61,15	67,02
12 saat	53,31	95,17	84,84	91,28
NaCN tüketimi, g/t	540	795	1270	2468

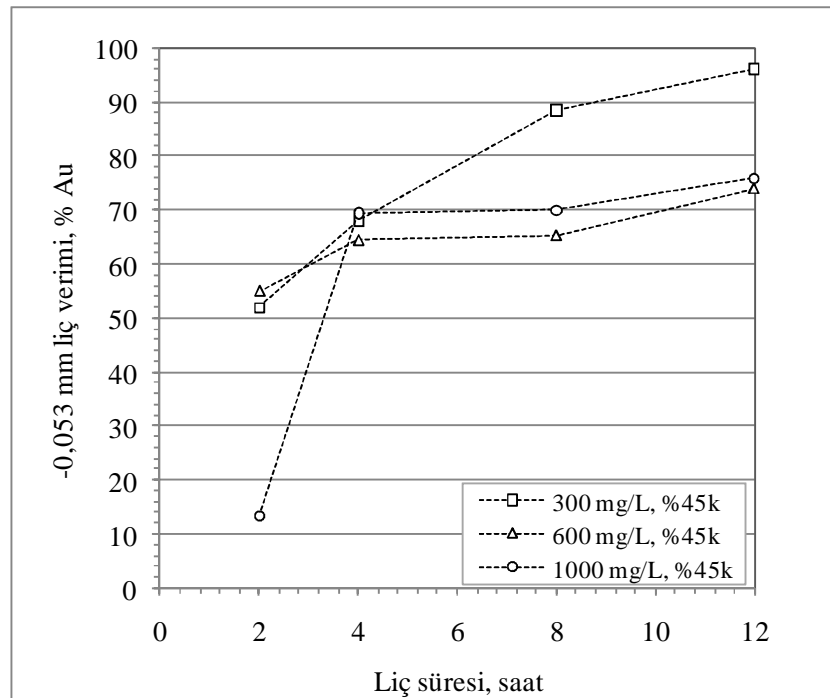
24 saat	88,66	100,00		
NaCN tüketimi, g/t	705	1170		
Ortalama Çözünmüş Oksijen, mg/L	7,15	30		
	(Oksijen ilavesiz)			



Şekil 7.58 -0,075 mm tane boyutu liç verimi sonuçları.

Tablo 7.23 Cevherin -0,053 mm tane boyutunda yapılan NaCN liçi deney sonuçları (%45k, 450 d/dk).

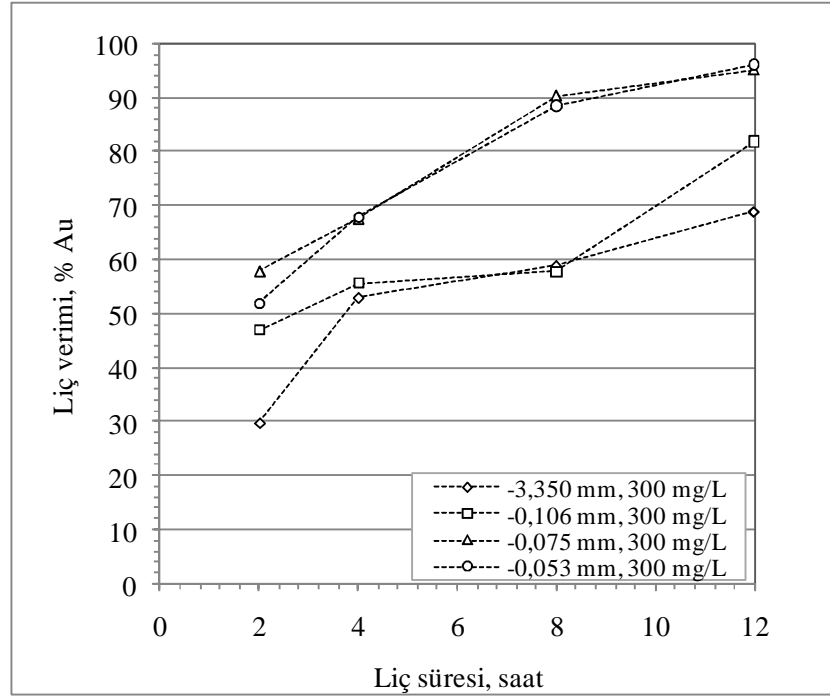
Ürünler	300 mg/L NaCN	600 mg/L NaCN	1000 mg/L NaCN
	Verim, %Au	Verim, %Au	Verim, %Au
2 saat	51,97	54,91	13,27
4 saat	67,93	64,38	69,44
8 saat	88,45	65,28	69,96
12 saat	96,10	74,07	75,91
NaCN tüketimi, g/t	574	978	1723



Şekil 7.59 -0,053 mm tane boyutu liç verimi sonuçları.

-0,053 mm tane boyutunda yapılan liç deneyleri de göstermiştir ki liç verimi arttıkça NaCN konsantrasyonunun etkisini azaltmıştır (Tablo 7.23 ve Şekil 7.59). Tablo ve şekillerden görüldüğü gibi NaCN konsantrasyonu 300 mg/L'de optimum sonuçlar elde edilmiştir. 600 mg/L ve 1000 mg/L konsantrasyon değerlerinde NaCN tüketimi arttığı %Au veriminde düşüş olmuştur. Bu durum -3,350 mm tane boyutu hariç diğer tane boyutlarının hepsinde görülmüştür. Ayrıca tane boyutu küçüldükçe %Au kazanma verimleri birbirine yaklaşmış ve -0,075 mm tane boyutu verimi %95 iken -0,053 mm tane boyutu verimi sadece %96 ya çıkabilmiştir. Sonuçlar tane

boyutu küçüldükçe siyanür miktarının belirgin bir etkisinin olmadığını göstermektedir.



Şekil 7.60 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda liç süresine ve verime göre tane boyut davranışları.

Şekil 7.60'daki eğriler incelendiğinde -0,075 mm ve -0,053 mm tane boyutlarında benzer sonuçlara ulaşıldığı daha iri tane boyutlarının bu konsantrasyon oranında daha düşük verimler de kaldığı görülmüştür. Bu cevher için çalışma boyutunun öğütme masrafları göz önüne alınarak -0,075 mm seçilmesi uygun olacaktır.

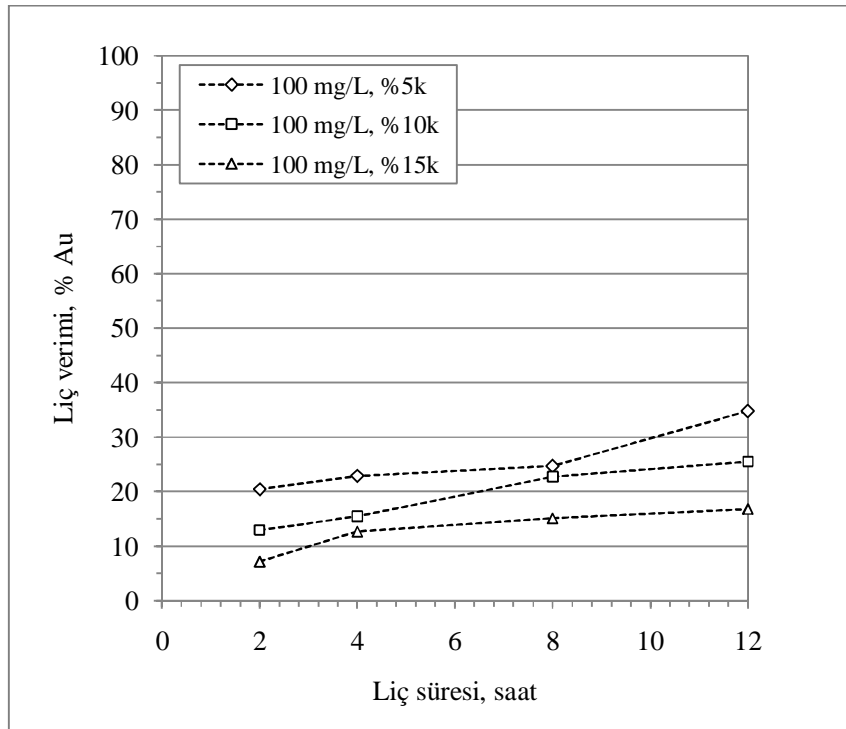
7.10.2 Flotasyon Ön Konsantresi İle Yapılan Liç Çalışmaları

Deneyler 600 mL'lik beherde yapılmıştır, toplam deney süresi 12 saat olup, her deney için 25 g konsantre kullanılmıştır. Çeşitli tane boyutlarında ve reaktif reçetelerinde yapılan testler sonucu flotasyon konsantresi için en uygun tane boyutunun -0,106 mm olduğu tespit edilmiş ve belirlenen reaktif reçetesinde liç için konsantreler ortalama 65 g/t altın tenörü ile üretilmiştir. Deney sırasında ve sonunda çözeltiden alikotlar alınarak siyanür tayini gümüş nitrat titrasyonu ile yapılmış ve siyanür tüketimleri hesaplanmıştır. NaCN, 100 mg/L, 200 mg/L ve 300 mg/L olmak

üzere 3 ayrı konsantrasyon değerinde kullanılmıştır. Konsantrasyon değişiminin liç süresine ve verimine etkisi araştırılmıştır. Konsantre liçi katı sıvı oranı değişimleri ağırlıkça %5, %10 ve %15 katı/sıvı oranında, damıtılmış su kullanılarak, 200 d/dk'da, 19-22°C hava sıcaklığı ve 28-32 mg/L oksijen ilavesinde yapılmıştır.

Tablo 7.24 Flotasyon ön konsantresi 100 mg/L NaCN konsantrasyonunda katı oranı değişimine bağlı verim değerleri.

Ürünler	100 mg/L NaCN % 5 Katı Oranı Verim, %Au	100 mg/L NaCN % 10 Katı Oranı Verim, %Au	100 mg/L NaCN % 15 Katı Oranı Verim, %Au
2 saat	20,46	12,98	7,16
4 saat	22,92	15,48	12,69
8 saat	24,75	22,77	15,10
12 saat	34,76	25,57	16,83
NaCN tüketimi, g/t	1897	989	909

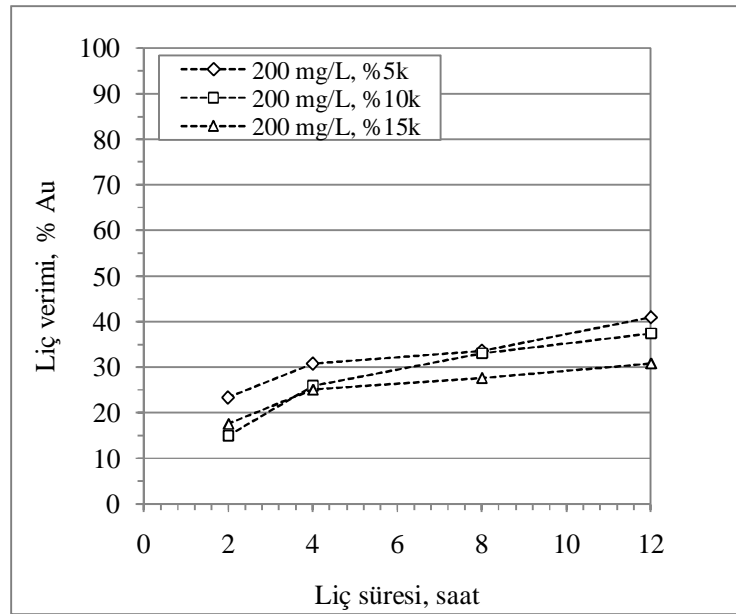


Şekil 7.61 Flotasyon ön konsantresinin 100 mg/L NaCN konsantrasyonunda katı oranına ve liç süresine bağlı verim değişimi.

Tablo 7.24’de görüldüğü gibi konsantreye uygulanan NaCN konsantrasyonunun düşük olması altın kazanım verimlerini de olumsuz etkilemiş ve oldukça düşük değerlerde bırakmıştır. Ayrıca NaCN tüketiminin bu duruma karşın fazla olduğu görülmektedir. Bununla birlikte tahmin edilebileceği gibi flotasyon ön konsantresinin tenörünün cevhere göre yaklaşık 12 kat daha artmış olmasıdır. Ayrıca sülfürlü yapıya sahip olan konsantrenin içerisindeki siyanidlerin NaCN’ü tükettiğide bilinmektedir. Katı sıvı oranı açısından bakıldığında ise %5 katı oranında daha iyi sonuçlar alındığı anlaşılmaktadır (Şekil 7.61).

Tablo 7.25 Flotasyon ön konsantresi 200 mg/L NaCN konsantrasyonunda katı oranı değişimine bağlı verim değerleri.

Ürünler	200 mg/L NaCN % 5 Katı Oranı Verim, %Au	200 mg/L NaCN % 10 Katı Oranı Verim, %Au	200 mg/L NaCN % 15 Katı Oranı Verim, %Au
2 saat	23,40	14,96	17,55
4 saat	30,75	25,91	25,06
8 saat	33,57	33,09	27,61
12 saat	40,92	37,45	30,80
NaCN tüketimi, g/t	3610	2250	1751

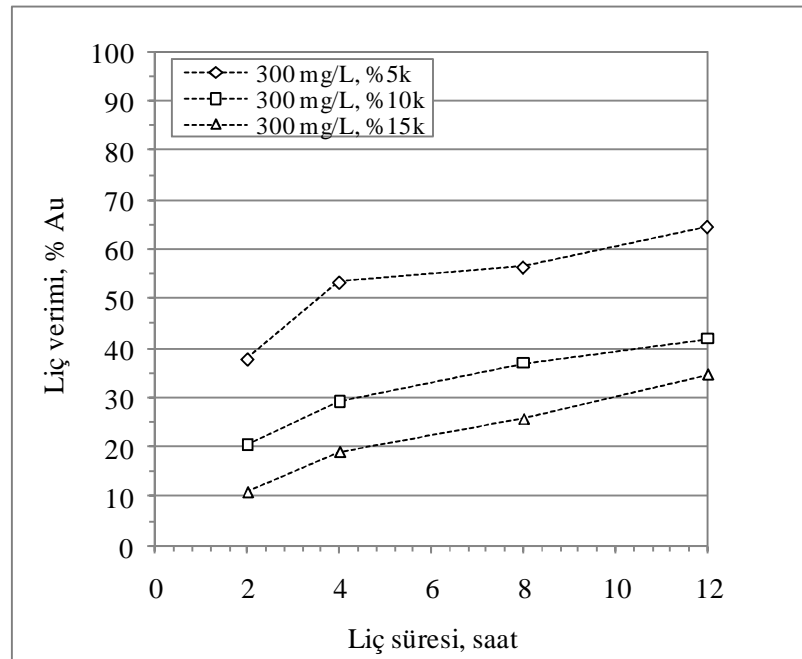


Şekil 7.62 Flotasyon ön konsantresinin 200 mg/l NaCN konsantrasyonunda katı oranına ve liç süresine bağlı verim değişimi.

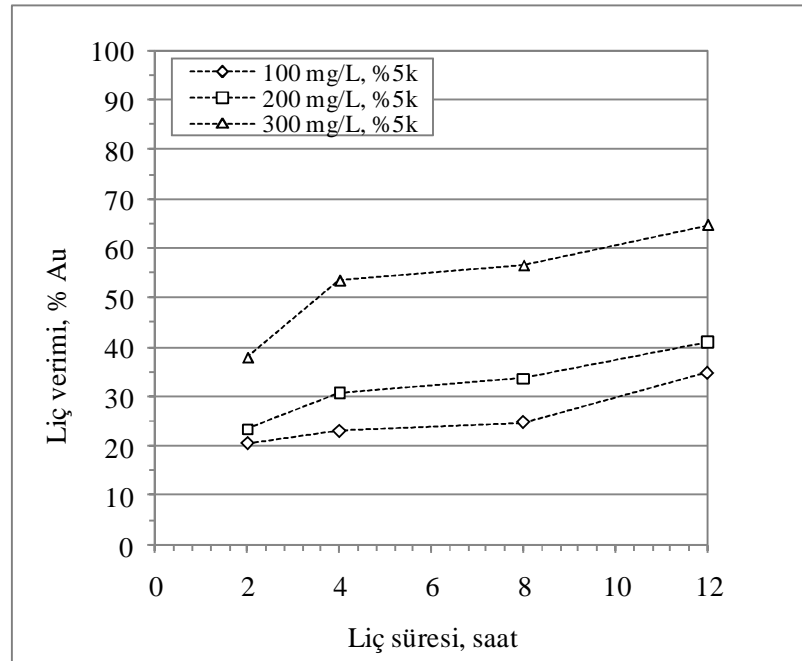
Konsantrasyon değişimlerinin ön konsantreye etkisini görebilmek amacıyla 200 mg/L ve 300 mg/L NaCN konsantrasyonlarında da yine çeşitli denemeler yapılmış ve optimum sonuçlar Tablo 7.25 ve 7.26'da verilmiştir. Şekil 7.62 ve 7.63'de ise bu değerler görsel olarak verilmiştir.

Tablo 7.26 Flotasyon ön konsantresi 300 mg/l NaCN konsantrasyonunda katı oranı değişimine bağlı verim değerleri.

Ürünler	300 mg/L NaCN % 5 Katı Oranı Verim, %Au	300 mg/L NaCN % 10 Katı Oranı Verim, %Au	300 mg/L NaCN % 15 Katı Oranı Verim, %Au
2 saat	37,86	20,46	10,95
4 saat	53,37	29,18	19,03
8 saat	56,42	36,86	25,65
12 saat	64,60	41,83	34,62
NaCN tüketimi, g/t	4180	4950	3270



Şekil 7.63 Flotasyon ön konsantresinin 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda katı oranına ve liç süresine bağlı verim değişimi.



Şekil 7.64 Flotasyon ön konsantresinin % 5 katı oranında NaCN konsantrasyonu değişimine bağlı verim eğrileri.

Tablo 7.24, 7.25 ve 7.26 incelendiğinde katı sıvı oranının liç işlemi üzerine etkisinin dikkate değer olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle flotasyon ön konsantresi ile yapılan mikrodalga çalışmalarına %5 katı oranında devam edilmiştir. Şekil 7.64'de siyanür konsantrasyonunu belirlemek için hazırlanmış ve en uygun konsantrasyon değerinin %64 Au verimi ile 300 mg/l olduğu görülmüştür.

Tablolar incelendiğinde yine siyanür tüketiminin cevherden daha fazla değerlerde olduğu görülmektedir. Fakat bu durum yaklaşık 12 kat zenginleştirilmiş konsantreden ileri gelmektedir.

7.10.3 Gravite Ön Konsantresi ile Yapılan Liç Çalışmaları

Çalışmalarda çeşitli gravite seperatörler kullanılmış en uygun sonucu Knelson Gravite Seperatör vermiştir. Gravite ön konsantresini hazırlamak için yapılan deneylerin sonuçlarında baz alınan kriter özellikle tenör ve verim değişimleridir.

Deneyleer 600 mL'lik beherde yapılmıştır, toplam deney süresi 12 saat olup, her deney için 25 g ön konsantre kullanılmıştır. Çeşitli tane boyutlarında ve reaktif reçetelerinde yapılan testler sonucu Knelson gravite konsantresi için en uygun tane boyutunun -0,106 mm olduğu tespit edilmiş ve liç için konsantreler ortalama 53 g/t altın tenörü ile üretilmiştir. Deney sırasında ve sonunda çözeltiden alikotlar alınarak siyanür tayini gümüş nitrat titrasyonu ile yapılmış ve siyanür tüketimleri hesaplanmıştır. NaCN, 100 mg/L, 200 mg/L ve 300 mg/L olmak üzere 3 ayrı konsantrasyon değerinde kullanılmıştır. Konsantrasyon değişiminin liç süresine ve verimine etkisi araştırılmıştır. Konsantre liçi katı sıvı oranı değişimleri ağırlıkça %5, %10 ve %15 katı/sıvı oranında, 200 d/dk'da, 19-22°C hava sıcaklığı ve 28-32 mg/L oksijen ilavesinde yapılmıştır.

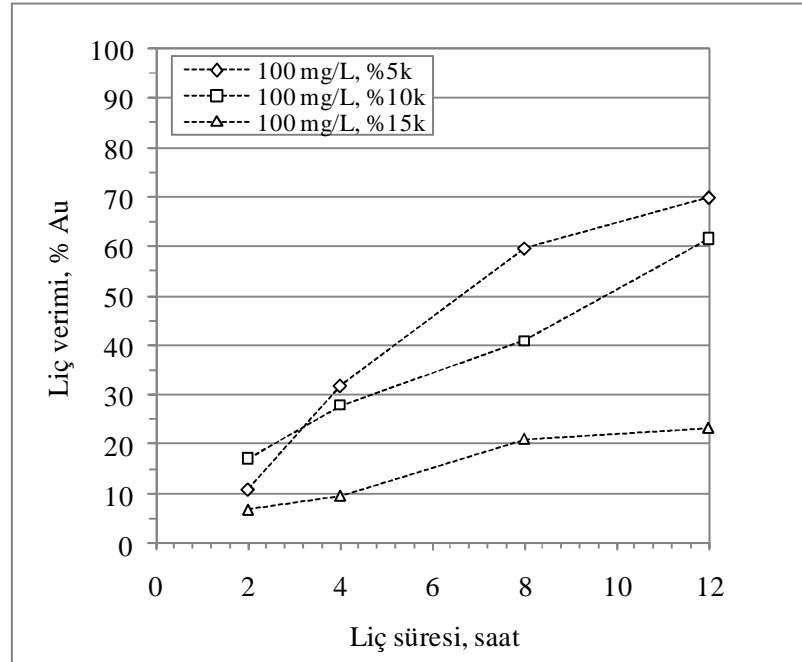
Tablo 7.27'da görüldüğü gibi katı sıvı oranına göre altın kazanım verimleri değişim göstermektedir. Siyanür tüketimlerinde ise bir dalgalanma gözlenmektedir. Şekil 7.65'de ise bu konsantrasyon değeri için en uygun katı sıvı oranının %5 olduğu görülmektedir.

Tablo 7.27 Gravite ön konsantresi 100 mg/L NaCN konsantrasyonunda katı oranı değişimine bağlı verim değerleri.

Ürünler	100 mg/L NaCN % 5 Katı Oranı Verim, %Au	100 mg/L NaCN % 10 Katı Oranı Verim, %Au	100 mg/L NaCN % 15 Katı Oranı Verim, %Au
2 saat	10,97	17,08	6,77
4 saat	31,94	27,86	9,55
8 saat	59,68	41,01	21,01
12 saat	69,97	61,61	23,19
NaCN tüketimi, g/t	380	1080	909

Tablo 7.27, 7.28, 7.29'da ve Şekil 7.65, 7.66, 7.67'de görüldüğü gibi NaCN konsantrasyon artışına bağlı olarak altın kazanımı da artmış 100 mg/L NaCN konsantrasyonunda %70'lerde olan verim, 300 mg/L konsantrasyona çıkarıldığında %85 değerlerine ulaşmaktadır. Buna karşın katı sıvı oranında düşüş ile de altın kazanımının arttığı gözlenmiştir. Örneğin 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda %15

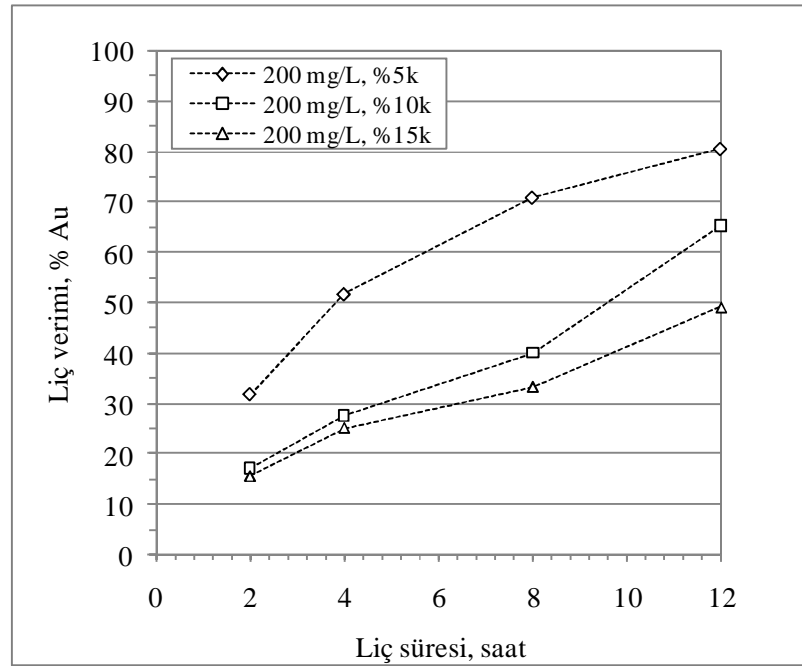
katı oranında yaklaşık %45 Au verimine erişilirken %5 katı oranında %85 Au verimine ulaşılmıştır.



Şekil 7.65 Gravite ön konsantresinin 100 mg/L NaCN konsantrasyonunda farklı katı oranlarındaki verim eğrileri.

Tablo 7.28 Gravite ön konsantresi 200 mg/L NaCN konsantrasyonunda katı oranı değişimine bağlı verim değerleri.

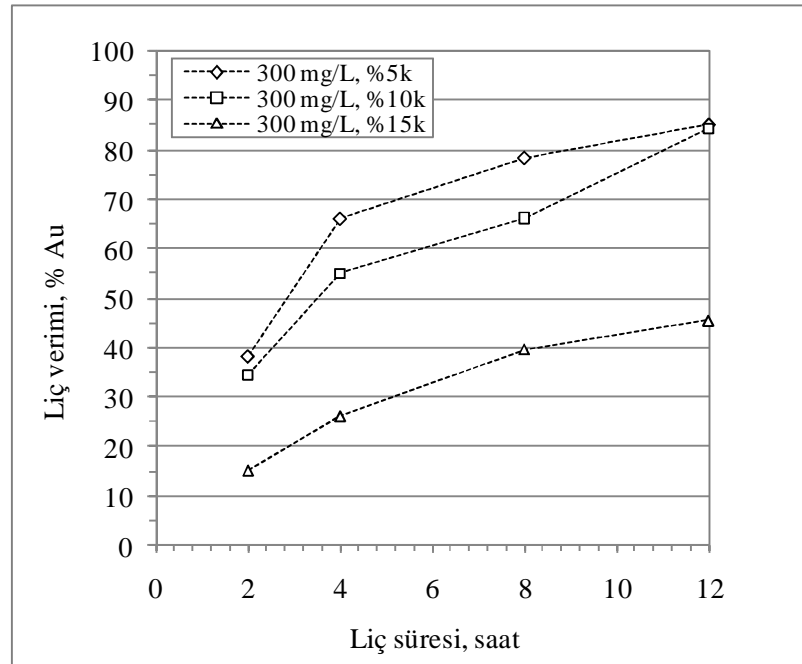
Ürünler	200 mg/L NaCN % 5 Katı Oranı Verim, %Au	200 mg/L NaCN % 10 Katı Oranı Verim, %Au	200 mg/L NaCN % 15 Katı Oranı Verim, %Au
2 saat	31,81	17,15	15,52
4 saat	51,72	27,60	25,18
8 saat	70,95	40,12	33,33
12 saat	80,64	65,36	49,16
NaCN tüketimi, g/t	3420	1980	2601



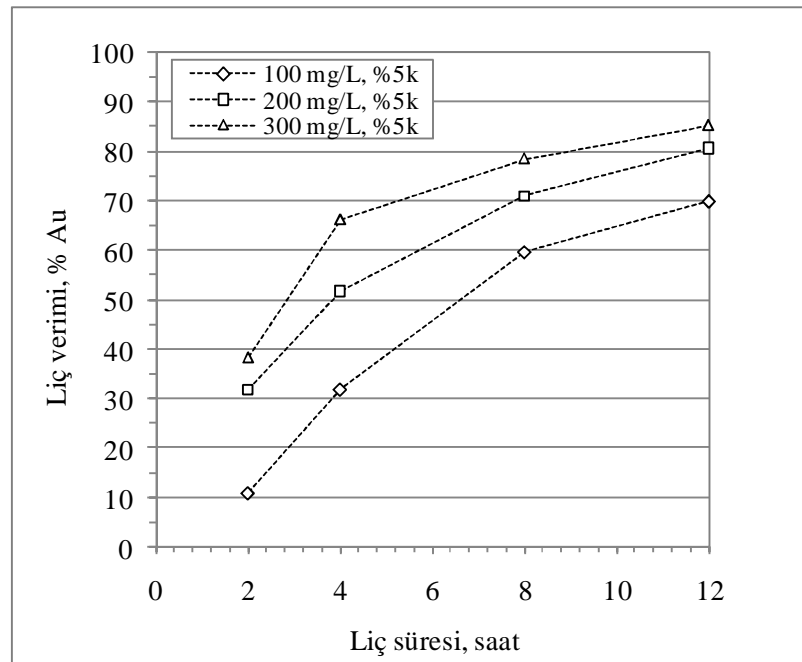
Şekil 7.66 Gravite ön konsantresinin 200 mg/L NaCN konsantrasyonunda farklı katı oranlarındaki verim eğrileri.

Tablo 7.29 Gravite ön konsantresi 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda katı oranı değişimine bağlı verim değerleri.

Ürünler	300 mg/L NaCN % 5 Katı Oranı Verim, %Au	300 mg/L NaCN % 10 Katı Oranı Verim, %Au	300 mg/L NaCN % 15 Katı Oranı Verim, %Au
2 saat	38,28	34,51	15,12
4 saat	66,11	55,07	26,12
8 saat	78,42	66,22	39,70
12 saat	85,14	84,34	45,52
NaCN tüketimi, g/t	3990	3960	4014



Şekil 7.67 Gravite ön konsantresinin 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda farklı katı oranlarındaki verim eğrileri.



Şekil 7.68 Gravite ön konsantresinin % 5 katı oranında NaCN konsantrasyonu değişimine bağlı verim eğrileri.

Şekil 7.68’de gravite ön konsantresinin farklı NaCN konsantrasyonlarının %5 katı oranında liç süresine ve verimine etkisi verilmektedir. 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda verimin 12 saatte %85’e çıktığı görülmektedir.

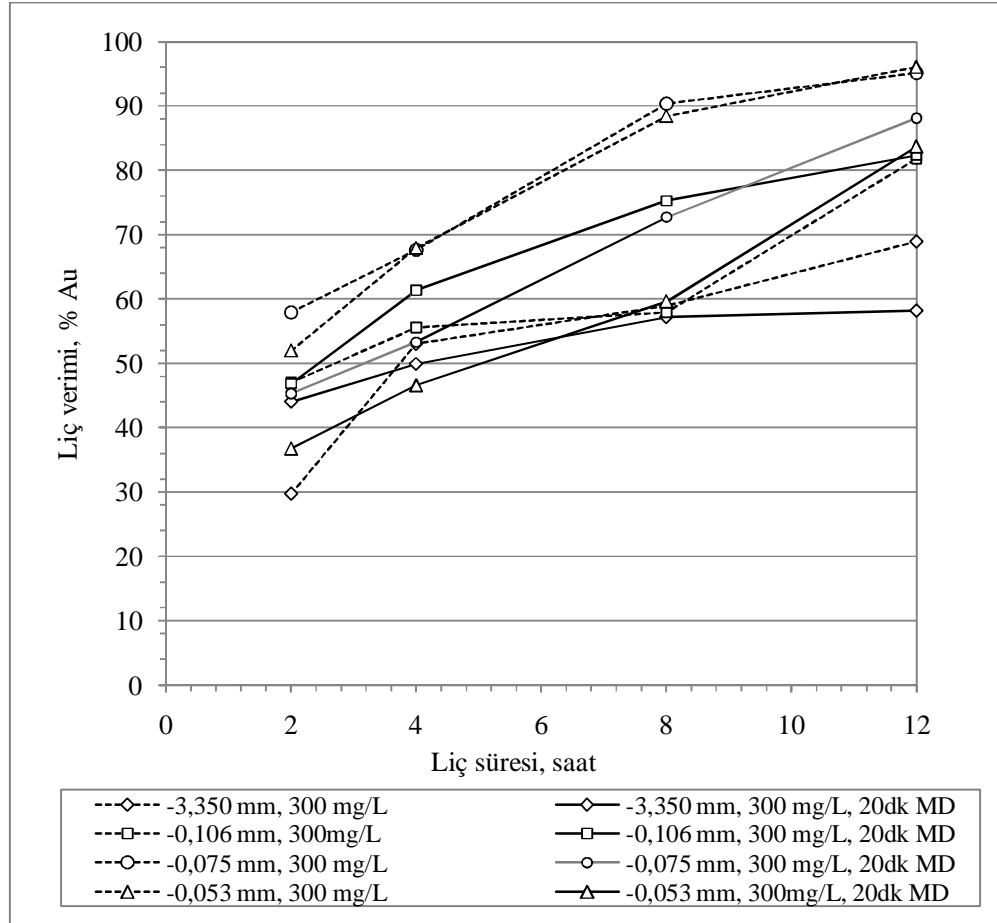
7.10.4 Mikrodalga Çalışmaları

7.10.4.1 Cevher Üzerinde Mikrodalga Çalışmaları

Deneyler 1600 mL’lik beherde yapılmıştır, toplam deney süresi 12 saat olup, 450 g malzeme kullanılmıştır. Deney sırasında ve sonunda çözültiden alikotlar alınarak siyanür tayini gümüş nitrat titrasyonu ile yapılmış ve siyanür tüketimleri hesaplanmıştır. Cevher -3,350 mm, -0,106 mm, -0,075 mm ve -0,053 mm olmak üzere dört ayrı tane boyutunda hazırlanmış ve her tane boyutuna 800 W gücünde 20 dk süreyle mikrodalga enerji uygulanmış daha sonra liç işlemine tabi tutulmuştur. NaCN konsantrasyonu 300 mg/L değerinde kullanılmıştır. Cevher ile ilgili tüm çalışmalar ağırlıkça %45 katı/sıvı (%45 k) oranında, 450 d/dk karıştırma hızında, 19-22°C hava sıcaklığı ve 28-32 mg/L oksijen ilavesinde yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 7.30 ve Şekil 7.69’de verilmiştir. Tablo 7.30’da görüldüğü gibi cevher tane boyutu küçüldükçe liç verimi artmaktadır. Bu beklenen bir sonuçtur. Şekil 7.69’de farklı tane boyutunda hazırlanan cevherin 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda 12 saatlik liç sonuçları mikrodalga öncesi ve sonrası karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Tablo 7.30 Cevherin 300 mg/l NaCN konsantrasyonunda 20 dk mikrodalga enerji ile muamelesi sonucu elde edilen verim değerleri.

Süre	-3,35 mm Verim, %Au	-0,106 mm Verim, %Au	-0,075 mm Verim, %Au	-0,053 mm Verim, %Au
2 saat	44,02	46,83	45,32	36,77
4 saat	49,88	61,38	53,29	46,58
8 saat	57,14	75,27	72,73	59,63
12 saat	58,18	82,37	88,15	83,74
NaCN tüketimi, g/t	491	374	340	591



Şekil 7.69 Farklı tane boyutlarına mikrodalga'nın etkisi

Tablo 7.30 ve Şekil 7.69'da görüldüğü gibi cevherde tane boyutu küçülmesi ile liç verimi mikrodalga öncesi artmaktadır. -0,075 mm tane boyutu ile -0,053 mm tane boyutu arasında verim farkı bulunmamaktadır. -3,350 mm tane boyutunun ise karıştırma liçi için uygun olmadığı görülmektedir. Tane boyutu küçüldükçe mikrodalga'nın etkisinin azalacağı daha önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Bu nedenle -0,053 mm'de mikrodalga sonrası verimde bir miktar düşüş olmasına rağmen NaCN tüketiminde çok büyük bir değişim olmamıştır. Buna karşılık -0,106 mm göz önüne alındığında mikrodalga öncesi verim % 81,89 Au iken mikrodalga sonrası verim %82,37 Au olmuştur. Verim değerlerinde çok fark olmamıştır fakat siyanür tüketimi neredeyse yarı yarıya düşmüştür. Mikrodalga öncesi siyanür tüketimi 650 g/t iken mikrodalga sonrası 374 g/t olmuştur. Bu büyük miktardaki düşüş altın kazanımını etkilememiş fakat öngörüldüğü gibi siyanür tüketen mineralleri oksitleyerek tüketim

miktarını düşürmüştür. Benzer durum -0,075 mm tane boyutunda da sözkonusudur. % verim mikrodalga sonrası %95,17'den %88,15'e düşmesine rağmen siyanür tüketimi mikrodalga sonrası 795 g/t'dan 340 g/t'a düşmüştür. Mikrodalğanın siyanür tüketimi azaltılmasına yönelik etkisi bu tane fraksiyonunda da görülmüştür. -0,106 mm ve -0,075 mm tane boyutları mikrodalga işlemi için uygundur.

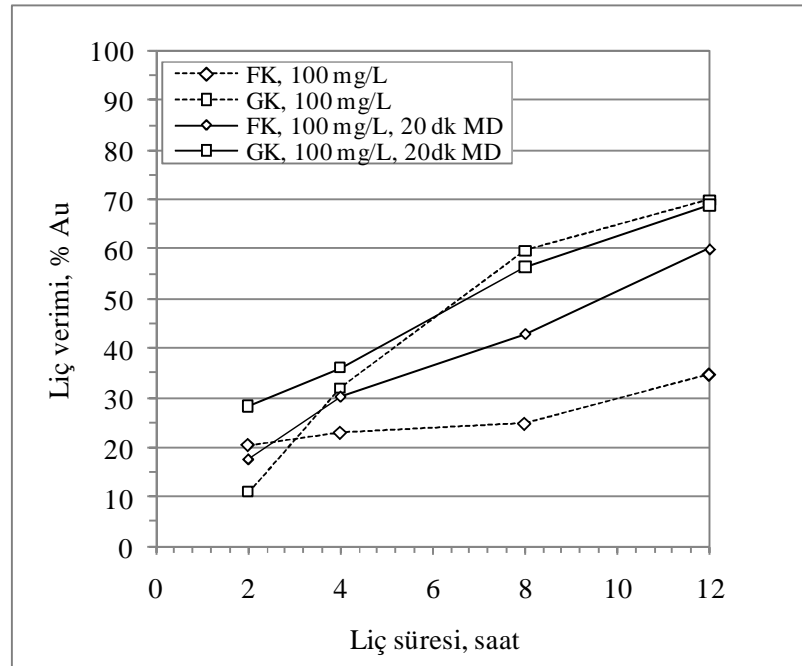
7.10.4.2 Konsantreler Üzerinde Mikrodalga Çalışmaları

Knelson Gravite Seperatör ön konsantresi ve flotasyon ön konsantresi 10, 20 ve 30 dakika süre ile 800 W gücünde mikrodalga işlemine tabi tutulmuş ardından 12 saatlik karıştırma liçi süresinde, 600 mL'lik beherlerde, %5 katı oranında, 300 g/t NaCN ilavesiyle 200 d/dk karıştırma hızında işlem görmüşlerdir. Oksijen ilavesi ortalama 30 mg/L olarak ayarlanmıştır. pH 10,5-11 arasında tutulmuştur. Hava sıcaklığı ortalama 19-23 °C'dir.

Tablo 7.31 Konsantrelerin 100 mg/L NaCN konsantrasyonunda 20 dk mikrodalga enerji ile muamelesi sonucu elde edilen verim değerleri.

Süre	Flotasyon ön konsantresi	Gravite ön konsantresi
	% 5 Katı Oranı Verim, %Au	% 5 Katı Oranı Verim, %Au
2 saat	17,51	28,29
4 saat	30,21	36,02
8 saat	42,88	56,36
12 saat	60,03	68,92
NaCN tüketimi, g/t	2314	2355

Mikrodalga sonucu uygulanan liç işleminde NaCN konsantrasyonu 100 mg/l olarak alınmıştır. Bu deney cevherin mikrodalgaya tepkisini görebilmek için ön deney niteliğindedir. NaCN konsantrasyonu düşük tutulmuş ve yeterliliği hakkında bilgi edinilmiştir. Tablo 7.31'de görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar daha önce mikrodalgaya tabi tutulmayan liç sonuçları ile karşılaştırıldığında gravite konsantresinde belirgin bir değişme olmamıştır fakat flotasyon konsantresi %35 verimden %60 verime çıkmıştır. Bu durum Şekil 7.70'de de görülmektedir.

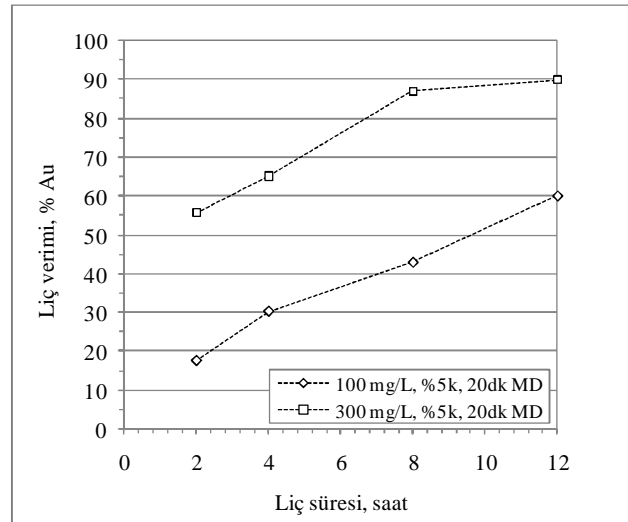


Şekil 7.70 Flotasyon konsantresi ve gravite konsantresinin mikrodalga ortamındaki liç sonuçlarının karşılaştırmalı olarak gösterimi.

Tablo 7.32 Flotasyon konsantresinin mikrodalga enerji süresi değişimi ile elde edilen verim değerleri (300 mg/L NaCN, %5 k).

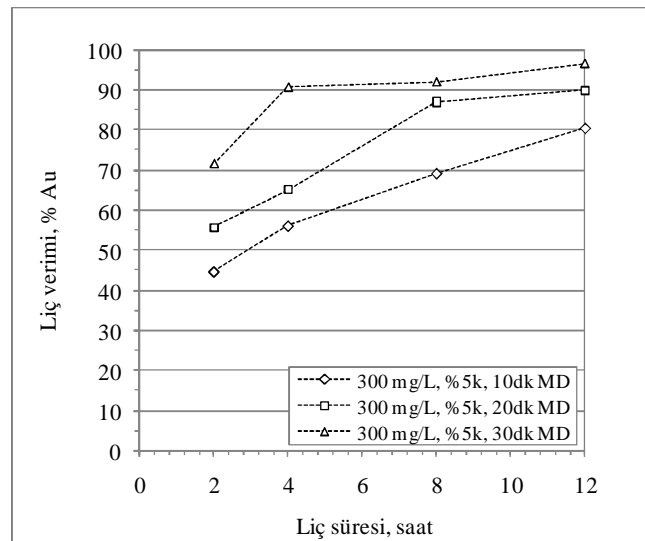
Süre	10 dk MD	20 dk MD	30 dk MD
	Verim, %Au	Verim, %Au	Verim, %Au
2 saat	44,70	55,64	71,57
4 saat	56,10	65,07	90,69
8 saat	69,13	86,99	92,01
12 saat	80,39	89,91	96,62
NaCN tüketimi, g/t	5415	3610	7412

Tablo 7.32’de görüldüğü gibi 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda, 20 dk mikrodalga işlemiyle verim 100 mg/L NaCN konsantrasyonunda %60 Au verimi artarak %90 Au verimine ulaşmıştır. Bu durum Şekil 7.71’de de görülmektedir.



Şekil 7.71 Flotasyon konsantresinin mikrodalga enerji ile muamelesine NaCN konsantrasyonunun etkisi.

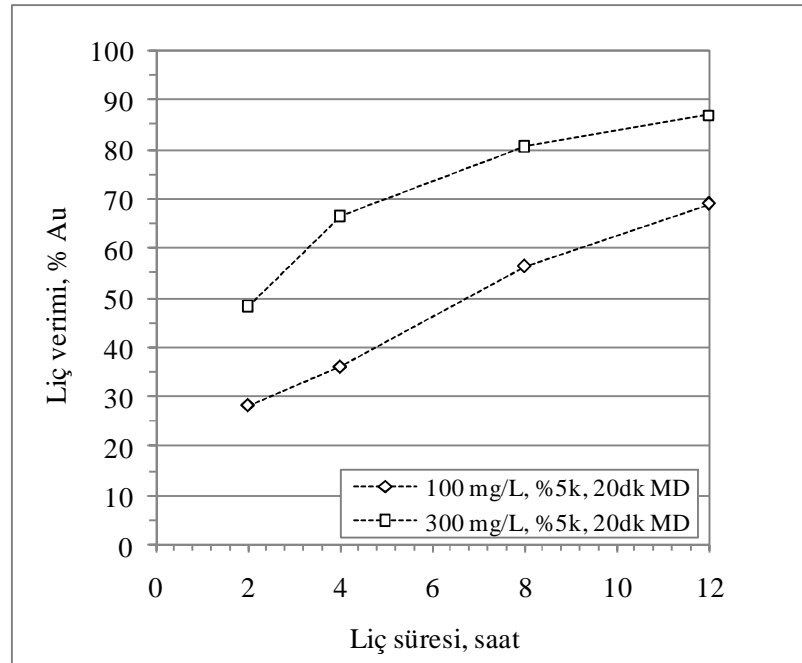
Şekil 7.72’de görüldüğü gibi mikrodalga enerji süresi arttıkça verim de artmaktadır. 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda %5 katı oranında 30 dk mikrodalga ve 12 saatlik lıç süresi sonunda -0,106 mm tane iriliğinde flotasyon konsantresi için lıç verimi %97’dir. Mikrodalga öncesi aynı şartlardaki lıç işleminde verim %65 iken mikrodalga sonrası verimdeki bu artış sülfürlü yapıya sahip flotasyon konsantresinin mikrodalga şartlarında oksitlendiğı ve lıç işlemini kolaylaştırdığını göstermektedir.



Şekil 7.72 Flotasyon ön konsantresine 300 mg/l NaCN konsantrasyonunda mikrodalga enerji süre değışiminin etkisi.

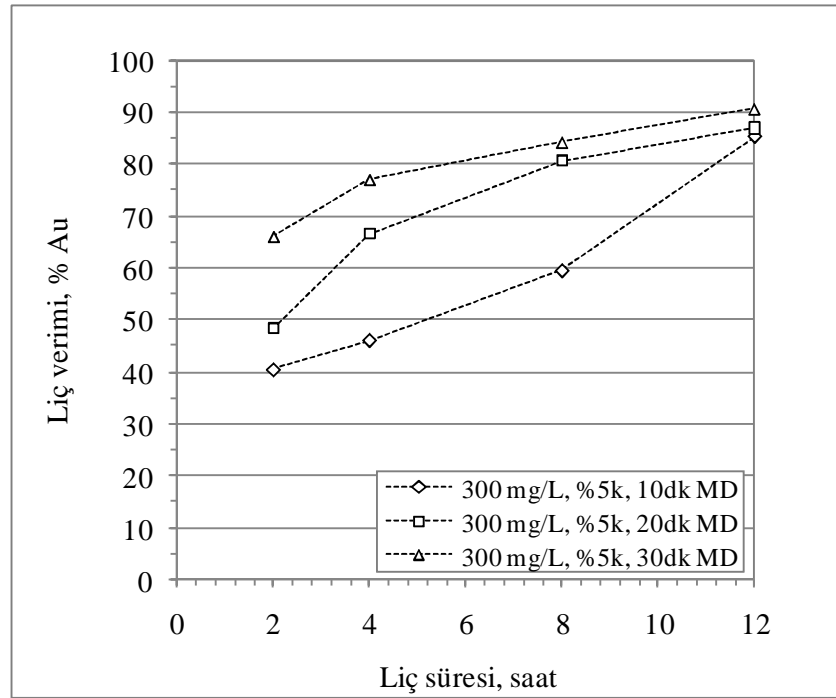
Tablo 7.33 Gravite ön konsantresinin mikrodalga enerji süresinin değişimi ile elde edilen verim değerleri (300 mg/L NaCN, %5 k).

Süre	10 dk MD Verim, %Au	20 dk MD Verim, %Au	30 dk MD Verim, %Au
2 saat	40,46	48,31	65,94
4 saat	46,08	66,60	76,94
8 saat	59,44	80,58	84,14
12 saat	85,16	86,97	90,59
NaCN tüketimi, g/t	4788	8417	9223



Şekil 7.73 Gravite ön konsantresinin mikrodalga enerji ile muamelesine NaCN konsantrasyonunun etkisi.

Tablo 7.33'de görüldüğü gibi 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda, 20 dk mikrodalga işlemeyle verim 100 mg/L NaCN konsantrasyonunda %69 Au verimi artarak %87 Au verimine ulaşmıştır. Bu durum Şekil 7.73'de de görülmektedir.

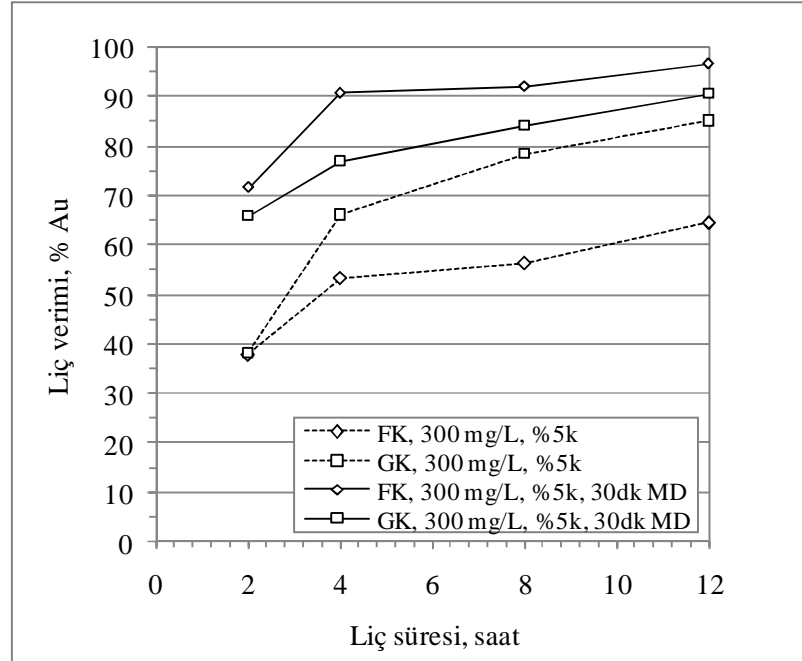


Şekil 7.74 Gravite ön konsantresine 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda mikrodalga enerji süre değişiminin etkisi.

Şekil 7.74’de görüldüğü gibi mikrodalga enerji süresi arttıkça verim de artmaktadır. 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda %5 katı oranında 30 dk mikrodalga ve 12 saatlik liç süresi sonunda -0,106 mm tane iriliğinde Knelson konsantresi için liç verimi %91’dir. Sonuçlar incelendiğinde daha çok oksitli yapıya sahip Knelson konsantresinin mikrodalga şartlarındada oksitlendiği görülmüştür. Ayrıca aynı şartlarda mikrodalgaya tabi tutulmadan yapılan liç işleminde %85 verim elde edilmiştir.

Şekil 7.75’de karşılaştırmalı olarak konsantrelerin mikrodalga öncesi ve mikrodalga sonrası süreye bağlı verim eğrileri hazırlanmıştır. Eğrilerden anlaşılacağı gibi 12 saat sonunda gravite konsantresinin (GK) mikrodalga işlemi ile verim değişimi çok fazla olmamasına rağmen flotasyon konsantresinin (FK) verimi dikkate değer şekilde değişmiştir. Bu durum flotasyon konsantresinin sülfürlü olarak kazanılması nedeniyle mikrodalga işlemine cevap verdiğini, Knelson konsantresinin ise içeriğinde metal oksitlerin yüksek miktarda olması nedeniyle verimi çok fazla

değiştirmediğini göstermiştir. Bu durum mikrodalga işlemine tabi tutulmadan önceki liç verimiyle de benzerlik göstermektedir.



Şekil 7.75 Flotasyon ve gravite ön konsantrelerine mikrodalganın etkisi.

7.10.5 Mikrodalganın Liç Çalışmalarında Siyanür Tüketimine Etkisi

Çalışmalarda daha önceki kısımlarda bahsedildiği gibi -3,35; -0,106; -0,075; -0,053 mm olmak üzere 4 farklı tane boyutlu cevher kullanılmıştır. Aynı şartlarda 12 saatlik liç işlemi yapılmıştır ve siyanür tüketimleri hesaplanmıştır. Her bir tane boyutuna 20 dk 800 W mikrodalga gücü uygulandıktan sonra yine aynı şartlarda liç yapılmıştır. Sodyum siyanür tüketimleri hesaplanmıştır. Sonuçlar daha önceki kısımlarda ayrı ayrı verilmişti. Cevher için bu sonuçların karşılaştırmalı olarak birleştirilmiş hali Tablo 7.34'de verilmektedir. Deneyler %45 katı oranında, 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda yapılmıştır.

Tablo 7.34 20 dk mikrodalga işleminin cevher liçinde siyanür tüketimine etkisi.

Cevher tane boyutu, mm	-3,35	-0,106	-0,075	-0,053
MD öncesi verim, %Au	68,19	81,89	95,17	96,10
MD sonrası verim, %Au	58,18	82,37	88,15	83,74
MD öncesi NaCN tüketimi, g/t	606,46	649,87	794,48	574,19
MD sonrası NaCN tüketim, g/t	514,71	373,71	382,56	605,36
MD kullanımı ile NaCN tüketiminin azaltılma oranı,%	15,13	42,49	51,85	-

Tablo 7.34’de görüldüğü gibi -3,35mm, -0,106 mm ve -0,075 mm’de mikrodalga işlemini takiben yapılan liçte altın kazanımına çok fazla etki etmemiştir ancak siyanür tüketimini sırasıyla % 15,13, %42,49 ve %51,85 oranında azaltılmıştır.

Tablo 7.35 incelendiğinde mikrodalğanın Knelson konsantresi için çok uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Buradaki etki cevherdeki sonuçlardan farklı olarak siyanür tüketiminin artmasının yanında liç veriminide artırmaktadır.

Tablo 7.35 20 dk mikrodalga işleminin Knelson ön konsantre liçinde siyanür tüketimine etkisi.

	Knelson Konsantresi
MD öncesi verim, %Au	85,14
20 dk MD sonrası verim, %Au	86,97
MD öncesi NaCN tüketimi, g/t	3990,00
20 dk MD sonrası NaCN tüketimi, g/t	8417,00

Tablo 7.36 20 dk mikrodalga işleminin flotasyon ön konsantre liçinde siyanür tüketimine etkisi.

	Flotasyon Konsantresi
MD öncesi verim, %Au	64,60
20 dk MD sonrası verim, %Au	89,91
MD öncesi NaCN tüketimi, g/t	4180,00
20 dk MD sonrası NaCN tüketim, g/t	3610,00

Flotasyon konsantresine uygulanan 20 dk mikrodalga ile NaCN % 14 oranında azaltılmıştır. Ayrıca burada Au verimi %64,60’dan %89,91’e çıkmaktadır.

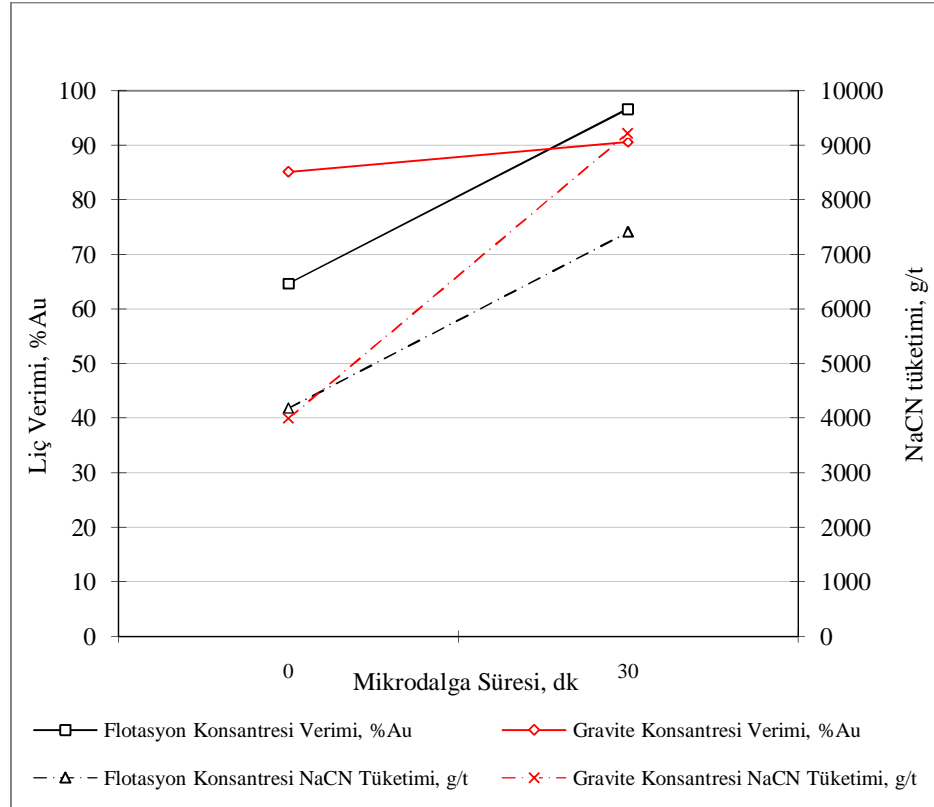
Kullanılan siyanürün bir miktarında altın kazanımı esnasında harcandığı göz önüne alındığında NaCN oranında daha fazla azalma olduğu anlaşılmaktadır.

Diğer bir taraftan kullanılan numune flotasyon konsantresi değilde aynı tenörlü cevher olsa idi siyanür tüketimi 4180 g/t değil yaklaşık olarak 5387 g/t olacaktır. Bu durum ise siyanür tüketimini %28 oranında artıracaktır. Bu durumda liç işleminin cevher yerine konsantreye uygulanması ile %28'lik bir siyanür tüketiminde azalma sağlanmıştır.

Flotasyon konsantresine 20 dk mikrodalga uygulanmıştı bu durumda yine aynı tenörlü cevhere uygulandığı düşünülürse %33,65 oranında bir siyanür artışı söz konusu olacaktır.

30 dk mikrodalga işlemi ile %97 verime ulaşılmıştır. Burada siyanür tüketimi yüksektir. Fakat aynı tenörlü konsantrenin cevher olduğu düşünüldüğünde %97'lik bir Au verimine ulaşmak için %47,55'den daha fazla siyanür kullanılması gerekecektir. Üstelik 4180 g/t NaCN tüketildiğinde verim %64,60 iken 30 dk mikrodalga sonrası %97 olmuştur. Bu artışın bir kısmında altın kazanımı sağlamaktadır.

Şekil 7.76'da görüldüğü gibi 20 dk MD işleminin ardından gravite konsantresi için NaCN tüketimindeki artışa rağmen Au kazanımında çok büyük bir fark olmamış, %85 verimden %91 verime çıkmış oysaki NaCN tüketimi oldukça fazla bir artış göstermiştir. Bunun nedeni siyanürün metallerle olan etkileşimidir. Gravite konsantresi metal ağırlıklı fiziksel özelliğe sahiptir, bu durum siyanür tüketimini de artırmıştır. Ancak flotasyon çalışmaları sülfürlü minerallere göre yapılmış ve elde edilen konsantrede sülfür içeriği yüksek değerdedir. Bu nedenle mikrodalga ile kavurma işlemine cevap vermiş ve konsantre mikrodalga işlemi öncesi yaklaşık %66 Au kazanımını verirken 30 dk mikrodalga kavurması sonucu verim %97'ye ulaşmıştır. NaCN tüketimi ise kazanıma paralel olarak artmaktadır.



Şekil 7.76 Konsantrelerin verim ve NaCN tüketimi açısından karşılaştırması.

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇLAR

Türkiye, dünyada en çok altın ithal eden ülkeler arasında yer almaktadır. Son 5 yılda toplam 1.100 ton altın ithal edilmiştir (yıllık ortalama 222 t). Buna karşılık, gerçekleşen altın üretimi ise ancak ithalatının %5'i kadardır. 2001 ve 2002 üretimleri sırasıyla 1,4 t ve 4,3 t, 2008 yılı gerçekleşen altın üretimi 11 t, 2009 ve 2011 yılı için tahmini altın üretimleri ise sırasıyla 16 ve 38 tondur. Mevcut altın potansiyeli ve üretim artışları dikkate alındığında gelecek 10 yıl içerisinde, üretimin yıllık 70-80 t'a ulaşacağı beklenmektedir (Köse ve Oygür, 2009). Öngörülen üretim hedeflerine ulaşıldığında, üretim artışına bağlı olarak siyanür tüketimi de artacaktır.

Araştırmada kullanılan numunenin cevher yatağı damar tipi epitermal yataklanma olup kuvars, ortoklas, pirit ve götit'ten oluşmaktadır. Altın tenörü ortalama 7 g/t'dur. Ayrıca cevher, 50 g/t gümüş, 277 g/t bakır ve 2592 g/t kurşun içermektedir. Cevher içindeki sülfürlü mineraller pirit, pirotit, kalkopirit, galen, sfalerit ve bu minerallerin okside olmuş ürünleridir. Altının tane boyutu genellikle 3 ile 50 mikron arasında değişmektedir. Altın kuvars ve karbonat içinde serbest halde fakat sülfürlü mineraller içinde bağlı olarak bulunmaktadır. Cevher içindeki altının serbestleşme boyutu 100 mikron altındadır.

Cevherin konvansiyonel siyanür liçi -3,35 mm, -0,106 mm, -0,075 mm ve -0,053 mm olmak üzere dört ayrı tane boyutunda yapılmıştır. Liç işleminde sodyum siyanür (NaCN) kullanılmıştır. NaCN konsantrasyonu 300 mg/L, 600 mg/L ve 1000 mg/L değerlerinde çalışılmış, liç süresine ve verimine etkisi araştırılmıştır. Cevher liçi optimum sonuçlarına 450 d/dk'da mekanik karıştırıcı hızında, 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda, %45 katı oranında, ortalama 30 mg/L saf oksijen ortamında, 12 saat sonunda -0,106 mm tane boyutu için %82 Au, -0,075 mm tane boyutu için %95 Au, -0,053 mm tane boyutu için %96 Au verimine ulaşılmıştır.

Cevher liçi çalışmalarında tane boyutu düştükçe verimin arttığı gözlenmiştir. Fakat -0,075 mm ve -0,053 mm tane boyutları için verim değerleri birbirine yakın olarak elde edilmiştir. -0,053 mm tane boyutunda verimde beklenen artışın olmaması cevherin çok ince öğütülmesi nedeniyle şlam boyutuna geçmesi ve içinde bulunan kil minerallerinin liç işlemini zorlaştırmasından ileri geldiği şeklinde değerlendirilmiştir. Cevherin konvansiyonel liçinde öğütme masrafından kaçınmak ve şlam boyutuna geçmeyi engellemek için -0,075 mm kabul edilir tane boyutu olarak alınmıştır.

Cevhere konvansiyonel olarak direkt siyanür liçi uygulandığında -0,106 mm tane boyutu için zenginleştirme liç verimi %82'dir. -0,075 mm tane boyutu için %95, tane boyutu -0,053 mm'ye düştüğünde ise verim %96'ya çıkmıştır. Flotasyon çalışmalarında ve Knelson konsantratör çalışmalarında ön konsantreler -0,106 mm tane boyutundak malzemelerden hazırlanmıştır. Bu nedenle karşılaştırma da -0,106 mm tane boyutu cevher liçi içinde baz alınmıştır.

Knelson ön konsantresi hazırlama çalışmaları -0,212 mm, -0,106 mm ve -0,075 mm tane boyutlarında, yerçekimi ivmesi 60G, 90G ve 120G olmak üzere 3 farklı G kuvvetinde, 14 kPa, 28kPa ve 55 kPa su basınçlarında, %25-30 katı/sıvı oranında MD3 tip Knelson Konsantratör ile yapılmıştır. En uygun sonuçlara -0,106 mm tane boyutunda, 120G yerçekimi ivmesinde, 28 kPa su basıncında, %60 Au verimi ve 53 g/t Au tenörü ile ulaşılmıştır. Elde edilen bu konsantre ile siyanür tüketimini arttıran cevher içindeki diğer minerallerin bir kısmı liç işlemi öncesinde ortamdaki uzaklaştırılmıştır.

Flotasyon ön konsantreleri için en uygun sonuçlar -0,106 mm tane boyutunda 0,1 kg/t NaHS, 1 kg/t Na₂SiO₃, 200 g/t CuSO₄, 100 g/t Aero350, 100 g/t çamyağı ile %69Au verim ve 65 g/t Au tenöründe elde edilmiştir (Tufan, 2010).

Gravite ve flotasyon ön konsantreleri ile yapılan liç işleminde NaCN 100 mg/l, 200 mg/l, 300 mg/L konsantrasyonlarında, %5, %10 ve %15 katı sıvı oranlarında çalışılmıştır. Knelson ön konsantresi ile yapılan liç çalışmaları ile en uygun sonuca 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda, %5 katı oranında, 200 d/dk mekanik karıştırıcı

hızında, 30 mg/L saf oksijen ilavesi ile 12 saat sonunda, %85 Au verimine ulaşılmıştır. Flotasyon ön konsantresi ile yapılan liç çalışmalarında ise en uygun sonuca 300 mg/L NaCN konsantrasyonunda, %5 katı oranında, 200 d/dk mekanik karıştırıcı hızında, 30 mg/L saf oksijen ilavesinde 12 saat sonunda, %65 Au verimi ile ulaşılmıştır.

Cevhere; flotasyon ve Knelson ön konsantrelerine mikrodalga testleri yapılmış cevher için 20 dk, konsantreler için 10 dk, 20 dk ve 30 dk, 800 W gücünde mikrodalga enerjiyle muamele edilmiş ürünlerin liç yapılmasına karar verilmiştir.

Cevher ile mikrodalga çalışmaları sonucu mikrodalga'nın cevher üzerine uygulanmasında herhangi bir verim artışı görülmemiştir fakat NaCN tüketimi -3,35 mm tane boyutunda %15, -0,106 mm tane boyutunda %42 ve -0,075 mm tane boyutunda %52 oranında azalmıştır. Mikrodalga ön işlemi sırasında, pirit ve arsenopirit gibi sülfürlü minerallerin yüksek sıcaklıkta oksidasyonu ile birlikte iç bünyede biriken gaz basıncının meydana getirdiği kırık ve çatlak gibi yapısal değişimlerle özgül yüzey alanında belirgin bir artış sağlanmaktadır (Beeby 1992, Huang 2000). Mikrodalga ile muamele ve müteakip liç işlemi, Au kazanma verimi üzerinde olumlu bir etki yapmakta, sülfürlü yapıların oksidasyonu ile siyanür tüketiminide azaltmaktadır.

Flotasyon konsantresine uygulanan 20 dk mikrodalga ışması ile NaCN kullanımını %14 oranında azaltılmıştır. Ayrıca 20 dk mikrodalga ile muamele sonucu Au verimi %65'den %90'a çıkmıştır.

Konsantrelere uygulanan mikrodalga işlemi sonucu flotasyon ön konsantresinin 12 saat sonunda mikrodalga işlemine tabi tutulmadan %65 olan veriminin 30 dk mikrodalga işlemine tabi tutulduktan sonra aynı şartlarda yapılan liç işleminden %97 verim elde ettiği görülmüştür. Gravite konsantresi ise mikrodalgaya tabi tutulmadan yapılan 12 saatlik liç işlemi sonrası verim yaklaşık %85 iken 30 dk'lık mikrodalga işlemi sonucu verim % 92'ye çıkarılmıştır. Bu durumun yaklaşık 13 kat

zenginleştirilerek elde edilmiş konsantreye uygulanmış olduğu göz önüne alınması gerekmektedir.

Flotasyon ve mikrodalga ön işlemleri sonrası altın kazanma veriminin gravite zenginleştirme ve mikrodalga ön işleme nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür. Altın kazanma verimindeki bu farklılık mikrodalga öncesi elde edilen ön konsantrelerin boyutlarının farklı oluşları ile ilişkilendirilmiştir. Ön konsantrelerin tane irilikleri incelendiğinde flotasyon ön konsantresinin Knelson ön konsantresine nazaran çok daha ince dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. İnce tanelerin iri tanelere göre daha kısa sürede liç işlemine cevap verdiği bilinmektedir. Örneğin 150 mikronluk saf bir altın tanesi için teorik liç süresi 44 saattir (Feather ve ark., 1973). İri tanelere nazaran ince tanelerin mikrodalga ışınlarını daha kolay absorbe etmesi sonucu, sülfürlü minerallerin daha fazla okside ettiği ve cevher içerisinde makro ve mikro çatlaklar oluşturduğu şeklinde değerlendirilmiştir. O nedenle flotasyon ve mikrodalga ön işlemleri sonucu oluşan çatlaklı yapıdaki okside yapının liç verimi yüksek çıkmıştır (Salsman, Williamson, Tolley ve Rice, 1996).

Ön konsantre liçi sonuçları incelendiğinde konsantrenin üretim şeklinin (Gravite ya da flotasyon) altın liçi verimini farklı etkilediği görülmüştür.

Cevher yerine flotasyon konsantresine yapılan liç işlemi ile %28, flotasyon işlemini takiben 20 dk mikrodalga uygulaması ve ardından liç ile %33,65 ve yine flotasyon konsantresine 30 dk mikrodalga ardından liç işlemi ile %47,55 NaCN tüketiminde azalma olmuştur.

Ancak, bu çalışmalar çoğu kez mikrodalga teknolojisinin uygun parametrelerinin sağlanamadığı şartlarda (düşük güç seviyeleri, yüksek uygulama süreleri gibi) gerçekleştirilmiştir. Optimal parametre koşullarında NaCN tüketiminin dahada düşeceği beklenmektedir. Mikrodalga ısıtmanın genel endüstriyel uygulamaları ise oldukça yavaş gelişmektedir. Bu teknolojinin gelişmesinin önünde madencilik sektörünün kendine özgü zorlukları (örneğin yüksek tonajlı beslemelerin söz konusu olması gibi) ile birlikte yüksek yatırım maliyeti ve gerçekçi olmayan teknolojik

beklentiler önemli engel oluşturmaktadır. Özellikle çok kısa sürelerde yüksek güç çıktıları veren mikrodalga jeneratörlerin geliştirilmesi ve çok hızlı (0,1 sn gibi) ısıtmaya elverişli yüksek elektrik alan gerilimi oluşturacak rezonans boşluk sistemlerin tasarımı ile birlikte ekonomik enerji girdilerinin oluşturulması sonucunda bu teknolojinin madencilik ve kömür endüstrisinde uygulama alanı bulması söz konusu olabilecektir. Bu itibarla; fizik, elektrik ve elektronik mühendisliği, cevher hazırlama ve kimya mühendisliği gibi disiplinlerin ortak işbirliği ile çok-disiplinli bir yaklaşım ortaya konulması halinde endüstriyel sistemlerin geliştirilmesi ve hayata geçirilmesi mümkün olabilecektir.

Sonuç olarak, refrakter olarak adlandırılan tüm altın yatakları için gravite + NaCN liç kombinasyonu veya flotasyon + NaCN liç kombinasyonu alternatif bir akım şeması olarak önerilebilir. Özellikle Türkiye’de, masif sülfürlü yataklardan; Küre – Aşıköy ve Bakibaba, Artvin – Borçka ve Seyitler, Keban – Zeytindağı, Rize – Çayeli ve benzeri yatakların petrografik ve teknolojik testlerinin uygunluğu test edildikten sonra bu yöntem başarıyla uygulanabilir. Böylece, liç işleminin cevher yerine ön konsantreye uygulanmasıyla yüksek altın kazanma verimi, kısa liç süresi, NaCN tüketimi azaltılmış, siyanür bozundurma maliyeti düşürülmüş siyanür atık havuzlarının boyutları küçültülmüş ve siyanürün buharlaşma sonucu havaya karışması önemli oranda azaltılmış olacaktır (Küçükgül 1987, Peker 1992).

KAYNAKLAR

- Acarkan, N. (1997). Altın - gümüş üretiminde modern yöntem: siyanür prosesi. A. E. Yüce ve G. Önal (Ed), *Altın Madenciliği ve Çevre* içinde (61-77). Yurt Madenciliği Geliştirme Vakfı Yayınları, Ankara.
- Akdağ, M. (1992). *Hidrometalurji* (2. Baskı). Mühendislik Mimarlık Fakültesi Basım Ünitesi, No 88, İzmir.
- Al-Harashsheh, M. ve Kingman, S.W. (2004). Microwave assisted leaching – a review. *Hydrometallurgy*, 73, 189-203.
- Alp, İ., Celep, O., Tüysüz, N., Vıçıl, M. ve Lermi, A. (2003). Mineralojik yapının cevher zenginleştirme işlemine etkisi: Mastra ve Kaletaş (Gümüşhane) altın cevherleri üzerine örnek bir çalışma. *Türkiye 18. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, 147-153.
- Amankwah, R. K., Pickles, C.A. ve Yen W.T. (2005). Gold recovery by microwave augmented ashing of waste activated carbon. *Minerals Engineering*, 18, 517-526.
- Andreazza J. (1988). Private communication. *Manager Stawell Gold Mine*.
- Anonim (2008). Madencilik sektörü ve altın madenciliği. *Altın Madencileri Derneği Dergisi*, 24-25.
- Anonim (15 Ocak 2010a). Tüprag, online (08 Mayıs 2010), <http://www.tuprag.com.tr/page.php?ID=90>
- Anonim (10 Mayıs 2010b). Efemçukuru, online (24 Mayıs 2010), <http://www.tuprag.com.tr/page.php?ID=80>
- Arslan, F., Yüce, A. E., Acarkan, N., Dinçer, H. ve Önal G. (2005). Türkiye'deki çeşitli cevherlerden değerli metallerin kazanılması. H. Dinçer, S. Kırıkoglu, O. Kural, G. Önal, (Ed), *Uluslararası Değerli Taşlar ve Metaller Sempozyumu Bildiri Kitabı* içinde (89-104), İstanbul.

- Arslan, F., Özikinci, T. ve Perek, K. T. (2009). Kışladağ (Uşak) altın cevherinin siyanür liçi. *Türkiye 21. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Antalya* 521-528.
- Arslan, F., Müdüroğlu, M. ve Perek, K. T. (1999). Artvin – Cerattepe yöresi altın ve gümüş içeren cevherlerin hidrojen peroksit katkılı siyanür liçi. S. Atak, G. Önal, F. Arslan ve K. T. Perek (ed). *Cevher ve Kömür Hazırlamada Yenilikler* içinde (433-437), Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları.
- Arslan, F., Özdamar, D.Y., Dinçer, H. ve Gürkan, V. (1999). Artvin Cerattepe yöresi altın ve gümüş içeren cevherlerin siyanür ile çözündürülmesi. *Metalurji*, 23(122), 16-21.
- Bayraktar İ. ve Yarar, B. (21.05.2010). Altın cevherlerinin zenginleştirilmesi ve altının ekstraksiyonu, www.maden.org.tr/resimler/ekler/f88c7c5d7d94ae0_ek.pdf
- Beeby, J. P. (1992). The recovery of a valuable species from an ore, Patent No. WO92/18249.
- Bellamy S.R., House C.I. ve Veal C.J. (1989). Recovery of fine gold from a placer ore by coal gold agglomeration. *Gold Forum on Technology and Practices*, S.M.E., Littleton Colorado, USA.
- Bernstein, L. P. (2008). *Altının gücü*. (L. Konyar, Çev). Skala Yayıncılık.
- Bows, J. R. (1999). Variable frequency microwave heating of food, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 34(4), 227-238.
- Brierly, C., L. (1995). Bacterial oxidation: master key to unlock refractory gold ores?, *Engineering & Mining Journal*, 196(5), 42-44.
- Celep, O., Alp, İ., Deveci, H. ve Yılmaz T. (2005). Knelson santrifüj ayırıcısı ile mastra altın cevherinin zenginleştirilmesi. H. Dinçer, S. Kırkoğlu, O. Kural, G. Önal, (Ed), *Uluslararası Değerli Taşlar ve Metaller Sempozyumu Bildiri Kitabı* içinde (105-113), İstanbul.

- Celep,O., Alp, İ., Deveci, H., Yazıcı, R., Vıcıl, M. ve Duran, C. (2006a). Gravite zenginleştirme siyanüre alternatif midir?: mastra (gümüşhane) örneği. C. Demir ve A.O. Yılmaz, (Ed), *Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı* içinde (293-298), Trabzon.
- Celep,O., Alp, İ., Deveci, H., Yılmaz, T., Vıcıl, M. ve Duran, C. (2006b). Ordu – Akoluk cevherinden siyanür liçi ile altın gümüş kazanımı. C. Demir ve A.O. Yılmaz, (Ed), *Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı* içinde (335-339), Trabzon.
- Chan, T. V. C. T. ve Reader, C. R. (2000). Understanding Microwave Heating Cavities. Artech Hause, ISBN 1-58053-094-X Boston-London, 9-35.
- Chandraprabha M. N., Modak J. M., Natarajan K .A., Raichur A. M. (2002). Strategies for efficient start-up of continuous biooxidation process for refractory gold ores. *Minerals Engineering*, 15, 751–753.
- Chen, T. T., Dutrizac, J. E., Haque, K. E., Wyslouzil, W. ve Kashyap, S. (1984). The relative transparency of minerals to microwave radiation. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 23 (3), 349-351.
- Chunpeng, L., Yousheng, X., Yixin, H. (1990). Application of microwave radiation to extractive metallurgy. *Chin. J. Met. Sci. Technol.* 6(2), 121–124.
- Çelik H. (21.05.2010). Cevher mineralojisine göre altın üretim yönteminin tayini. www.bayar.edu.tr/~somamyo/files/O204S14.pdf
- Çelik, M. ve Karakaya, N. (1998). Doğal elementler. *Sistematik mineraloji*, içinde (221-224). Ankara: Bizim Büro basımevi.
- Çilingir, Y. (1990). Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri Cilt 1 DEÜ Müh.-MimFak. MM/MAD-90 EY 198, İzmir.
- Dadgar, A. (1989). Refractory Concentrate Gold Leaching: Cyanide vs. Bromine. *Journal of The Minerals, Metals and Materials Society* 41(2), 37-41.

- Dincov, D.D., Parrott K.A. ve Pericleous, K.A. (2004). Heat and mass transfer in two-phase porous materials under intensive microwave heating, *Journal of Food Engineering*, 65(3), 403-412.
- Deusic, S. D., Pavlica, J. J. ve Gomes, F. S. (1999). Altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde şlamın etkisi. S. Atak, G. Önal, F. Arslan ve K. T. Perek (ed). *Cevher ve Kömür Hazırlamada Yenilikler*. Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları (367-401).
- Devlet Planlama Teşkilatı [DPT] (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas komisyonu raporu. Metal Madenler Alt Komisyonu Değerli Metaller Çalışma Grubu, Ankara.
- Doğan, Ö. S. (2005). Türkiye’de altın madenciliği. *İÜ Edebiyat Fak. Coğrafya Böl. Coğrafya Dergisi*, 13, 150-157.
- Erdem, B. (2006). *İkincil kaynaklardan altın geri kazanım ve rafinasyon prosesinin optimizasyonu*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ersoy, G., (1996), Siyanür ve Altın. *Bilim ve Teknik*, 343, 96-97.
- Eskibalçı, F. (2007). *Cevher hazırlama ve zenginleştirmede mikrodalga enerjisinin kullanılabilirliğinin araştırılması*. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Feather, C.E. ve Koen, G.M. (1973). The significance of mineralogical and surface characteristics of gold grains in the recovery process. *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy*, 73, 223-234.
- Ford, J. D. ve Pei, D. C. T. (1967). High temperature chemical processing via microwave absorption. *Journal of Microwave Power*, 2 (2), 61– 64.
- Galema, S. A., (1997). Microwave chemistry. *Chemical Society Reviews* 26, 233-238.

- Google Earth. (2010). 25 Mayıs 2010, ver. 5.1.3535.3218. 14 Nisan 2010, server: kh.google.com.
- Gökçe, A. (1995). Özel Maden Yatakları. *Maden yatakları*, içinde (133-140). Sivas: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, No:59.
- Güngör, A. ve Atalay, Ü. (1999). Grindability of microwave - heated ores, *SME Annual Meeting*, Denver, Colorado.
- Habashi, F. (2005). Gold – an historical introduction. M. D. Adams, (Ed). *Advances in Gold Ore Processing* içinde (xxv-xlvi) Western Australia: Elsevier.
- Habashi, F. (1997). *Handbook of Extractive Metallurgy*, Wiley-VCH, Germany.
- Habashi, F. (1970). Principles of Extractive Metallurgy. *Hydrometallurgy*, 2, 24–53.
- Haque, K.E., 1987. Microwave irradiation pre-treatment of refractory gold concentrate. In: R.S. Salter, D.M. Wysouzil, G.W. McDonald, (Eds.), *Proceedings of the International Symposium on Gold* içinde (327–339) Winnipeg, Canada.
- Haque, K. E. (1999). Microwave Energy for Mineral Treatment Processes – a brief review, *International Journal of Mineral Processing*, 57, 1-24
- Huang, J. H. ve Rowson, N.A. (2002). Hydrometallurgical decomposition of pyrite and marcasite in a microwave field. *Hydrometallurgy*, 64, 169– 179.
- Huang, J. H. ve Rowson, N.A.(2001). Heating characteristics and decomposition of pyrite and marcasite in a microwave field. *Minerals Engineering*, Vol14 No.9, 1113-1117.
- Huang, H. J. ve Rowson, N. A. (2000). An application of microwave pre - oxidation in improving gold recovery of a refractory gold ore. *Rare Metals*, 19 (3), 161–71.
- Huang, L., (1996). *Upgrading of Gold Gravity Concentrates: A Study of the Knelson Concentrator*, Doktora Tezi, Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, Montreal.

- Karadeniz, M. (1996). Altın. *Cevher Zenginleştirme Tesis Artıkları, Çevreye Etkileri Önlemler*, içinde (123-164). İstanbul: İstanbul Ofset Basım.
- Kırıkoğlu, M. S. (1990). Epitermal altın yataklarının oluşumu ve özellikleri. *Madencilik, Cilt XXIX Sayı No1, 41-50*.
- Kocakuşak, S., İşbilir, F. ve Doğan, H. (2003). Mikrodalga enerjisi ve sanayideki uygulamaları, seminer raporu, *TÜBİTAK- MAM Malzeme ve Kimya Teknolojileri Araştırma Enstitüsü*.
- Kingman S.W., Vorster, W. ve Rowson N.A. (2000). The influence of mineralogy on microwave assisted grinding. *Minerals Engineering, Vol 13, No 3, pp 313-327*.
- Kiriş, K. (1994). Altın; ekonomik yataklanma tipleri, arama safhaları ve maliyet, *Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, C. 44-45, 50-61*.
- Klark, D.E., Folz, C. ve West, J.K. (2000). Processing materials with microwave energy, *Materials Science and Engineering, A287, 153-158*.
- Kruesi, P. R., Frahm, V. H., (1982). Process for the recovery of nickel, cobalt and manganese from their oxides and silicates, Canadian patent 1,160,057 and the US patent 4,311,520. and Process for the recovery of copper from its ores, US patent 4,324,582.
- Kruesi, W. H., Kruesi, P. R. (1986). Microwave in laterite processing. *Proceedings of CIM 25th Conf. Of Metallurgists. Toronto*.
- Kutbay, I. ve Kuşkonmaz, N. (2004). Mikrodalga ısıtmanın seramik üretiminde kullanımı. *Metalurji Dergisi, 137, 52-56*
- Küçükgül, E. ve Şengül F., (1987). Endüstriyel siyanür kirliliği ve arıtımı, *Doğa T. Ü. Müh. ve Çevre, 396-402*.
- Köse M., Oygür V. (2009). Türkiye’de Altın Madenciliğini Engellemeye Yönelik Asılsız İddialar ve Gerçekler. *Altın Madencileri Derneği Dergisi, 1*.

- La Brooy S.R., Linge H.G. ve Walker G.S. (1994). Review of Gold Extraction From Ores. *Mineral Engineering*, 7 (10), 1213-1241.
- La Brooy S.R. ve Komosa T. (1992). Oxidant addition during gold ore processing. *International Conference on Extractive Metallurgy of Gold and Base Metals*, Kalgoorlie, Aus.I.M.M., Melbourne.
- Logsdon, M., Hagelstein, J. ve Mudder, K. T. (2001). Altın üretiminde siyanür yönetimi. (TÜPRAG, çev) *International Council Metals and the Environment (ICME)* (orijinal çalışma basım tarihi 1999)
- Marland, S., Han, B., Merchant, A., Rowson, N. (2000). The effect of microwave radiation on coal grindability, *Fuel* 79 (11), 1283–1288.
- McDonald, W., R., Jhonson, J., L., ve Sandberg, R., G. (1990). Treatment of alaskan refractory gold ores. *Engineering & Mining Journal*, 48-53.
- McGill, S.L., Walkiewicz, J.W. (1987). Applications of microwave energy in extractive metallurgy. *Journal Microwave Power and Electromagnetic Energy* 22(3), 175–177.
- Microwave Power in Industry, (1984). EM 3645. Prepared by Thermo Energy for EPRI. Palo Alto, CA.
- Minerals Zone* (2005). Gold. Industrial Minerals 25 Mart 2010
<http://www.mineralszone.com/minerals/gold.html>
- Mingos, D.M.P., Baghurst, D.R., (1991). Application of microwave dielectric heating effects to synthetic problems in chemistry. *Chemical Society Reviews* 20, 1 – 47.
- Maden Tetkik Arama Enstitüsü [MTA] (2010). Türkiye altın - gümüş yatakları haritası.13.05.2010,http://www.mta.gov.tr/v1.0/images/turkiye_maden/maden_yataklari/b_h/altin_gumus.jpg

- Muir D. M. ve Aylmore, M. G. (2005). Thiosulfate as an alternative lixiviant to cyanide for gold ores, *Developments in Mineral Processing*, 15(22), 541-560.
- Nanthakumar, B., Pickles, C. A., Kelebek, S. (2007) Microwave pretreatment of a double refractory gold ore. *Mineral Engineering*, 20, 1109-1119
- Olmi, R., Bini, M., Ignesti, A. ve Riminesi, C. (2000). Dielectric properties of wood from 2 to 3 GHz, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 35(3), 135-143.
- Qingcui L., Dengxin L., Fangjun Q. (2009) Pre-oxidation of high - sulfur and high-arsenic refractory gold concentrate by ozone and ferric ions in acidic media, *Hydrometallurgy*, 97, 61–66.
- Oygür, A. V. (2006). Gümüşhane – Mastra altın madeni. C. Demir ve A.O. Yılmaz, (Ed), *Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı* içinde (275-280), Trabzon.
- Oygür, V. (1996). Dünya altın madenciliği ve Türkiye'nin altın potansiyeli, *Jeoloji Mühendisliği* sayı 49, 55-62.
- Oyman, T., Minareci, F. ve Pişkin, Ö. (2003). Efemçukuru B-Rich epithermal gold deposit (İzmir, Turkey), *Ore Geology Reviews*, 23, 35-53.
- Öztürk, B., Perek, K.T. ve Arslan, F. (2009). Ön havalandırma ve H₂O₂ ilavesinin mastra altın cevherinin siyanür liçine etkisi. *Türkiye 21. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Antalya* (515-520)
- Peker, İ. (1992). Toksik kirleticilerin tabii yöntemlerle giderilmesi, *Ekoloji*, 3, 11-14.
- Perkin – Elmer (1976). Analysis of ores, feeds, tailings, and concentrates silver and gold assay. *Analytical Methods For Atomic Absorption Spectrophotometry* içinde (GC-6), USA.

- Risman, P. (1991). Terminology and notation of microwave power and electromagnetic energy. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 26(4), 243-247.
- Roshan, B.B. (1990). Hydrometallurgical processing of precious metal ores. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 6, 67-80.
- Roussy, G. ve Pearce, J. A. (1995). Foundations and Industrial Applications of Microwave and Radio Frequency Fields: Physical and Chemical Processes.
- Rowson, N. A., Rice, N. M. (1990). Magnetic enhancement of pyrite by caustic microwave treatment. *Minerals Engineering* 3 (3-4), 363-368.
- Salsman, J. B., Williamson, R. L., Tolley, W. K. ve Rice D. A. (1996). Short – pulse microwave treatment of disseminated sulfide ore. *Minerals Engineering*, 9(1), 43-54.
- Sarioğlu, U. (2009). *Altının Türk ve Dünya ekonomisindeki yeri ve nemi*. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Sayın, B. (2001). *Armuteli (Niğde) altın ve bakır içerikli demir yatağının mineralojik ve genetik özelliklerinin incelenmesi*. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Niğde.
- Schaefer, M.D. (1999). *Microwave tempering of shrimp with susceptors*. Virginia Polytechnic Institute and State University, Yüksek Lisans Tezi, Virginia, USA.
- Schiffmann, R. F. (1987). Microwave and dielectric drying. In: A. S. Majumder (Eds.). *Handbook of Industrial Drying*. Marcel Dekker, 327-356.
- Sparrow, G. J. ve Woodcock, J. T. (1995). Cyanide and other lixiviant leaching systems for gold with some practical applications. *Minerals Processing and Extractive Metallurgy Review*, 14, 193-247.

- Tanrıverdi, M., Mordoğan, H. ve İpekoğlu, Ü. (1999). Bir siyanürlü liç çözeltisinin doğal bozundurma davranışı. S. Atak, G. Önal, F. Arslan ve K. T. Perek (ed). *Cevher ve Kömür Hazırlamada Yenilikler*, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları, 693-697.
- Thostenson, E.T. ve Chou T.W. (1999). Microwave processing: fundamentals and applications, *Composites: Part A* 30, 1055-1071.
- Toraman, Ö.Y. ve Depçi, T. (2009). Kömürde mikrodalga ön işlemler uygulamaları. *Madencilik*, 46(3), 43-53.
- Toraman, Ö. Y., (2009). Cevher hazırlama ve metal kazanımında mikrodalga enerji kullanımı. *Türkiye 21. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Antalya*.
- Tranquilla, J.M. (1997). Mineral extraction and the use of microwaves presented at *CIM Conference*, Vancouver, Canada, April 27,
- Tufan, B. (2010). *Recovering Efemçukuru gold ores by flotation*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Ubaladini, S., Veglio, F., Beolchini, F., Toro, ve Abbruzzese L. C. (2000). Gold Recovery from a Refractory Pyrrhotite Ore by Biooxidation. *Mineral Processing*, 60, 247-262
- Walkiewicz, J. W., Kazonich, G. ve McGill, S. L. (1988). Microwave heating characteristics of selected minerals and compounds MAMP
- What Are Microwaves?*, (b.t.). 27.06.2010,
<http://www.gallawa.com/microtech/mwave.html>.
- Xia, D. K. ve Pickles, C.A. (1997). Applications of microwave energy in extractive metallurgy, a review, *CIM Bulletin*, Volume 90, No 1011, 96-107.
- Yıldız, N. (2010). Zenginleştirme. *Cevher hazırlama* (2.Baskı), içinde (402 - 410). Ankara: Ertem Basım Yayın.

Yıldız, K. ve Alp, A. (2000). Metalurjik proseslerde mikrodalga kullanımı. *Metalurji Dergisi*, 24(125), 24-29,