

75463

**REFRAKTER GÜMÜŞ CEVHERLERİNİN SİYANÜRASYONUNDA
KORUYUCU ALKALİ CİNSİNİN ÇÖZÜNDÜRMEMEYE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Maden Müh. Feridun BOYLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Ocak 1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Şubat 1998

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Neşet ACARKAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Suna ATAK

: Prof. Dr. M. Sabri ÇELİK

Neşet Acarkan
Suna Atak
M. Sabri Çelik

ŞUBAT 1998

ÖNSÖZ

Siyanürasyon yöntemi ile altın ve gümüş cevherlerinin zenginleştirilmesi, son birkaç yıldır oluşan yoğun halk tepkisi ve çevreci baskı nedeniyle medyanın gündemini oluşturmaktadır. Bazı şahısların bu hassas konuyu kendi çıkarları doğrultusunda kullanması ve ilgili bakanlıklarının yönetmeliklerindeki çelişkiler, bu konuya bilimsel olarak yaklaşan biz maden mühendislerinin işini güçleştirmektedir. Ancak tüm güçlüklerle rağmen bilimin ışığı doğrultusunda verdiğimiz mücadeleyi, doğrular tüm çıplaklığıyla ortaya çıkana kadar sürdüreceğiz.

Güncelliğini ve hassasiyetini önümüzdeki yıllarda da sürdürecektir olan, üzerinde severek çalıştığım böyle bir konuda Yüksek lisans tezi yapma imkanı sağlayan; İ.T.Ü Maden Fakültesi, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim dalı başkanı Sayın Prof. Dr. Suna ATAK' a, çalışmalarım sırasında güler yüzünü ve yardımlarını hiç bir zaman esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Neşet ACARKAN' a, çalışma konum hakkındaki bilgilerinden her zaman yararlanma olanağı bulduğum; Yrd. Doç. Dr. A.Ekrem YÜCE, Doç. Dr. Fatma ARSLAN, Araş. Gör. Hayrünnisa DİNÇER'e ve anabilim dalındaki tüm değerli hocalarıma ve araştırma görevlilerine ve tezin yazılmasında büyük yardımlarını gördüğüm Zekeriya KESKİN ve Mustafa BARAN' a teşekkür ederim.

Ayrıca tüm öğretim hayatım boyunca maddi, manevi her türlü desteği sağlayan çok sevgili Annem'e de teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	
ŞEKİL LİSTESİ	iii
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1 GİRİŞ VE AMAÇ	1
 BÖLÜM 2 GENEL BİLGİLER	 3
2.1. Gümüşün Özellikleri	3
2.2. Gümüş Yatakları	3
2.2.1. Dünyadaki Önemli Gümüş Yatakları	4
2.2.2. Türkiye'de Önemli Gümüş Yatakları	6
2.3. Gümüş Mineralleri	7
2.4. Gümüş Üretim ve Tüketimi	9
2.4.1. Gümüş Üretimi	9
2.4.2. Gümüş Tüketimi	10
2.5. Gümüşün Kullanım Alanları	11
2.6. Gümüş Cevherlerinin Zenginleştirilmesi	12
2.6.1. Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri	13
2.6.2. Fizikokimyasal Zenginleştirme Yöntemleri	13
2.6.3. Kimyasal Zenginleştirme Yöntemleri	14
2.6.3.1. Siyanür ile Çözündürme	14
2.6.3.2. Tiyoüre ile Çözündürme	23
 BÖLÜM 3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	 25
3.1. Deneylere Esas Olan Numune	25
3.2. Deney Numunesinin Özellikleri	25
3.2.1. Minerolojik ve Kimyasal Özellikler	25
3.2.2. Numunenin Boyut Dağılımı	27
3.3. Siyanür ile Çözündürme Deneyleri	28
3.3.1. Yöntem	28
3.3.2. Koruyucu Alkali Olarak Ca(OH)_2 'nin Kullanılmasıyla Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneyleri	29
3.3.3. Koruyucu Alkali Olarak NaOH'in Kullanılmasıyla Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneyleri	34
3.3.4. Koruyucu Alkali Olarak KOH'in Kullanılmasıyla Yapılan	

BÖLÜM 4 DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ	44
BÖLÜM 5 GENEL SONUÇLAR	51
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	55



ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1.	Gümüşün Kimyasal Zenginleştirme Yöntemleri ile İlgili Genel Akım Şeması	16
Şekil 2.2.	Farklı pH Değerlerinde CN^- - HCN İlişkisi	17
Şekil 2.3.	Gümüşün Siyanür Çözültisi İçindeki Elektrokimyasal Yapıdaki Reaksiyonları	18
Şekil 3.1.	Koruyucu Alkali Olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in Kullanıldığı Deneylerde, Ag Çözünme Veriminin Çözündürme Süresine Bağlı Olarak Değişimi	30
Şekil 3.2.	Koruyucu Alkali Olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in Kullanıldığı Deneylerde, Ag Çözünme Veriminin $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonuna Bağlı Olarak Değişimi	31
Şekil 3.3.	Koruyucu Alkali Olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in Kullanıldığı Deneylerde, Ag Çözünme Veriminin Pülp Sıcaklığına Bağlı Olarak Değişimi	34
Şekil 3.4.	Koruyucu Alkali Olarak NaOH 'in Kullanıldığı Deneylerde, Ag Çözünme Veriminin Çözündürme Süresine Bağlı Olarak Değişimi	35
Şekil 3.5.	Koruyucu Alkali Olarak NaOH 'in Kullanıldığı Deneylerde, Ag Çözünme Veriminin NaOH konsantrasyonuna Bağlı Olarak Değişimi	36
Şekil 3.6.	Koruyucu Alkali Olarak NaOH 'in Kullanıldığı Deneylerde, Ag Çözünme Veriminin Pülp Sıcaklığına Bağlı Olarak Değişimi	38
Şekil 3.7.	Koruyucu Alkali Olarak KOH 'in Kullanıldığı Deneylerde, Ag Çözünme Veriminin Çözündürme Süresine Bağlı Olarak Değişimi	40

Şekil 3.8.	Koruyucu Alkali Olarak KOH'in Kullanıldığı Deneylerde, Ag Çözünme Veriminin KOH konsantrasyonuna Bağlı Olarak Değişimi	41
Şekil 3.9.	Koruyucu Alkali Olarak KOH'in Kullanıldığı Deneylerde, Ag Çözünme Veriminin Pülp Sıcaklığına Bağlı Olarak Değişimi	43
Şekil 4.1.	Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde Ag Çözünme Veriminin Çözündürme Süresine Bağlı Olarak Değişimi	44
Şekil 4.2.	Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan 4 Saatlik Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde , Ag Çözünme Verimi Histoğramları	45
Şekil 4.3	Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan 8 Saatlik Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde , Ag Çözünme Verimi Histoğramları	45
Şekil 4.4.	Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde Koruyucu Alkali Tüketiminin Çözündürme Süresine Bağlı Olarak Değişimi	46
Şekil 4.5.	Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde NaCN Tüketiminin Çözündürme Süresine Bağlı Olarak Değişimi	46
Şekil 4.6.	Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde Ag Çözünme Veriminin Koruyucu Alkali Konsantrasyonuna Bağlı Olarak Değişimi	48
Şekil 4.7.	Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde NaCN Tüketiminin Koruyucu Alkali Konsantrasyonuna Bağlı Olarak Değişimi	48
Şekil 4.8	Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde Koruyucu Alkali tüketiminin Koruyucu Alkali Konsantrasyonuna Bağlı Olarak Değişimi	49

- Şekil 4.9. Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde Ag Çözünme Verimlerinin Pülp Sıcaklığına Bağlı Olarak Değişimi Bağlı Olarak Değişimi 49
- Şekil 4.10. Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde Pülp Sıcaklığının 20°C 'den 80°C'ye Çıkarılmasıyla Ag Çözünme Verimindeki Artış Histoğramları 50



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Dünya Gümüş Rezervleri	6
Çizelge 2.2. Türkiye Gümüş Rezervleri	8
Çizelge 2.3. Ekonomik Olarak İşletilen Gümüş Yataklarında İzlenen Gümüş Mineralleri	9
Çizelge 2.4. Dünya Gümüş Üretiminin Ülkelere Göre Dağılımı	10
Çizelge 2.5. Gümüş Tüketiminin Ülkelere Göre Dağılımı	10
Çizelge 2.6. Gümüşün Başlıca Tüketim Alanları	11
Çizelge.2.7. Siyanür Çözeltileri İçinde Bakır Minerallerinin Çözünme Düzeyleri	23
Çizelge 3.1 Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde Kullanılan Numunenin Kimyasal Analiz Sonuçları	27
Çizelge 3.2. Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde Kullanılan Numunenin Boyut Dağılımı	27
Çizelge 3.3. Koruyucu Alkali Olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Kullanılan Deneylerde, Çözündürme Süresinin Çözündürmeye Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları	29
Çizelge 3.4. Koruyucu Alkali Olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Kullanılan Deneylerde, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Konsantrasyonunun Çözündürmeye Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları	31
Çizelge 3.5. Koruyucu Alkali Olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Kullanılan Deneylerde, NaCN Konsantrasyonunun Çözündürmeye Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları	32
Çizelge 3.6 Koruyucu Alkali Olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Kullanılan Deneylerde, Pülp Sıcaklığının Çözündürmeye Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları	33
Çizelge 3.7. Koruyucu Alkali Olarak NaOH Kullanılan Deneylerde, Çözündürme Süresinin Çözündürmeye Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları	34
Çizelge 3.8. Koruyucu Alkali Olarak NaOH Kullanılan Deneylerde, NaOH Konsantrasyonunun Çözündürmeye Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları	36

ÖZET

Bu tez kapsamında, Kütahya-Gümüşköy 100.Yıl Gümüş İşletmesinde çalışılan gümüş cevherlerinden, Pasa cevher numunesi üzerinde, siyanür ile çözündürmede koruyucu alkali olarak kullanılan; Ca(OH)_2 , NaOH ve KOH gibi bazların, çözündürmeye etkisi araştırılmıştır.

Deneylere esas olan cevher numunesinde ; nabit gümüş, pirarjirit, arjantit ve gümüşlü tetraedrit başlıca gümüş minerallerini oluşturmakta ve gümüş sülfürlü minerallerle birlikte bulunmaktadır. Cevherin gümüş içeriği ise 460 g/t Ag dir.

Deneylerin başlangıç safhasında, numunenin boyutu 0.112 mm'ye indirildikten sonra, boyut dağılımı belirlenmiş ve siyanür ile çözündürme deneylerinde kullanılmak üzere, yüksek Ag içerikli numune elde etmeye yönelik ön zenginleştirme amaçlı toplu sülfür flotasyonu yapılarak, %1.064 Ag içerikli ön konsantre elde edilmiştir.

Toplu sülfür flotasyonu sonucu elde edilen ön konsantre ile; farklı koruyucu alkali kullanılarak üç grupta deneyler yapılmış ve her bir deney grubunda; çözündürme süresi, koruyucu alkali konsantrasyonu, siyanür konsantrasyonu ve pülp sıcaklığı gibi faktörlerin çözündürmeye etkisi incelenmiştir.

Koruyucu alkali olarak Ca(OH)_2 'nin kullanıldığı deneyler sonucunda; farklı çözündürme sürelerinde deneyler yapılarak ; çözündürmenin uzun sürelerde gerçekleştiği tespit edilmiş, 48 saatlik çözündürme sonrasında %61.75 lik Ag çözünme verimine ulaşılmıştır. 24 saatlik sabit çözündürme süresinde, farklı Ca(OH)_2 konsantrasyonlarında yapılan deneyler sonucunda ise 1.0 g/l Ca(OH)_2 kullanılması ile Ag çözünme verimi % 71.84 'e yükseltilmiştir. NaCN konsantrasyonunun 2.0 g/l'den 4.0 g/l'ye artırılmasıyla Ag çözünme verimi üzerinde artış sağlanamamış, %71.84 olan Ag çözünme verimi % 69.73 'e düşmüştür. 8 saatlik çözündürmede pülp sıcaklığı artırılarak ; pülp sıcaklığının 20 °C den 80 °C ye yükseltilmesiyle Ag kazanma veriminde yaklaşık % 8 artış elde edilmiştir.

Koruyucu alkali olarak NaOH 'ın kullanıldığı deneylerin sonucunda; 32 saatlik çözündürme süresinin yeterli olduğu saptanmış ve bu süre sonunda % 58.73 Ag çözünme verimi elde edilmiştir. Sabit koşullarda ve sadece koruyucu alkali konsantrasyonu artırılarak yapılan 24 saatlik çözündürme deneylerinde yüksek NaOH konsantrasyonunun Ag çözünme verimi üzerinde olumsuz etkisi saptanmıştır. NaCN konsantrasyonu 2.0 g/l'den 4.0 g/l 'ye yükseltilmiş, %56.84' lük Ag çözünme verimi elde edilmiştir. Ayrıca, pülp sıcaklığının 20 °C den 80 °C 'ye çıkarılmasıyla Ag çözünme verimi yaklaşık % 15 artırılmıştır.

Koruyucu alkali olarak KOH'in kullanıldığı deneylerde; 32 saatlik çözündürme süresinin yeterli olduğu saptanmış ve bu çözündürme süresi sonunda % 65.18 lik Ag çözünme verimi elde edilmiştir. Farklı KOH konsantrasyonlarının etkisinin incelendiği deneylerde 24 saatlik çözündürme sonunda, KOH konsantrasyonunun 0.6 g/l'den 0.8 g/l'ye çıkarılmasıyla % 56.73 olan Ag çözünme verimi % 62.97 'ye yükseltilmiştir. NaCN konsantrasyonunun 2.0 g/l'den 4.0 g/l'ye çıkarılmasının Ag çözünme verimi üzerinde olumlu etkisi görülmemiştir. Ayrıca, pülp sıcaklığının 20 °C'den 80 °C'ye çıkarılmasıyla Ag çözünme verimi üzerinde yaklaşık % 23 seviyesinde bir artış sağlanmıştır.

Tüm koruyucu alkalilerle yapılan siyanürle çözündürme deney sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmış koruyucu alkali olarak kullanılan Ca(OH)_2 'nin gerek reaktif tüketimleri gerekse Ag çözünme verimleri açısından daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

THE EFFECTS OF DIFFERENT PROTECTIVE ALKALINES ON CYANADATION OF REFRACTORY SILVER ORES

SUMMARY

Silver metal has been known since ancient time and it is considered a dense and commercially a precious metals.

The principal uses of silver are for photographic materials and electrical products with subsidiary uses in jewelry and alloys. About 50 % of the silver consumed in the United States was used in the manufacturing of photographic products; 20 % in electrical and electronic products, 10 % in electroplated ware, sterling ware and jewelry, 20 % in other uses.

Although silver occurs in the native form and as an alloy with gold (i.e. electrum) it generally occurs with sulphide minerals. The common silver sulphides are argentite (Ag_2S), proustite, (Ag_3AsS_3), pyrargyrite (Ag_3SbS_3), and argentiferous tetrahedrite $[(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn}, \text{Ag})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}]$. Silver is also substituted for metals, such as Zn in sphalerite, Pb in galena and Cu in chalcopyrite.

The early metallurgy of Silver ores was almost totally involved with gravity separation because of their conveniently high specific gravity. Another early development was the amalgamation process. During most of the 1800's the chlorinating process became popular. In 1887, Scotsmen, John S. Mac Arthur a metallurgical chemist and two doctors; Robert and William Forrest of Glasgow obtained the British patent another in 1888 on the use of fine zinc particles as a precipitant for gold and silver from cyanide solutions. In 1900, at Sirena, Mexico the cyanide process was first applied to a silver sulfide ore. Kütahya 100th Year Silver Plant which is located in Köprüören region of Kütahya Province in Turkey has a cyanide process to treat silver ores having average 180 g/t Ag in content.

Cyanadation is an effective process for the treatment of precious metals like silver. It includes the reactions between cyanide and silver minerals. In Cyanadation process, there must be enough amount of free cyanide ions for dissolution of silver in cyanide solutions. It is able to maintain the amount of free cyanide ions with high pH by using protective alkalines such as $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH, KOH to prevent hydrolysis of the cyanide.

The aim of this study is to determine effects of the protective alkalines such as Ca(OH)_2 , NaOH , KOH in cyanidation of refractory silver ores. Experimental works include particle reduction, preconcentration (flotation) and cyanidation studies.

The ore sample which was taken from Kütahya-Gümüşköy ore deposits contains 460 g/t Ag. The main silver minerals in the ore are native silver, pyrargyrite, argentite and tetraedrite.

The ore sample which was maximum 35 mm in size was initially crushed and ground under 0.112 mm in size and preconcentrated by bulk flotation (collective sulphur flotation) in order to obtain preconcentrate with high content of silver was to be used in cyanidation studies.

The cyanidation studies was carried out in three groups by using different protective alkalines in each group. Some factors in cyanidation such as leaching time, pulp temperature and concentration of cyanide and protective alkalines were examined.

In the experiments using Ca(OH)_2 as a protective alkaline, cyanidation was made in different leaching times. The dissolving of the silver raised proportionally depending on the leaching time. It was obtained that silver recovery was 61.75 % with leaching in 32 hour. In 24 hour leaching time and constant conditions the effects of the Ca(OH)_2 concentration (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 g/l) was examined by using different Ca(OH)_2 concentration. It was observed that the silver recovery was raised proportionally depending on the Ca(OH)_2 concentration. It was observed that the silver recovery was raised proportionally depending on the Ca(OH)_2 concentration. The silver recovery was obtained as 71.84 by using 1.0 g/l Ca(OH)_2 . In the following step where the cyanide concentration effect was examined, it was observed a decrease on silver recovery; silver recovery was reduced to 69.73 by increasing cyanide concentration from 2.0 g/l to 4.0 g/l. In 8 hour leaching time and constant conditions, an increase in level of 7% on silver recovery was obtained by increasing the pulp temperature from 20 °C to 80 °C.

In the experiments carried out on NaOH as a protective alkaline, firstly the effect of leaching time was examined and it was determined that the sample ore was required to 32 hour for leaching and with 32 hour as a leaching time, silver recovery was obtained as 58.73 %. Further experiments were carried out on different NaOH concentration and constant conditions during 24 hour as a leaching time, to determine effect of the NaOH concentration, it was determined that high NaOH concentration had a bad effects on silver recovery; by reducing NaOH concentration from 0.6 g/l to 0.2 g/l, silver recovery was increased 43.24 % to 56.65 %.

In the following step, NaCN concentration was increased from 2.0 g/l to 4.0 g/l with in satisfactory increases ; the silver recovery was 56.84 % .

In the last step of this group experiments, pulp temperature was examined and it was observed an increase in level of 15 % on silver recovery by increasing pulp temperature from 20 °C to 80 °C .

In the experiments carried out on KOH as a protective alkaline, firstly the effect of leaching time was examined and it was determined that the sample ore required 32 hour for leaching and with 32 hour as an enough leaching time, the silver recovery was 65.18 . In the constant conditions during 24 hour as a leaching time, it examined the effect of the KOH concentration and an increase from 56.73 % to 62.97 % on silver recovery was obtained by increasing KOH concentration from 0.6 g/l to 0.8 g/l . In the following steps which the effects of NaCN concentration and pulp temperature was examined on, an increase on silver recovery by increasing the NaCN concentration from 2.0 g/l to 4.0 g/l was not sufficient. Whereas an increase approximately in level of 23 on silver recovery was obtained by increasing the pulp temperature from 20°C to 80°C.

Finally, the experimental results generally indicate that $\text{Ca}(\text{OH})_2$ used as a protective alkaline gives better results based on either reagent consumption or silver recovery compared to other protective alkalines (Figure I, II, III, IV).

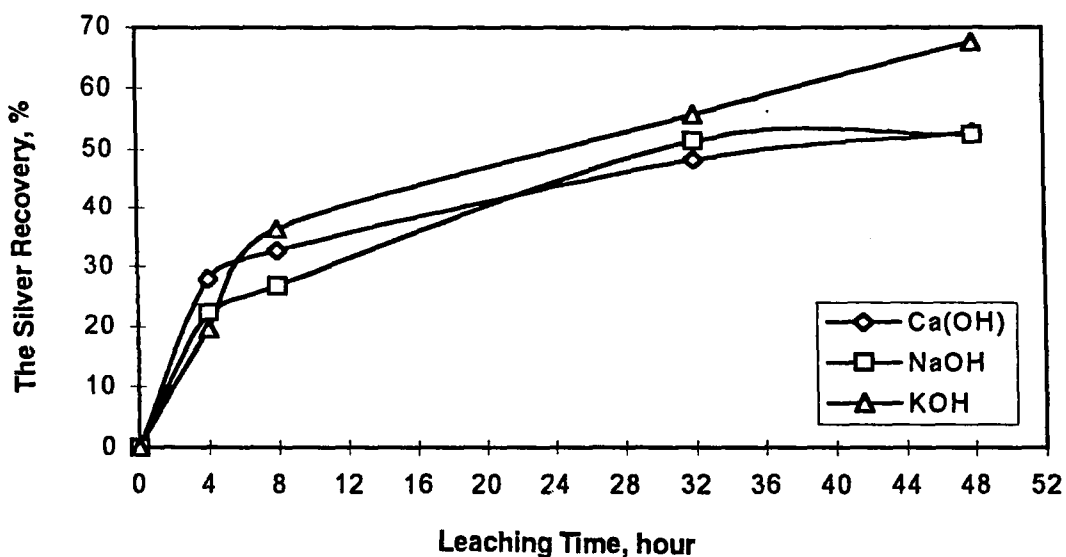


Figure I-Relation Between Leaching Time and The Silver Recovery (for each Protective Alkaline)

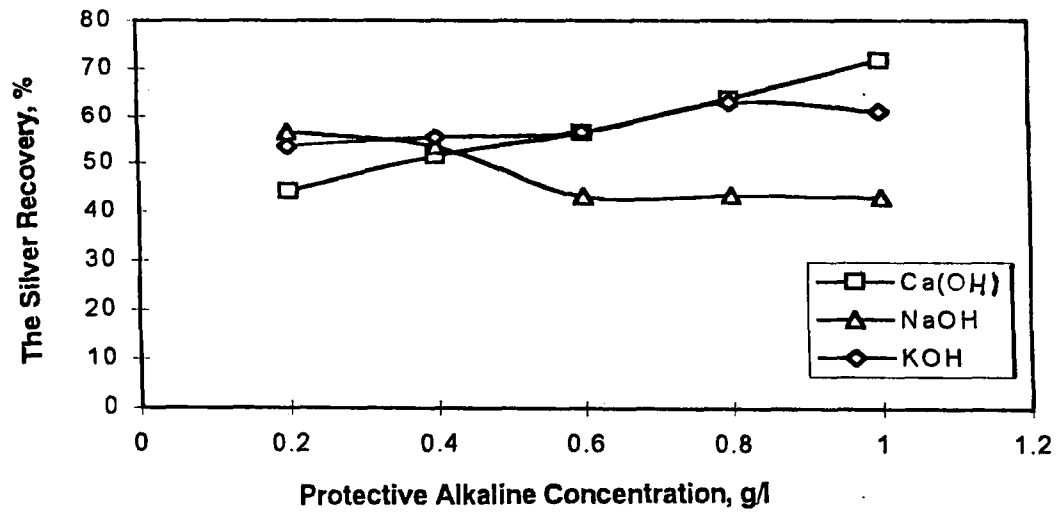


Figure II-Relation Between Protective Alkaline Concentration and The Silver Recovery (for each Protective Alkaline)

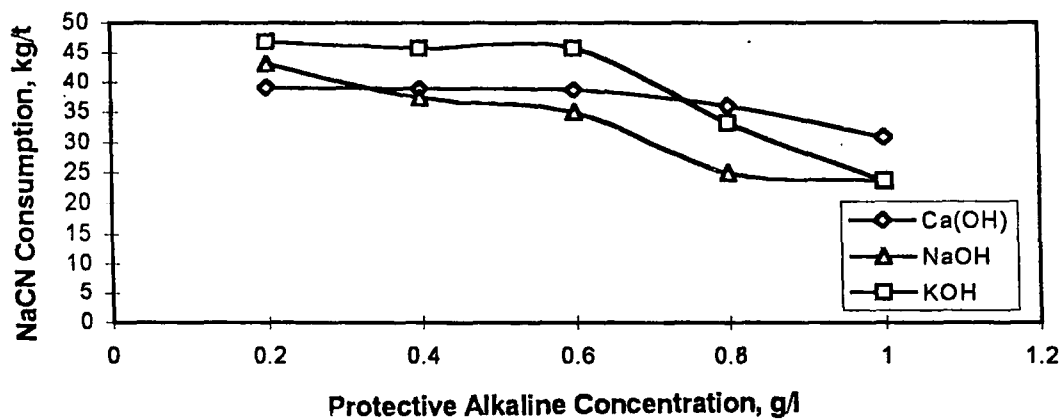


Figure III-Relation Between Protective Alkaline Concentration and The NaCN Consumption (for each Protective Alkaline)

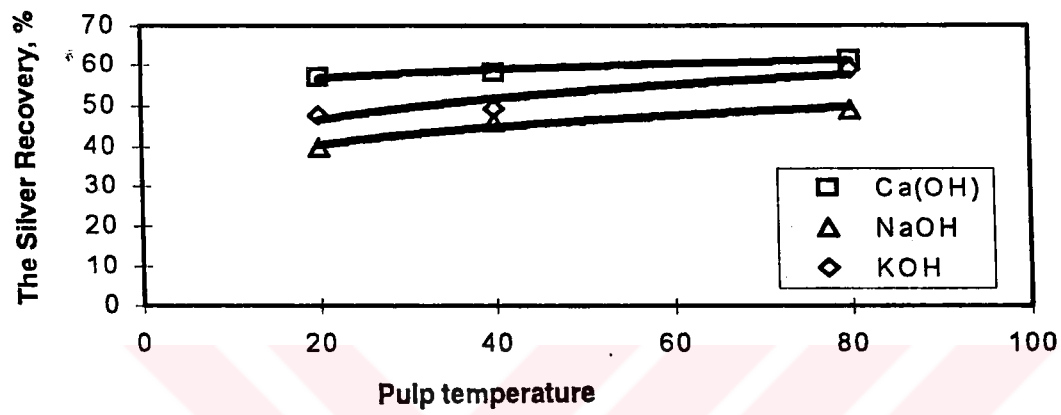


Figure IV–Relation Between Pulp temperature extention and The Silver Recovery (for each Protective Alkaline)

BÖLÜM 1

GİRİŞ ve AMAÇ

Fotografçılık sektöründen dişçilik, elektronik sektörü ve tıp alanına kadar çok geniş bir kullanım alanına sahip olan gümüş çok eski tarihlerden günümüze değin önemini sürdürmüştür. Eski Akdeniz ve Anadolu uygarlıklarında gümüş, süs eşyası ve kapkacak yapımında kullanılmıştır. M.Ö 4.yüzyılda ise Mezopotamyalı tüccarlar tarafından gümüş süs eşyaları diğer pazarlara taşınmıştır. Roma İmparatorluğunda gümüş para olarak kullanılmış; altın ve bronz para ikinci derecede para olarak değerlendirilmiştir. İspanyol keşiflerinin (16.yüzyıl), Meksika, Peru ve Bolivya'da gümüş madenlerini bulması ile gümüş üretiminde büyük bir artış olmuştur. Bu dönemde dünya gümüş talebinin büyük bir kısmı bu ülkelerden sağlanmıştır. 1858'de Nevada'da Comstock Lode yatağının bulunması ile 1871-1900 yılları arasında ABD lidergümüş üretiminde lider durumuna gelmiştir. 1900-1968 yılları arası Meksika gümüş üretiminde lider olmuş, 1968-1976 yılları arasında ise Kanada en büyük üretici olurken son yıllarda Meksika tekrar eski yerini almaya başlamıştır[1].

Gümüş içeren cevherler doğada hem metalik hem de kompleks yapılarda bulunabildiğinden; bu cevherlerin zenginleştirilmesi için, günümüze kadar en basit özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme sistemlerinden karmaşık biyokimyasal sistemlere kadar pek çok yöntem geliştirilmiştir. Gümüşün kazanımına yönelik proseslerin başlangıcı antik çağlara kadar uzanmaktadır. Amalgamlaştırma, ergitme, flotasyon+amalgamlaştırma, hiposülfid çözündürmesi, klorlayıcı kavurma ve patio prosesi gibi yöntemler, 15. yüzyıldan 20. yüzyıla kadar uygulanmıştır. 20. yüzyılın başlarında siyanür ile çözündürme yönteminin keşfedilmesi gümüş kazanımında bir devrim niteliğinde olmuştur[2].

Minerolojik yönden basit yapılı olan cevherlere uygulanan siyanürasyonda % 90 düzeylerinde kazanma verimleri mümkün olabilmektedir[3]. Fakat günümüzde gümüş üretiminde kullanılan cevherlerde bulunan gümüş mineralleri çoğunlukla sülfürlü bileşikler şeklinde olup, sık sık gümüş sülfid tuzları halinde bulunabilmektedir.

Gümüş minerallerinin kompleks yapıda bulunması, doğal olarak gümüşün seyreltik siyanür çözeltilerinde çözünmesini ve kazanılmasını da karmaşık bir hale dönüştürmektedir.

Siyanürasyonun endüstriyel uygulamasında koruyucu alkali olarak CaO (kireç) kullanılmakta ve çözeltideki konsantrasyonunun artması; basit minerolojik yapıli cevherlerde Au, Ag çözünmesini olumsuz etkilerken; kompleks yapıli gümüş minerali içeren cevherlerde kirecin Ag çözünme verimini arttırıcı bir rol oynadığı konuyla ilgili literatürlerde belirtilmiştir[4,16, 26]

Siyanür ile çözündürmeye direnç gösteren gümüş minerallerini içeren, refrakter tip cevherlerde, koruyucu alkali olarak kullanılan bazlardaki $[Ca(OH)_2, KOH, NaOH]$ alkali metal cinsinin (Na^+, K^+, Ca^{++} iyonları) gümüşün siyanür ile çözündürülmesine (siyanürasyonuna) etkisinin belirlenmesi bu yüksek lisans tez çalışmasının amacını oluşturmaktadır. Bu çalışma ile, (OH^-) iyonlarının yanısıra çözeltiliye verilen alkali metal iyonlarının refrakter gümüş minerallerinin siyanürasyonundaki rolleri de ortaya çıkarılmış olacaktır.

Bu tez çalışması; gümüş hakkındaki genel bilgileri (gümüş yatakları ve rezervleri, gümüş cevherlerinin zenginleştirilmesi ve siyanürasyonu), deneysel çalışmaları, deney sonuçların irdelenmesi ve genel sonuçlar bölümlerini kapsamaktadır.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

Bu bölüm; gümüşün özelliklerini, maden yatakları, üretim ve tüketimi, zenginleştirilmesi konularını kapsamaktadır.

2.1.Gümüşün Özellikleri

Gümüş, altın (Au) ve bakır (Cu) ile birlikte periyodik sistemin 1B grubunu oluşturur. Bu grubun elementleri parametal grubu olarak isimlendirilir.

Gümüşün atom ağırlığı 107.870 , özgül ağırlığı 10.5 g/cm^3 , sertliği 2.5-3 , metal değeri +1, +2, +3 'tür.Ergime noktası $960.8 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.Metalik gümüş, gümüş beyazı renklidir.Sudan ve oksijenden etkilenir, ozon ile temasında okside olur. Gümüşün okside olmasını önlemek amacıylaüzeri boraks tuzu veya odun kömürü ile örtülür.

Gümüş nitrik asit veya siyanür ile çözünebilir.Ayrıca elektriği iletir ve dövülerek levha haline getirilebilir[1].

2.2.Gümüş Yatakları

Dünya gümüş üretimine kaynak teşkil eden cevher yatakları; gümüş, kurşun-çinko, bakır, nikel, altın ve kalay yatakları oluşturmaktadır[1].

Gümüşün plutonik evrelerde esas oluşum evresi hidrotermal evredir.Katatermal alt evrede yüksek gümüş konsantrasyonlarına rastlanmaz.Mezotermal alt evre gümüş oluşumunun esas evresidir.Bakır, kurşun ve Zn ile birlikte bulunan gümüşün en büyük rezervleri Kuzey ve Güney Amerika'nın batı kesimindeki mesozoik-tersiyer mağma zonlarında bulunmaktadır.

Bu zonlarda yalnız subvolkansal ve plutonik evrelere değil, birincil yatakların değişimleri sonucunda oluşan oksidasyon ve sementasyon yataklarında da en büyük rezervler meydana gelmiştir [1].

Gümüş yatakları oluşumlarına bağlı olarak iki gruba ayrılabilir;

1- Mağmatik Kökenli Yataklar

2-Tortul Gümüş Yatakları

Mağmatik kökenli gümüş yatakları beş gruba ayrılabilir;

1) Hidrotermal altın-gümüş yatakları:

Bu formasyonlar Dünya'nın en zengin gümüş yataklarını vermişlerdir. Yatakların kökenleri yüksek termal kontakt bölgelerinde olup, kendileri düşük sıcaklıktaki bölgelerde yayılmışlardır. Cevherler propilitleşmiş riolit, dasit, andezit ve bunların tüflerinde bulunmaktadır.

2) Subvolkansal bakır-pirit grubu yatakları:

Bu yatakların bir kısmı yüksek, bir kısmı düşük sıcaklıktaki hidrotermal çözüntülerin ürünleri olup, önemli miktarda gümüş içermektedir.

3) Kurşun-çinko-gümüş yatakları:

Gümüşlü kurşun-çinko damarları en yaygın damar tipidir. Esas cevher minerallerini galen, sfalerit ve pirit oluşturur. Bunlara, sık sık, tetraedrit, burnonit ve kalkopirit eşlik eder. Gümüş bu yataklarda çoğunlukla üç şekilde bulunur.

a) Gümüş minerallerinin fazlar halinde galenin içinde inklüzyon halinde bulunması

b) Gümüş minerallerinin galen içinde ayrı kristaller halinde bulunması.

c) Gümüş minerallerinin galen fazında az miktarda ya da sfalerit ve pirit ile birlikte bulunması.

4) Gümüş, kobalt, nikel, bizmut ve uranyumun birlikte bulunduğu formasyonlar

5) Gümüş, kalay ve bizmutun birlikte bulunduğu formasyonlar

Tortul gümüş yataklarına , tortullaşma ortamlarında rastlanır. Gümüş bu ortamlarda yüzey sularının ürünleri olarak serbest gümüş, gümüş sülfür ve halejenürleri olarak çökelmiştir [1].

2.2.1.Dünyadaki Önemli Gümüş Yatakları [5]

Dünya'nın gümüş bakımından en zengin ülkelerinden biri olan Meksika'nın Guanojuato eyaletinde bulunan gümüş yataklarındaki cevher minerallerini; arjantit, gümüş sülfür antimonitleri, galen, çinko blend, kalkopirit ve pirit oluşturmaktadır. 5 km. uzunluğunda ve 150 m. genişliğindeki " Veta Madre " damarı dünyanın en verimli damar oluşumlarından biridir.

Ayrıca Zacatecas, San Luis Potosi eyaletindeki yataklarla Cananea ve Pílares Mine yatakları önemli miktarda gümüş içerir. Meksika'da Ag 'li Pb , Zn yatak oluşumlarına rastlanıldığı gibi Chihuahua cevherleri Ag, Co, Ni, Bi, U formasyonları şeklindedir.

Şili'de zeolitli ve gümüşlü yataklardan başka, gümüş halejenürleri içeren Chanarcillo yatakları bulunmaktadır.

Peru'daki Cerro de Pasco, Morocha özellikle Colquijirca yatağı en zengin gümüş yataklarından biridir. Ag'li Pb, Zn oluşumları Peru 'da olduğu gibi Bolivya'da da vardır. Bolivya'daki Ag, Sn, Bi formasyonunda meydana gelmiş en verimli gümüş yatağı Potosi'dir. Potosi dağının oksidasyon zonunda bol miktarda serbest gümüş ve gümüş halejenürleri bulunmuştur.

Batı Amerika Ag'li Pb, Zn yataklarının sık olarak rastlandığı bir bölgedir. Nevada'da bol gümüşlü galenit bulunmaktadır. Idaho, Washington ve Nevada'daki damarlar yüksek termal çözümlerin ürünleridir. Montana, Colorado, Arizona Ag-Au yatakları bakımından zengindir. Ayrıca kısmen gümüş kısmen de gümüş sülfür ve halejenürleri olarak çökelen gümüş zenginleşmeleri Colorado, Utah ve New Mexico'da bulunmuş ve işletilmişlerdir.

Orta Almanya'da Freiberg yatakları, Kara Ormanlar, Harz bölgesi, Sicilya adası, Trepçe (Yugoslavya), Laurion (Yunanistan), Kazakistan, Rodop Dağları yatakları Ag'li Pb, Zn formasyonlarına örnektir.

Gümüş, kobalt, nikel, bizmut ve uranyumun birlikte bulunduğu formasyonlarının tipik temsilcileri Doğu Almanya'daki Erzgebirge ve Kanada da bulunmaktadır. Yalnız Kanada cevherlerinde uranyum bulunmaz, bizmut ise seyrek zuhur eder. Aynı tip formasyona sahip Norveç Könsberg damarında gümüş bir miktar civa ile birlikte bulunmaktadır.

And cevherleşme kuşağında (Kuzey, Güney Amerika, Avustralya) rastlanan tortul gümüş yataklarının mineralleri serarjirit ve gümüş halejenürlerdir.

Altın ve gümüşün birlikte bulunduğu yataklar ise Batı Amerika, Meksika, Yeni Zelanda, Yeni Gine, Fiji, Sumatra, Filipinler, Japonya'da bulunmaktadır[5]. Dünya gümüş rezervlerinin ülkelere göre dağılımı Çizelge.2.1.'de verilmiştir.

Çizelge.2.1.Dünya Gümüş Rezervleri

ÜLKE	REZERV (Ton)	REZERV+POTANSİYEL (Ton)
ABD	28615	55986
Meksika	36080	43545
Kanada	42612	53545
Peru	21150	29548
Diğer Ülkeler (Piyasa Ekonomili)	59097	99531
Diğer Ülkeler	12441	12441
S.S.C.B.	43545	49776
Dünya Toplamı	243540	334362

2.2.2. Türkiye'de Önemli Gümüş Yatakları

Türkiye'de gümüş, çoğunlukla galenle birlikte bulunmaktadır.Galenli, tetraedritli ve çok gümüşlü Doğu Karadeniz damar tipi cevherlerin bir kısmı Köprübaşı(Giresun), Alacadağlar (Gümüşhane) mevkiindedir.Gümüşlü kurşun ve çinko yataklarına Balıkesir Balya madeninde rastlanmaktadır. Ayrıca, Gümüşköy-Aktepe (Kütahya), Bolkardağ (Niğde), Gümüşdağı (Gümüşhane), Akdağ (Yozgat), Arapdağ (İzmir) ve Madendağ (Çanakkale) cevherleri sayılabilir.

Türkiye gümüş rezervi U.S.B.M. (United States Bureau of Mines) tarafından 2930 ton olarak verilmektedir.Bu miktar dünya rezervlerinin % 1.11'idir.Kütahya Gümüşköy rezervi ise 2050 ton metal olup, Türkiye rezervlerinin % 70'ini, Dünya rezervlerinin % 0.76'sını oluşturmaktadır[6].

Türkiye'de gümüş yatağı olarak işletilen tek yatak Kütahya Gümüşköy'de bulunmaktadır.Yatağın gümüş rezervi 19.200.000 ton (1987 verilerine göre), ortalama tenörü ise 180 gr/ton dur[7].

Uzun yıllardan beri M.T.A. tarafından yapılmış sınırlı, ancak önem arzeden ve son yıllarda özellikle yabancı şirketler tarafından genişletilen çalışmalar doğrultusunda, değişik bölgelerde işletilebilir düzeyde rezervler saptanmıştır. Türkiye'deki gümüş rezervleri Çizelge.2.2.'de verilmiştir.

2.3.Gümüş Mineralleri [5,8].

Gümüş yataklarında sıklıkla rastlanan gümüş mineralleri Çizelge.2.3.'de; ekonomik olarak değerlendirilebilen yataklarda rastlanan bazı gümüş minerallerinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Nabit Gümüş: Saf gümüş halinde, % 10'a kadar altın içerir şekilde veya bakırlı gümüş,antimuanlı gümüş gibi değişik yapılarda izlenir.Kübik sistemde, 2.5 sertlik ve 10.5 gr/cm^3 özgül ağırlığına sahip nabit gümüşün taze kristal yüzeylerinde gümüş beyazı renk görülmektedir.

Arjantit (Ag_2S): % 87.1 Ag, % 12.9 S bileşimindedir ve kübik sistemde kristallenmiştir. Ayrıca Arjantit'in düşük sıcaklık koşullarında, ortorombik sistemde modifikasyonu ile oluşmuş akantit isimli bir izomorfudur.Kurşun grisinden demir siyahına kadar değişen renklerde, 2-2.5 sertlikte, çoğunlukla mükemmel kristalin yapıda izlenmektedir.

Proustit (Ag_3AsS_2): % 65.4 Ag, % 15.2 As ve % 19.4 S bileşimindedir.Trigonal sistemde kristallenen mineralin sertliği 2-2.5 tur.Proustit açık kırmızı renklidir.

Pirarjirit (Ag_3SbS_3):% 59.8 gümüş içermektedir. Trigonal sistemde kristallenmiştir. Koyu kırmızıdan demir siyahına kadar değişen renklerde izlenir.

Pearsit ($[(\text{Ag,Cu})_{16}\text{As}_2\text{S}_{11}]$): % 78.4 Ag içeren bu mineral % 75.5 Ag içeren Polybasit $[(\text{Ag,Cu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}]$ ile benzer fiziksel özellikler göstermektedir.Her iki mineralde monoklinik sistemde kristallenmektedir.2-3 sertlikte, demir siyahı renkte izlenir.

Hessit (Ag_2Te): % 63.3 Ag ve %36.7 Te bileşimindeki mineralin kübik ve monoklinik sistemde oluşmuş iki izomorfudur bulunmaktadır.Çelik gri renginde, 2.5-3.0 sertliğe sahiptir.Çok küçük agregalar halinde gümüş, kurşun ve altının tellürlü bileşikleriyle pirit ve tetraedrit eşliğinde altın-gümüş yataklarında izlenir.

Serargirit (AgCl): % 75.3 Ag ve % 24.7 Cl bileşimindeki mineral kübik sistemde kristallenmektedir.Griden, kahverengimsi griye değişen renklerde, 1.5-2.0 sertlikte, çoğunlukla gümüş-kurşun yataklarının oksidasyon zonlarında izlenmektedir[8].

Çizelge 2.2. Türkiye Gümüş Rezervleri [6,9,11, 12]

Yeri	Cevher Tipi	*	İçerik (g/t) Ag	Baz Rezerv ** x 1000 ton
Kütahya-Gümüşköy	Epitermal	a	180	25714
Bergama-Ovacık	Epitermal	b	11.0	2280
Çanakkale-Madendağ	Epitermal	b	-	8000
Balıkesir-Küçükdere	Epitermal	b	11.8	1500
Artvin-Cerattepe(1)	Oksitli	b	200	1600
Artvin-Cerattepe(2)	Sülfürlü	b	24	3800
Artvin-Cerattepe(3)	Sülfürlü	b	22	1200
Gümüşhane-Mescitli	Epitermal	b	-	1144
Eskişehir-Kaymaz	Lisvenit	b	5.3	950
Çanakkale-Kartaldağ	Epitermal	c	-	50
Hatay-Kisecikköy	Mezotermal	c	-	450
Ordu-Akoluk	Epitermal	c	20	1048
İzmir-Ödemiş-Küre	Epitermal	c	1.3	86
İzmir-Ödemiş-Emirli	Epitermal	c	-	50
Manisa-Salihli-Bozdağ	Epitermal	c	-	874
İzmir-Karşıyaka-Arapdağ				
175 Altıntepe	Epitermal	c	-	688
Sektörü	Epitermal	c	-	3186
Çilektepe Sektörü				
Elazığ-Keban Batısı	Oksitli	c	142	51
Kırklareli-İğneada	Plaser	c	-	112
Niğde-Bolkardağ-1	Karstik	c	273	175
Niğde-Bolkardağ-2	Karstik	c	140	152
Manisa-Salihli-Sart	Plaser	c	-	20000
Kars-Kağızman	Plaser	c	-	9000
Hatay-Akılçıay	Plaser	c	-	50
Edremit-Altınoluk	Sülfürlü	d	25	242
Elazığ-Maden-Anayatak	Sülfürlü	d	20	3500
Artvin-Borçka-Akarşen	Sülfürlü	d	2.9	662
Artvin-Murgul-Anayatak	Sülfürlü	d	2.7	15228
Sivas-İmranlı-Aktepe	Sülfürlü	d	103	500
Giresun-Şebinkarahisar	Sülfürlü	d	50	2057
Elazığ-Keban-Zetindağ	Sülfürlü	d	40-47	95
Rize-Çayeli	Sülfürlü	d	68	10600
Artvin-Seyitler	Sülfürlü	d	37	1485
Elazığ-Baskil	Sülfürlü	d	4.2	49
Küre-Aşıköy	Sülfürlü	d	10	11230
Küre-Bakibaba	Sülfürlü	d	5-20	250

* a : İşletilen , b : İşletilebilir , c : Potansiyel Rezerv , d : Baz Metal Cevherleşmesi

** Baz Rezerv = Görünür + Muhtemel + Mümkün Rezervler

2.4.Gümüş Üretim ve Tüketimi

2.4.1.Gümüş Üretimi

Dünya gümüş gereksiniminin üçte ikisi bakır, kurşun ve çinko yataklarından, üçte birlik bölümü ise birincil gümüş oluşumlarından elde edilmektedir. Bunların yanısıra hurda ve fotoğraf malzemelerinden geri dönüşümlü gümüş eldesi de önemli bir kaynak oluşturmaktadır.

Dünya gümüş üretiminin ülkelere göre dağılımı Çizelge.2.4.'de verilmiştir[14].

Çizelge.2.3.Ekonomik Olarak İşletilen Gümüş Yataklarında İzlenen Gümüş Mineralleri

Mineral Adı	Kimyasal formülü
Mosçelandsberjit	Ag_2Hg_3
Diskresit	Ag_3Sb
Uytenbogerdit	Ag_3AuS
Arjrodit	Ag_8GeS_6
Ksantokonit	Ag_3AsS_3
Mayerjirit	$AgSbS_3$
Frayberjit	$Ag_{10}(Zn,Fe)_2Sb_4S_{13}$
Tetraedrit	$(Ag,Cu)_{10}(Zn,Fe)_2Sb_4S_{13}$
Arjentopentlandit	$Ag(Fe,Ni)_8S_8$
Balkanit	$Ag_5Cu_9HgS_8$
Novakit	$(Ag,Cu)_4As_3$
Sirmerit	Ag_4PbBi_4S
Benjaminit	$(Ag,Cu)_3(Pb,Bi)_7S_{12}$
Naumanit	Ag_2Se
Yusari	$AgCuSe$
Petzit	Ag_3AuTe_2
Bromarjirit	$AgBr$
İyodarjirit	AgI
Aarjentojarosit	$AgFe_3(SO_4)_2(OH)_6$
Matildit	$AgBiS_3$
Samsonit	$Ag_4MnSb_2S_6$

Kaynak: "Canadian Ins. of Metals. Bul..(CIM) . Gasparini. G., Mayıs 1993

Çizelge.2.4.Dünya Gümüş Üretimini Ülkelere Göre Dağılımı (ton Ag)

ÜLKELER	1991	1992	1993
A.B.D.	1846	1752	1596
Kanada	1345	1189	876
Meksika	2221	2346	2315
Peru	1783	1564	1564
Avustralya	1189	1251	1158
Şili	688	1064	970
Diğer Ülkeler	2440	2221	2159
Hurda	4255	4349	4880
TOPLAM	15767	15736	15518

Kaynak:Metals and Minerals Annual Review-1994

1993 yılı Dünya toplam metal gümüş üretimi bir önceki yıla göre % 6'lık bir azalma ile 11010 ton olmuştur.Aynı dönemde Batılı ülkelerdeki gümüş üretimindeki düşme, Amerika'nın %25 ve Kanada'nın %42 oranlarında üretim azalmasından kaynaklanmıştır.1991'den bu yana sürekli üretim artışı izlenen Çin'de gerçekleşen üretim fazlalığı, toplamdaki azalmayı karşılayamamıştır[14].

2.4.2.Gümüş Tüketimi

Fotoğrafçılık,dişçilik ve tıp alanlarından kimya sektörüne kadar geniş kullanım alanına sahip olan gümüşün, 1987-1989 yılları arasında toplam tüketimi yaklaşık 12000 ton/yıl civarındadır.A.B.D gümüşün en çok tüketildiği ülkelerin başında gelmektedir. Gümüş tüketiminin ülkelere göre dağılımı Çizelge.2.5.'de verilmiştir[15].

Çizelge.2.5.Gümüş Tüketiminin Ülkelere Göre Dağılımı (ton)

ÜLKELER	1987	1988	1989
A.B.D.	4075	4106	3876
Japonya	2613	2644	2790
Batı Avrupa (İlk dört büyük ülke)	2706	2799	2790
Hindistan	715	684	622
Diğerleri	2084	2084	2230
TOPLAM	12193	12317	12308

Kaynak:Asmatülü,R. İ.T.Ü. Maden Fak. Bitirme Ödevi, İstanbul-1992

Gümüş tüketiminde fotoğraf sektörü % 42'lik payı ile en büyük tüketici konumunu korumuştur. Dünya borsalarında gümüş fiyatlarındaki dalgalanmalar mevcut üretim miktarlarında etkili olmaktadır. Haziran 1994'de, Hindistan gümüş pazarının etkinliği ve borsadaki hareketlilikle 5.37 \$ US/oz olan fiyatlar, düşüş trendi içinde Eylül 1994'de 3.99 \$ US/oz 'a kadar gerilemiş, Aralık 1994'de ise 4.70 \$ US/oz değerine ulaşmıştır. Gümüşün başlıca tüketim alanları Çizelge.2.6.'da verilmiştir[15].

Çizelge.2.6.Gümüşün Başlıca Tüketim Alanları

SEKTÖR	Dağılım %
Fotograf	40-50
Elektronik	20-30
Para-takı	13-15
Dişçilik	5
Alaşım	5
Diğer	5

Kaynak: "Gold 1993" Gold Fields Minerals Services Ltd.

2.5. Gümüşün Kullanım Alanları

Saf gümüşün kullanım alanları sınırlıdır. Aşınmaya karşı gösterdiği direnç nedeniyle kimya sanayinde tamamen gümüş veya gümüşle kaplanmış kapların yapımında kullanılır.

Gümüş ayrıca; yüksek elektrik iletkenliği, sürtünmeye karşı gösterdiği direnç nedeniyle uçak motorlarında koruyucu tabaka olarak kullanılır.

Gümüş alaşımları da çok kullanılır. Gümüşe uygun alaşımlar katılarak temel özelliklerinde bir farklılık olmadan madenin sertliği artırılabilir. Gümüş-Bakır alaşımları; para, madalya yapımında ve kuyumculukta kullanılır. Ayarları binde cinsinden ifade edilir. Binde 900'lük bir alaşımda (900 ayar) %90 gümüş, %10 bakır bulunur.

Değerli bir maden olan gümüş çok eski zamanlardan beri para olarak kullanılır. Avrupa'da 19.yy'da önemini kaybetmiş, ancak düşük değerli paraların yapımında kullanılmıştır. Mücevher yapımı, el işleri ve ayna sırlarının yapımında gümüşün en eski kullanım alanlarından biridir. Gümüş mücevher yapımında başka metallerde alaşım halinde kullanılır. Gümüşün en çok kullanıldığı yerlerden biride tüketiminin %35'ini oluşturan fotoğrafçılıktır. Gümüş tuzlarının (AgCl , AgBr , AgNO_3) görüntü tanımlama özelliğinden dolayı bu sanayide kullanılmaktadır.

Gümüş yüksek iletkenliği ve oksidasyona olan direncinden dolayı elektrik anahtarlarının yapımında kontakt anahtarı olarak kullanılır. Temel maddesi gümüş olan bir miktar kurşun veya talium içeren bazı alaşımlar uçaklarda motor yatakları ve yüksek basınçlarda sürtünmeye dayanıklı parçaların yapımında kullanılır. Soğutucu ve havalandırma tesisatı endüstrisi gümüşü sert kaynak alaşımı olarak kullanır.

Toplam gümüş tüketiminin %24'ü pillerde, elektrikli ve elektronik parçalarda kullanılır. Gümüş içeren piller yüksek iletim ve ısısal duyarlılık özelliklerine sahiptir. Uzun süre bayatlamadan kalabilirler fakat kullanıldığında çabuk boşalırlar. Maliyetinin yüksek olmasından dolayı bu piller genellikle havacılıkta ve askeri işlerde kullanılır. Bundan sonra en fazla kullanıldığı yer gümüş eşya yapımıdır. Parlatması ve temizlenmesi zor olduğu halde gümüş ev eşyaları popüleritesini korumaya devam etmektedir.

Gümüş, çeşitli usullerle istenilen eşyaların üzerine kaplanarak da kullanılır. Piyasada çok miktarda bulunan ve Alman gümüşü (yeni gümüş) diye tanınan eşyalar aslında %60 bakır, %20 çinko, %20 nikelden oluşan ve gümüş beyazını andıran bir alaşımdır, gümüş içermezler.

Gümüşün çeşitli bileşikleri de tıpta kullanılır. Gümüş nitrat dağlayıcı ve yara kurutucu olarak yeni doğan bebeklerin gözlerini korumak için göz damlası olarak kullanılır [1].

2.6 Gümüş Cevherlerinin Zenginleştirilmesi

Altın ve gümüş içeren cevherler doğada hem metalik hemde kompleks yapılarda bulunabildiğinden, bu cevherlerin zenginleştirilmesine yönelik, günümüze kadar, en basit özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme sistemlerinden, karmaşık biokimyasal sistemlere kadar pek çok yöntem geliştirilmiştir. Gümüşün kazanımına yönelik proseslerin başlangıcı antik çağlara kadar uzanmaktadır.

Amalgamlaştırma, ergitme, flotasyon+amalgamlaştırma, hiposülfid çözündürmesi, klorlayıcı kavurma ve patio prosesi gibi yöntemler, 15.Yüzyıldan 20. Yüzyıla kadar uygulanmıştır. 20. Yüzyılın başlarında siyanür ile çözündürme yönteminin keşfedilmesi altın ve gümüş kazanımında bir devrim niteliğinde olmuştur[2].

Gümüş cevherlerine uygulanan zenginleştirme yöntemleri; fiziksel, fizikokimyasal, kimyasal zenginleştirme yöntemleri olmak üzere üç ana gruba toplanabilir.

2.6.1 Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri

Gümüş cevherlerinin fiziksel zenginleştirilmesinde uygulanan başlıca yöntemler, özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme olmaktadır.

İri boyutta metalik gümüş içeren cevherlerin zenginleştirilmesinde özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme uygulanmaktadır. Gümüş minerallerinin, cevherde bulunan, gang minerallerine göre sahip oldukları yüksek özgül ağırlıklarından yararlanılmaktadır. Bu yöntem: cevher yapısına bağlı olarak ön zenginleştirme, yada son ürün elde etmek amacıyla uygulanabilmektedir.

Özgül ağırlık farkına göre gümüş minerallerinin zenginleştirilmesi sırasında: oluklar, jigler, spiraller, sarsıntılı masalar, akışkan yataklı santrifüj üniteleri, koniler(Reichert Cone) ve hidrosiklonlar kullanılabilmektedir[16,17].

Özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme, kimyasal çözündürme öncesi ön zenginleştirme amacıyla da uygulanabilir. Böylece; kimyasal zenginleştirme uygulanacak olan cevherin miktarı azaltılabileceği gibi, istenmeyen safsızlıkların da devre dışı kalması sağlanır.

2.6.2. Fizikokimyasal Zenginleştirme Yöntemleri

Amalgamlaştırma ve flotasyon yöntemleri bu grubun kapsamına girmektedir.

Flotasyon ile Zenginleştirme

Özellikle siyanür ile çözündürmeye direnç gösteren (refrakter) cevherlerde; altın ve gümüşün sülfürlü mineraller ile birlikte bulunması durumunda, bu metallerin toplu sülfür flotasyonu ile kazanılması söz konusu olmaktadır.

Flotasyonun; doğrudan yada kimyasal çözündürme ile beraber uygulanabilmesi için; cevherin gümüş içeriğinin ve cevher yapısının gümüş minerallerinin yüksek verim ile konsantre edilmesine izin vermesi gerekmektedir.

A.B.D.'nin Kuzeybatısında yer alan, altın ve gümüş içeren Cannon madeninde; nabit altın, elektrum, pirajirit, akantit ve pirit içeren cevher yatağının zenginleştirilmesinde flash flotasyon yöntemi uygulanarak altın ve gümüş %90 verimle elde edilmektedir[8,16, 17,18,19].

Amalgamlaştırma

Siyanür ile çözündürme prosesinin gelişiminden önce; amalgamlaştırma en yaygın gümüş kazanım yöntemi olarak uygulanmaktaydı.Yöntemin esasını gümüşün civa ile; civa-gümüş alaşımı meydana getirmesi oluşturmaktadır. Bu yöntem nisbeten iri boyutlu gümüş ve altın (+0.1 mm) içeren cevherlere uygulanmaktadır. Bazı tesislerde; özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme sonucu yüksek gümüş içerikli bir konsantre elde edilerek bu konsantre amalgamlaştırmaya tabi tutulmaktadır. [16,17].

2.6.3. Kimyasal Zenginleştirme Yöntemleri

Gümüşün kimyasal yöntemlerle kazanımı, altın ile karşılaştırıldığında; doğada kompleks yapıda bulunması nedeniyle çok daha karmaşık olmaktadır.Şekil.2.1. 'de değişik reaktiflerle gümüş kazanımı genel bir şema halinde verilmektedir.Gümüş kazanımında uygulanan kimyasal yöntemler aşağıda kısaca sunulmuştur[16,17].

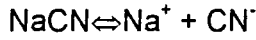
2.6.3.1. Siyanür İle Çözündürme

Değerli metallerin seyreltik siyanür çözeltilerinde çözündürülmesi, yaklaşık yüz yıldır ucuz, seçimli, efektif olması nedeniyle, dünyada pekçok tesiste uygulanmaktadır.Altın cevherlerinden, siyanür ile % 90'ın üzerinde çözünme verimleri ile altın kazanılabilmektedir.

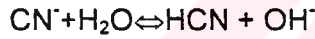
Ancak gümüş içeren cevherlerin 5-6 çeşit gümüş mineralini birarada içermesi, gümüşlü minerallerin çözünme özelliklerindeki farklılıklar, gümüşün siyanür ile çözünme mekanizmasında karmaşıklıkta gündeme getirmektedir[16].

Altın ile Gümüşün siyanür ile çözündürülerek kazanımının, endüstriyel çapta uygulanması 1800 lü yılların sonunda başlamıştır. Altının, Potasyum siyanür ile çözündürülmesine ait ilk patent 1887 yılında Robert ve William kardeşler tarafından alınmıştır. Gümüş cevherlerinin endüstriyel çapta siyanür ile kazanımı Dünyada ilk defa 1900 yılında Meksika-Sirena' da uygulanmıştır[20].

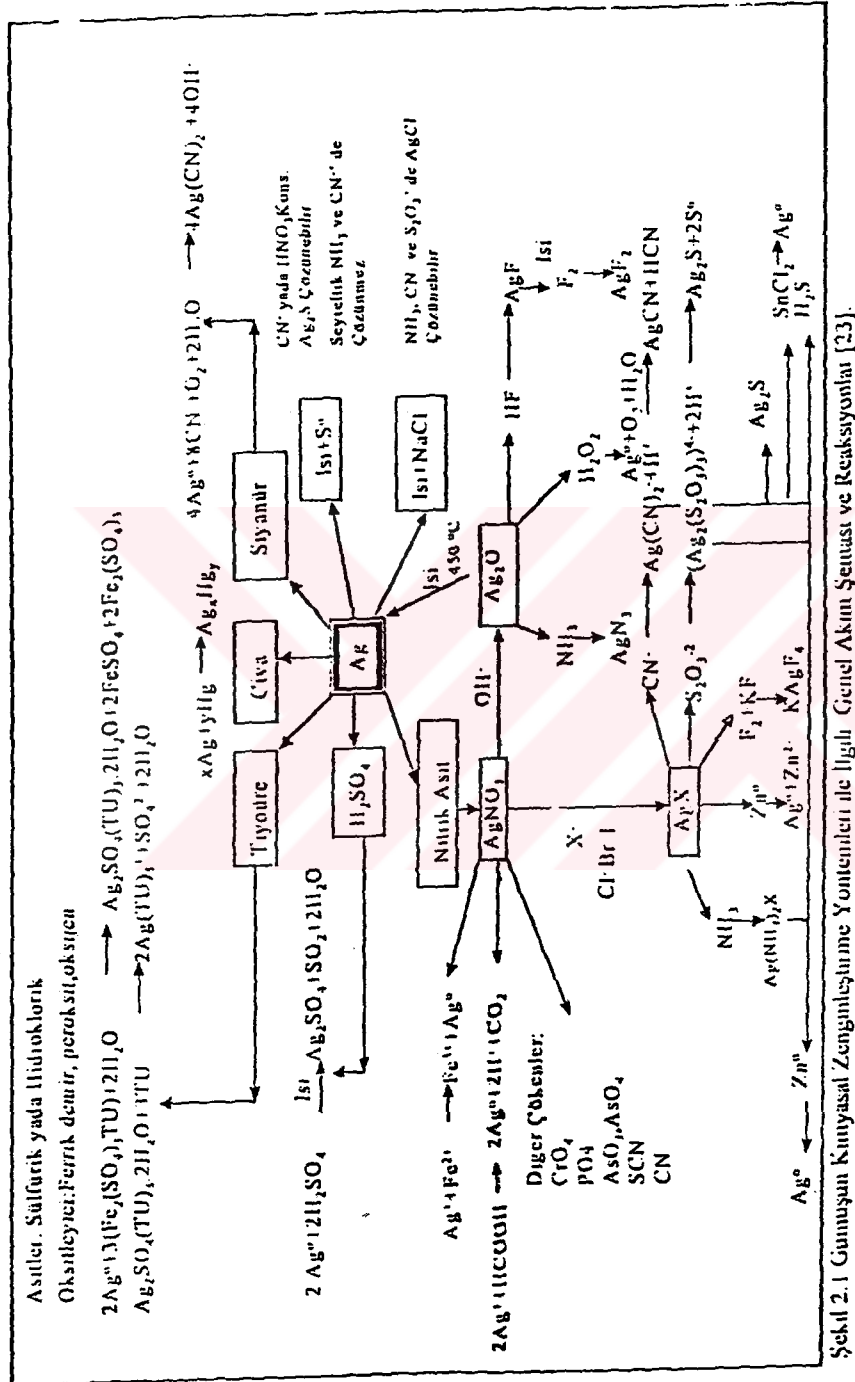
Sodyum , potasyum, kalsiyum siyanür gibi basit siyanür tuzları su içinde metal katyonu ve serbest siyanür iyonları verecek şekilde kolayca çözünürler.

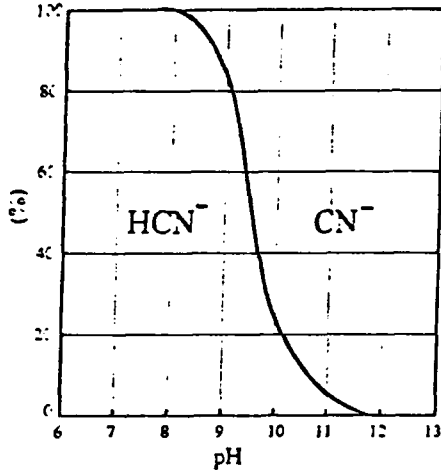


Çözeltinin pH 'sına bağlı olarak; su içinde serbest siyanür iyonları hidrolize uğrayarak aşağıdaki tepkimelere göre HCN ve OH⁻ iyonlarını meydana getirirler.



HCN ve CN⁻ iyon konsantrasyonlarının pH ' ya bağlı olarak değişimi şekil 2.2. 'de verilmiştir. pH nın 9.3 olması halinde ortamda eşit miktarda HCN ve CN⁻ iyonları bulunmaktadır. pH' nın 9.3' den büyük değerlerinde ortamda CN⁻ , küçük değerlerinde HCN konsantrasyonu yükselir. Buna bağlı olarak, siyanür liçinin hem CN⁻ iyonlarının daha fazla olduğu ortamda yapılması hem de HCN gazının oluşmasını önlemek zorunluluğu dikkate alındığında siyanür çözeltilerinin pH 9.3 'ün üzerinde olması gerektiği ortaya çıkar. Siyanürlü çözeltilerin pH'sını istenilen değerde tutabilmek amacıyla ortama verilen bazlara "koruyucu alkali" denir ve endüstriyel uygulamalarda bu amaç için kireç (CaO) kullanılmaktadır[16,22].



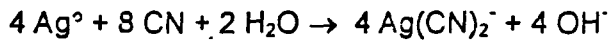


Şekil 2.2. Farklı pH Değerlerinde CN⁻-HCN Arasındaki İlişki

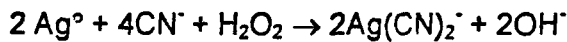
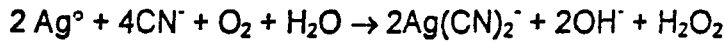
Gümüşün Siyanür ile Çözündürülme Teorileri

Siyanür çözeltilerinde gümüşün çözünme mekanizmasını açıklamak üzere çok çeşitli teoriler öne sürülmüştür. Bu teorilerin başlıcaları; oksijen teorisi, hidrojen peroksit teorisi ve korozyon teorisidir[16,17,19].

1- Oksijen Teorisi: Elsner tarafından 1846 yılında öne sürülen teoriye göre siyanürlü çözeltilerden gümüşün kazanımında oksijen varlığı büyük önem taşımaktadır.

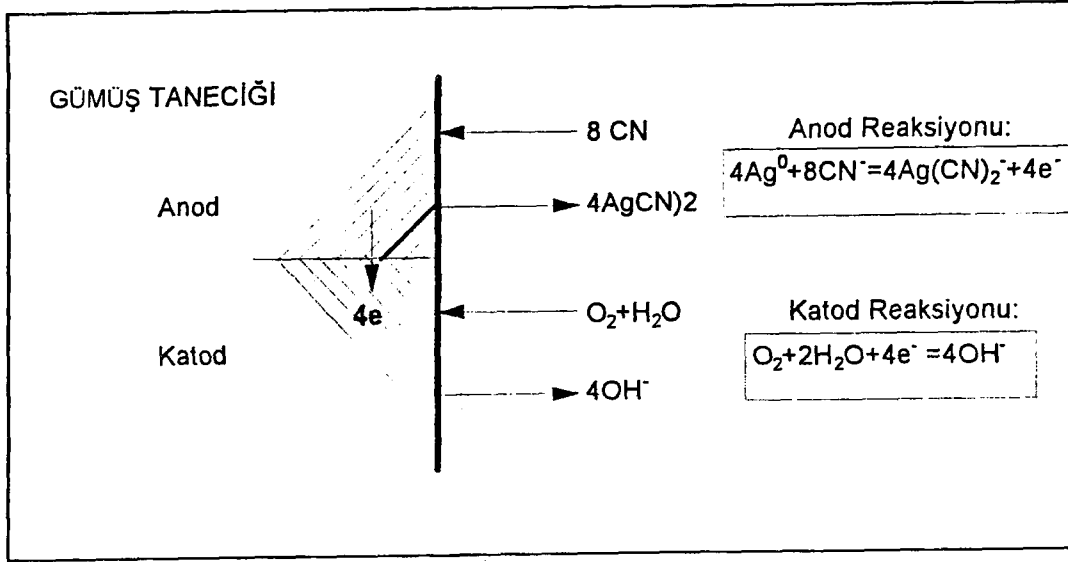


2- Hidrojen Peroksit Teorisi: Boadlender'e göre(1896) gümüşün siyanürlü çözeltilerdeki çözünürlüğü iki aşamalı reaksiyon ile gerçekleşmektedir.



Boadlender'in her iki reaksiyonuna göre H₂O₂ ara ürün olarak oluşmaktadır.

3-Korozyon Teorisi:Altın ve gümüşün siyanür çözeltilerinde çözünme prosesi elektro kimyasal yapıdadır(Şekil.2.3.). Mineral taneciğinin anod bölgesinde , Au ve Ag elektron vererek yükseltgenirken; katodik bölgede oksijen OH⁻ iyonlarına indirgenir.



Şekil.2.3.Gümüşün Siyanür Çözeltisi İçindeki Elektrokimyasal Yapıdaki Reaksiyonları

Korozyon prosesinde reaksiyonlar birbirini izleyen kademeler şeklinde yürür:

- 1.Çözeltideki siyanür ve oksijenin katı-sıvı ara yüzeylerine difüzyonu
- 2.CN⁻ ve O₂'nin katı yüzeyine adsorblanması
- 3.Elektrokimyasal reaksiyonların gerçekleştirilmesi
- 4.Katı yüzeylerinden gümüş-siyanür bileşiklerinin ve diğer reaksiyon ürünlerinin ayrılıp çözeltiye geçmesi[16,17,19].

Gümüş minerallerinin siyanür çözeltilerinde çözünmesine etki eden faktörler arasında;NaCN konsantrasyonu, koruyucu alkali konsantrasyonu, Eh ve pH değerleri, katı/sıvı oranı, çözündürme süresi,pülp sıcaklığı sayılabilir.Belli başlı faktörlerin siyanürasyona etkisi aşağıda verilmiştir.

Oksijenin Çözündürmeye Etkisi

Seyreltik siyanür çözeltilerinde oksijen miktarı; barometrik basınca, çözelti sıcaklığına, karıştırma tipine ve hızına, çözeltinin iyonik kuvvetine bağlı olmaktadır. Gümüşün siyanür çözeltisi içerisinde çözünebilmesi için oksijen mevcudiyeti zorunludur. Bu da çözeltinin uygun şekilde karıştırılmasıyla ya da ortama oksijen verebilecek H₂O₂ (hidrojen peroksit) gibi kimyasal maddelerle sağlanmaktadır[22].

Siyanür Konsantrasyonunun Etkisi

Çeşitli araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalar; maksimum çözünme verimlerinin seyreltik siyanür çözeltilerinde elde edildiğini göstermektedir.

Barsky ve diğerleri; metalik gümüşün maksimum çözünme veriminin %0.1'lik NaCN konsantrasyonunda elde edildiğini saptamışlardır[21].

Koruyucu Alkali İlavesinin Çözündürmeye Etkisi

Siyanür çözeltileri içerisinde gümüşün çözünebilmesi için çözünmenin gerçekleştiği ortam içerisinde yeterli miktarda serbest siyanür mevcudiyeti zorunludur. Bu da ancak pH'nın 9.3 den büyük olduğu değerlerde mümkündür. Şekil.2.3.farklı pH değerlerinde CN^- ve HCN arasındaki ilişkiyi göstermektedir.pH'nın istenilen değerde tutulması için çözeltiliye CaO, NaOH gibi koruyucu alkali ilavesi ile sağlanmaktadır. Siyanürasyonda genellikle ucuz olmasından dolayı kireç kullanılmaktadır. Koruyucu olarak kullanılan kireç konsantrasyonu gümüş mineralleri içeren cevherler için % 0.02-0.1 düzeylerinde tutulur.

Kireç kullanımının sodyum hidroksite göre altın çözünürlüğünü yavaşlattığı bilinmesine rağmen uygulamada ekonomik sebeplerden dolayı kireç tercih edilmektedir.Refrakter gümüş cevherlerinin siyanür ile çözündürülmesinde, Acarkan (1994) ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada Ca^{+2} iyonlarının yüksek konsantrasyonlarda refrakter gümüş cevherlerinin çözünmesini olumlu etkilediği ve siyanür tüketimini azalttığı ortaya konulmuştur[22, 26].

Siyanürasyonda Sıcaklığın Etkisi

Gümüşün siyanür çözeltileri içinde çözündürülmesinde siyanür çözeltilisinin sıcaklığının artırılması iki yönde etki yaratır:

1-Pülp sıcaklığının artışı ile gümüş ile siyanür arasındaki reaksiyonun hızı da artar ve bu reaksiyon elektrokimyasal yerine sadece kimyasal yapıda gerçekleşir.

2-Pulp sıcaklığının artışı siyanür tüketimlerini de yüksek düzeyde artırır; NaCN tüketimi 80 °C pülp sıcaklığında, oda sıcaklığındaki NaCN tüketimlerine göre 2-3 misli daha fazla olabilmektedir.[21].

Siyanürasyonda Yabancı İyonların Etkisi

Altın ve gümüş kazanımında siyanür uygulamasının etkinliği, yalnızca altın yada gümüşün çözünürlüğüne bağlı değildir. Aynı zamanda bu minerallerin beraber bulunduğu diğer minerallerin de etkisi çok önemli olmaktadır. Özellikle sülfürlü minerallerle birlikte bulunan altın ve gümüş minerallerinin siyanürasyonda kararsız yapıda bulunan sülfürlerin siyanür ile reaksiyona girmesi, reaksiyon sonucu oluşan bileşiklerin ortamdaki oksijenle reaksiyon yapma eğilimi, pülpteki altın ve gümüşün çözünmesi için gerekli olan siyanür ve oksijen miktarını azaltma yönünde rol oynar.

Refrakter tip altın ve gümüş cevherlerinde çoğunlukla var olan Zn, Cu, Fe gibi metaller siyanürasyonda yaşanan sorunların çoğunluğunu oluşturur. Cevher yapısında bulunan metal iyonlarının çoğunlukla çok kararlı olan metal-siyanür bileşiklerini oluşturabildikleri bilinmektedir[16,21].

Siyanürasyonda Etkin Rol Oynayan Mineraller [16,21].

Altın ve gümüş cevherlerinde sıklıkla karşılaşılan ve siyanürasyonda etkin rol oynayan mineral gruplarının siyanür çözeltilerindeki davranışları aşağıda belirtilmiştir.

Demir Mineralleri

Oksitlenmiş demir minerallerinin siyanürasyonda çok az etkisi olmasına rağmen ; pirit, markasit ve pirotit gibi sülfürlü olanları siyanür çözeltisi içerisinde bozunma eğilimindedirler. Pirit, sülfürlü demir mineralleri içerisinde en fazla kararlı olanıdır. Genel formülü Fe_mS_{m+1} olan pirotit, piritten ve diğer sülfürlü minerallerden farklılık gösterir ve siyanür çözeltilerinde, sodyum tiyosiyanat ($NaSCN$) gibi bileşikler oluşturabilecek kimyasal özelliklere sahiptir. Hava ile temas halinde kolaylıkla elemental sülfür oluşturur. Geride kalan $[FeS]$ kısmi oksidasyona uğrar ve iki ve tek değerlikli demir sülfat oluşturur ki bu da siyanür ile tepkimeye girerek siyanür komplekslerini oluşturur. Bu reaksiyonlar pirotitin sadece güçlü bir siyanisit olmadığını, aynı zamanda siyanürasyon için gerekli olan oksijeni de tükettiğini göstermektedir.

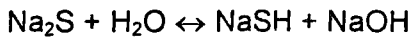
Pirotitin siyanürasyondaki olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için, siyanür ile çözüldürmenin 9.5-10 gibi düşük pH larda yapılması ve çözüldürme öncesi pülpün havalandırılması gibi endüstriyel uygulamalar da kullanılmaktadır[16,21].

Çinko Mineralleri

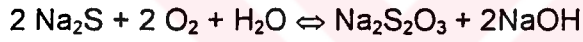
Sfaleritin siyanür çözeltisinde çözünmesi aşağıdaki gibi olur;



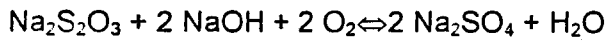
Su içinde sodyum sülfür tamamen hidrosülfür ve hidroksite hidrolize olur;



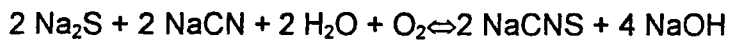
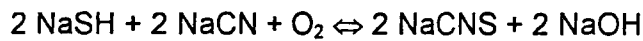
Oksijen varlığında sodyum hidrosülfür ve sodyum sülfür oksitlenerek sodyum tiyosülfata dönüşür;



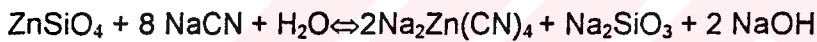
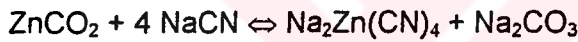
ve sonra sülfata dönüşür;



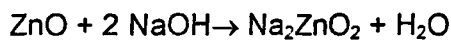
Tiyosülfatın yanında sülfidler ve tiyonatlar gibi diğer ara ürünler oksidasyon işlemi sırasında oluşurlar. Sodyum siyanür varlığında, sodyum tiyosiyanat aşağıdaki şekilde oluşur;



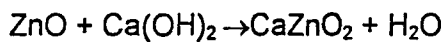
Seyreltik siyanür çözeltisi içinde, yukarıdaki tüm reaksiyonların gerçekleşmesi ve sfalerit, siyanür çözeltisi içinde çözündüğünde çözeltinin çift çinkosiyanüre ilave olarak sülfat, tiyosiyanat ve ara sülfür bileşikleri içermesi olasıdır. Reaksiyonların son ürünlerinin ve tiyosiyanatın haricinde bu sülfür bileşiklerinin hepsi bozunmaları sırasında oksijen tüketenlerdir. Bu yüzden bu ürünler, değerli minerallerin çözünmesi için gerekli olan oksijen için yarışacaklardır. Bunun anlamı değerli minerallerin çözünmesi için kullanılan çözelti içindeki oksijeni muhafaza etmek için siyanür içerisinde sfaleritin bozunması sırasında oluşan ara sülfür ürünleri oluşacakları ana kadar çözelti sürekli oksitlenmelidir. daha fazla çinkonun çözündüğü çinkonun içerisinde daha fazla siyanür tüketilir ve daha fazla oksijen tüketen bileşikler oluşur. Siyanür çözeltisi içinde oksit çinko minerallerinin çözünmesi daha az karmaşıktır.



Oksit mineralleri siyanürle çözündüğünde, sodyum çinko siyanüre ilaveten NaOH, Na₂CO₃ gibi alkali bileşikleri de oluşur. Siyanür çözeltisindeki bu bazik bileşikler aynı zamanda oksit çinko mineralleri ile reaksiyona girer. Eğer bu alkali sodyum hidroksit ise çözünebilen sodyum zinkat oluşur;



Ca(OH)₂ ise;



Bakır Mineralleri:

Leaver ve Woolf, çeşitli bakır minerallerinin ve metalik bakırın siyanür içerisindeki çözünürlüğünü belirlemek üzere çalışmalarda bulunmuşlardır. Deneyler sonucunda ; bakır minerallerinin siyanür çözeltileri içerisindeki çözünme düzeyleri Çizelge.2.7 .'de verilmiştir.

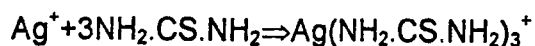
Çizelge.2.7.Siyanür Çözeltileri İçinde Bakır Minerallerinin Çözünme Düzeyleri

Mineral	Kimyasal Formülü	Çözünen Toplam Bakır (%) 23°C'de	Çözünen Toplam Bakır (%) 45°C'de
Azolit	2 CuCO ₃ .Cu(OH) ₂	94.5	100
Malakit	CuCO ₃ .Cu(OH) ₂	90.2	100
Küprit	Cu ₂ O	85.5	100
Krizokol	CuSiO ₃	11.8	15.7
Kalkozin	Cu ₂ S	90.2	100
Kalkopirit	CuFeS ₂	5.6	8.2
Bornit	FeS.2 Cu ₂ S.CuS	70	100
Enarjit	3 CuS.As ₂ S ₂	65.8	75.1
Tetraedrit	4 Cu ₂ S.Sb ₂ S ₃	21.9	43.7
Metalik Bakır	Cu	90	100

Bu sonuçlardan; azurit, kalkozin, küprit, malakit ve ince taneli metalik bakırın siyanürasyon çözeltilerinde kolayca ve tamamen çözüldüğü saptanmıştır. Bornit aynı koşullar altında büyük oranda çözünme gösterir. Enarjit ve tetraedrit ise içerdiği arsenik ve antimon nedeniyle aşırı siyanür kaybına ve kirlenmesine sebep olmaktadır. Krizokol ve kalkopirit bakır minerallerinin en az çözünebilen olanlarıdır. Bütün bakır minerallerinin çözünme oranı siyanür çözeltisinin ısısındaki azalma ile düşer[16,21].

2.6.3.2. Tiyoüre İle Çözündürme

Son zamanlarda, gümüşün kimyasal çözündürme ile zenginleştirilmesinde, siyanür liçi prosesine alternatif olarak tiyoüre liçi prosesi geliştirilmiştir. Gümüşün tiyoüre çözeltisi içinde çözündürülmesi ile ilgili ilk çalışma 1941 yılında Plaskin ve Kozhukova tarafından yapılmıştır. Gümüşün tiyoüre ile çözünme mekanizması aşağıdaki reaksiyonla açıklanabilir[23].



1992 yılında, E.AÇMA ve arkadaşları tarafından Kütahya-Gümüşköy pasa cevheri üzerinde, tiyoüre liçi ile refrakter tip cevherden gümüş kazanımı amaçlı bir çalışma yapılarak, bu çalışma sonucunda; basınç altında liçi takiben yapılan tiyoüre liçi ile % 98 Ag çözündürme verimi ile gümüş kazanılmıştır[24].

Schulze (1908); çinko hidromatalurjisi içinde gümüş kazanımında tiyoüreyi kuvvetli bir çözücü olarak önermektedir. Zegarra ve diğerleri tarafından (1988) yapılan bir çalışmada; manganlı demir cevherlerinden doğrudan siyanür ile kazanılamayan altın ve gümüş için asidik tiyoürenin en uygun çözücü olduğu belirtilmektedir[23].



BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölüm, deneylerde kullanılan numunenin özelliklerini, deneysel çalışmaların yöntemini ve farklı koruyucu alkaliler ile yapılan siyanürasyon deneylerini kapsamaktadır.

3.1. Deneylere Esas Olan Numune

Deneylerde kullanılan numune, Kütahya-Gümüşköy bölgesine ait, halen 100. Yıl Gümüş İşletmesi'nde çalışılmakta olan cevher türlerinden Pasa cevheri üzerinde, ksantatlar ile uygulanan toplu sülfür flotasyonu sonucu elde edilmiştir. Siyanürasyon ile çözündürme deneyleri, % 1.064 Ag içeren bu ön konsantre üzerinde yürütülmüştür.

3.2. Deney Numunesinin Özellikleri

Cevherin kimyasal ve minerolojik özellikleri ile boyut dağılımı aşağıda verilmiştir.

3.2.1. Numunenin Minerolojik ve Kimyasal Özellikleri

Deneylerde kullanılan cevher üzerinde İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim dalında yapılan minerolojik etüdlerin sonuçları aşağıda özet halinde verilmiştir [25]. Deneylerde kullanılan numunenin kimya analiz sonuçları Çizelge 3.1 'de verilmiştir.

Cevherdeki gümüş mineralleri; nabit gümüş, pirarjirit, arjantit, gümüşlü tetraedritten oluşmaktadır. Ayrıca cevher bileşiminde ; galen, sfalerit, antıman, hematit, limonit, götit, psilomelan, manganit, feldspat, kalsit, dolomit ve kuvars mineralleri de gözlenmiştir. Cevherdeki gümüş minerallerinin belli başlı özellikleri aşağıda verilmiştir.

Nabit Gümüş; cevherdeki diğer gümüş minerallerine oranla daha yaygın olarak izlenmektedir. Çoğunlukla serüzit içerisinde saçılım halinde, kuvars ve barit damarlarının çatlaklarında veya dokanaklarında şekilsiz, yuvarlağımsı ve kurtçuk şekilli taneler halinde izlenmektedir. Yapılan ölçümler nabit gümüş tane boyutlarının 5-120 mikron arasında değiştiğini, ortalama tane boyutunun ise 30 mikron dolayında olduğunu göstermiştir.

Bazı örneklerde ise galen içerisinde kapanım halinde ve 5-15 mikron arasında değişen boyutlarda izlenmektedir.

Pirarjirit; Kesitlerde özbiçimli, hatta bazen çubuk şekilli prizmatik kristaller halinde, çoğunlukla galen kristallerinin kenarlarında ve içerisinde 20-50 mikron arasında değişen boyutlarda izlenmektedir. Pirarjirit genellikle galeni onartmaktadır.

Pirarjirit ayrıca barit ve kuvars damarları içindeki kırık ve çatlaklarda diğer sülfürlü mineraller ile birlikte 30-120 mikron arasında değişen boyutlarda güzel kristaller halinde izlenmektedir. Yeryer barit içerisinde yaygın olarak izlenen antıman kristallerinin kenarlarında da izlenmektedir.

Arjantit; Genellikle galen içinde veya galenin alterasyonu sonucunda oluşan serüzit içinde saçılım halinde 20-50 mikron arasında değişen boyutlarda izlenmektedir.

Gümüşlü Tetraedrit; Genellikle galen içinde 20-50 mikron arasında değişen boyutlarda kapanım halinde gözlenmektedir. Gümüşlü tetraedrit , kuvars damarları içerisinde bulunan özbiçimli galen kristallerinde daha yaygın olarak bulunmaktadır.

Cevherdeki barit ve kuvars, çoğunlukla, kırık ve çatlakları doldurmuş damarlar halinde veya matriks yapıcı mineral olarak gözlemlenmektedir. Yeryer boşluklarda gelişmiş, güzel barit ve kuvars kristallerine yaygın olarak rastlanmaktadır.

Çizelge.3.1. Deneyde kullanılan Numunenin Kimyasal Analiz Sonuçları

ELEMENT	İÇERİK %
Ag	1.064
Cu	0.22
Pb	3.50
Zn	6.62
S	2.45
As	1.51
Sb	1.64
SiO ₂	28.95

3.2.2. Numunenin Boyut Dağılımı

Siyanürasyon deneyleri öncesindeki, ön zenginleştirme amaçlı toplu sülfür flotasyonunda kullanılmak üzere, maksimum tane boyutu 35 mm olan tüvenan cevher, sırasıyla; çeneli, konili, merdaneli kırıcı ve akabinde bilyalı değirmenden geçirilerek , 0.112 mm boyutunun altına indirilmiştir. Toplu sülfür flotasyonu ve devamında siyanürasyon deneylerinde kullanılan bu numunenin boyut dağılımı Çizelge.3.2.'de verilmiştir.

Çizelge.3.2. Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde Kullanılan Numunenin Elek Analizi Sonuçları

Boyut Aralığı (mm)	Miktar (%)	Toplam Elek Üstü (%)	Toplam Elek Altı (%)
-0.112 +0.074	19.8	19.8	100.0
-0.074 +0.053	18.5	38.3	80.2
-0.053 +0.038	26.6	64.9	61.7
-0.038	35.1	100.0	35.1
TOPLAM	100.0		

3.3. Siyanür ile Çözündürme Deneyleri

% 1.064 Ag içerikli ön konsantre üzerinde siyanürasyon deneyleri yapılarak, siyanürasyonda koruyucu alkali olarak kullanılan bazların $[Ca(OH)_2]$, NaOH, KOH] katyonlarının, gümüş minerallerinin çözündürülmesine etkisi araştırılmıştır.

3.3.1. Yöntem

Gümüş minerallerinin siyanür ile çözündürülmesinde, farklı alkali metal katyonlarının etkisini belirlemek amacıyla, her bir koruyucu alkali $[Ca(OH)_2]$, NaOH, KOH] ile benzer koşullarda çözündürme deneyleri yapılmış ve çözündürme deneylerinde aşağıda belirtilen faktörlerin gümüşün çözündürülmesine etkisi araştırılmıştır.

Deneylerde incelenen faktörler:

- * Çözündürme süresi
- * Koruyucu alkali konsantrasyonu
- * NaCN konsantrasyonu
- * Pülp sıcaklığı

Çalışmanın son aşamasında ise; deneylerden elde edilen sonuçlar, farklı alkaliler açısından değerlendirilmiştir.

Siyanürasyon deneyleri; % 1.064 Ag içerikli ön konsantreden 4 gr numune kullanmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Çözündürme 100 cc lik beherlerde yapılmış, çözündürme deneylerinde kolaylıkla alikot alabilmek için pülpün katı/sıvı oranı 1/15 seçilmiş ve karıştırıcı olarak manyetik karıştırıcı kullanılmıştır.

Her bir deneyde ; 1, 2, 4, 8, 24, 32, 48 saatlik sürelerin sonunda, çözeltiden alikot alınarak, çözeltinin NaCN ve koruyucu alkali konsantrasyonları saptanmış ve gerekli reaktif ilaveleri yapılarak; siyanür çözeltisinin NaCN ve koruyucu alkali konsantrasyonlarının sabit tutulmasına çalışılmış; ayrıca, reaktif tüketimleri belirlenmiştir.

Her bir deneyin bitiminde liç artığının Ag içeriği atomik absorpsiyon (spektrofotometre) yöntemiyle saptanarak; deneye ait Ag çözünme verimleri hesaplanmıştır.

Siyanür ve koruyucu alkali konsantrasyonlarının tesbitinde titrasyon metodu kullanılmıştır. Çözeltideki NaCN konsantrasyonu tesbiti için titrasyon çözeltisi olarak AgNO_3 ; indikatör olarak Rodanin, koruyucu alkali konsantrasyonu tesbiti için ise; titrasyon çözeltisi olarak okzalik asit, indikatör olarak fenol fitalein kullanılmıştır.

3.3.2. Koruyucu Alkali Olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin Kullanılmasıyla Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneyleri

Koruyucu alkali olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin kullanıldığı deneylerde, daha önce belirtilen faktörlerin çözündürmeye olan etkileri araştırılmıştır.

Çözündürme Süresinin Çözündürmeye Etkisi

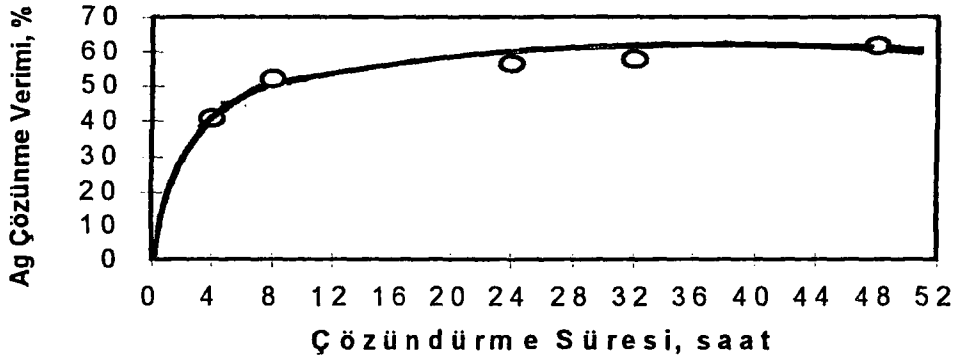
Farklı çözündürme sürelerinin, çözündürmeye etkisini belirlemek amacıyla, aşağıda belirtilen sabit koşullarda deneyler yapılmış ve deneylerin sonuçları Çizelge.3.3.'de verilmiştir.

Deneylerin sabit koşulları

NaCN konsantrasyonu	: 2 g/l
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonu	: 0.6 g/l
Katı/sıvı oranı	: 1/15
Sıcaklık	: 20 ± 2 °C
pH	: 11.0-11.8

Çizelge.3.3. Koruyucu Alkali Olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Kullanılan Deneylerde, Çözündürme Süresinin Çözündürmeye Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları

Çözündürme Süresi (saat)	Katıda Ag İçeriği (%)	Tüketimler		Ag Çözünme Verimi (%)
		NaCN (kg/t)	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kg/t)	
4	0.67	28.00	3.26	40.92
8	0.51	32.64	4.27	52.10
24	0.55	38.70	7.17	56.50
32	0.54	48.20	10.03	57.80
48	0.48	52.83	13.74	61.75



Şekil.3.1.Koruyucu Alkali Olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin Kullanıldığı Deneylerde Ag Çözünme Veriminin Çözündürme Süresine Bağlı Olarak Değişimi.

Deney sonuçları incelenecek olursa; çözündürme süresinin artırılmasıyla, Ag çözünme veriminde artış sağlanmıştır (Şekil.3.1.). 4 saatlik çözündürmede yaklaşık %41 olan Ag çözünme verimi, çözündürme süresinin 48 saate çıkarılmasıyla yaklaşık %62 'ye kadar yükseltilmiştir. Bu sonuçlardan; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ koruyucu alkali ile yapılan siyanürle çözündürme çalışmalarında, çözündürme süresinin uzun tutulması gerektiği anlaşılmaktadır.

Ayrıca bu sonuçlardan, çözündürme süresinin artışıyla, NaCN ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tüketiminin de arttığı; 4 saatlik çözündürme sonunda 28 kg/t NaCN, 3.26 kg/t $\text{Ca}(\text{OH})_2$ olan reaktif tüketimlerinin, 48 saatlik çözündürme sonunda 52.83 kg/t NaCN, 13.74 kg/t $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'e yükselmiştir (Çizelge.3.3.)

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ Konsantrasyonunun Çözündürmeye Etkisi

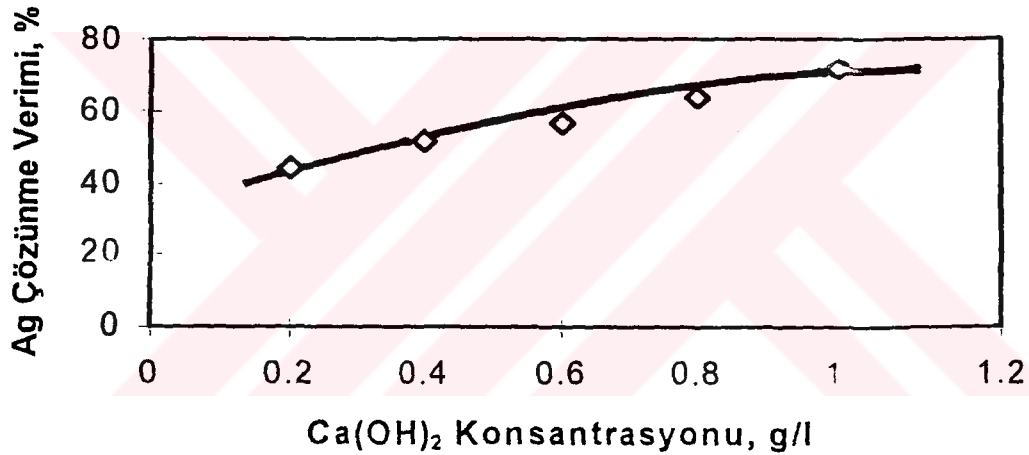
Bu seri deneylerde, farklı konsantrasyonlarda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile çözündürme deneyleri yapılarak, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonunun, Ag çözünme verimine olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla; 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve 1.0 g/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonlarında deneyler yapılmıştır. Deneylerin sonuçları Çizelge.3.4.'de ve deneylerin sabit koşulları aşağıda verilmiştir.

Deneylerin sabit koşulları

NaCN konsantrasyonu	: 2 g/l
Çözündürme süresi	: 24 saat
Katı/sıvı oranı	: 1/15
Sıcaklık	: 20±2 °C

Çizelge.3.4. Koruyucu Alkali Olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Kullanılan Deneylerde, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Konsantrasyonunun Çözündürmeye Etkisini Belirlemek için Yapılan Deneylerin Sonuçları.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ Konsantrasyonu (g/l)	pH	Katıda Ag İçeriği (%)	Tüketimler		Ag Çözünme Verimi (%)
			NaCN (kg/t)	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kg/t)	
0.2	11.20	0.62	39.11	3.68	44.30
0.4	11.50	0.46	38.9	5.040	51.59
0.6	11.70	0.55	38.7	7.170	56.50
0.8	11.90	0.39	35.87	23.29	63.73
1.0	12.10	0.31	30.95	26.16	71.84



Şekil.3.2. Koruyucu Alkali Olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin Kullanıldığı Deneylerde – Ag Çözünme Veriminin $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Konsantrasyonuna Bağlı Olan Değişimi.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ koruyucu alkali kullanılarak, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonunun çözündürmeye olan etkisinin araştırıldığı deneylerin sonucunda; Çizelge.3.3. ve Şekil.3.2.'den de görülebileceği gibi, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonu arttıkça Ag çözünme verimi de lineer olarak artmaktadır. Düşük $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonlarında % 45-50 seviyelerinde olan Ag çözünme verimi, 1.0 g/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonunda yapılan çözündürmede % 72 seviyesine ulaşmıştır. Bunun yanısıra ; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tüketiminde, konsantrasyon artışına bağlı olarak bir artış saptanırken, artan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonunun NaCN tüketimini düşürdüğü anlaşılmıştır.

NaCN Konsantrasyonunun Çözündürmeye Etkisi

Siyanürasyonda genellikle seyreltik siyanür çözeltilerinde çalışılmaktadır. Fakat, cevherdeki gümüş minerallerinin sülfürlü minerallerle birlikte bulunması ve kullanılan numunenin Ag içeriğinin yüksek sayılabilecek düzeyde olmasından dolayı, siyanür konsantrasyonu artırılarak, siyanür konsantrasyonu artışının çözündürmeye ne şekilde etki ettiği gözlenmek istenmiştir. Bu amaçla; 2 ve 4 g/l NaCN konsantrasyonlarında çözündürme yapılmıştır. Deneylerin sabit şartları aşağıda ve deneylerin sonuçları Çizelge.3.5.'de verilmiştir.

Deneylerin sabit şartları

Ca(OH)₂ konsantrasyonu : 1.0 g/l

Çözündürme süresi : 24 saat

Katı/sıvı oranı : 1/15

Sıcaklık : 20±2 °C

pH : 11.9-12.4

Çizelge.3.5. Koruyucu Alkali Olarak Ca(OH)₂ Kullanılarak Yapılan Çözündürme Deneylerinde NaCN Konsantrasyonunun Çözündürmeye Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

NaCN Konsantrasyonu (g/l)	Katıda Ag İçeriği (%)	Tüketimler		Ag Çözünme Verimi (%)
		NaCN (kg/t)	Ca(OH) ₂ (kg/t)	
2	0.31	30.95	26.16	71.84
4	0.33	37.94	24.70	69.73

Siyanür konsantrasyonunun çözündürmeye etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerde siyanür konsantrasyonunun artırılmasının Ag çözünme verimini arttırmadığı saptanmıştır.Çizelge.3.5.'ten de görülebileceği gibi NaCN konsantrasyonunun 2 g/l 'den 4 g/l' ye çıkarılması ile % 71.84 olan Ag çözünme verimi % 69.73'e düşmüştür.Bunun yanında siyanür tüketimi artış göstermiştir. Bu durumda düşük siyanür konsantrasyonlarında çalışmanın daha iyi sonuç verdiği anlaşılmıştır.

Pülp Sıcaklığının Çözündürmeye Etkisi

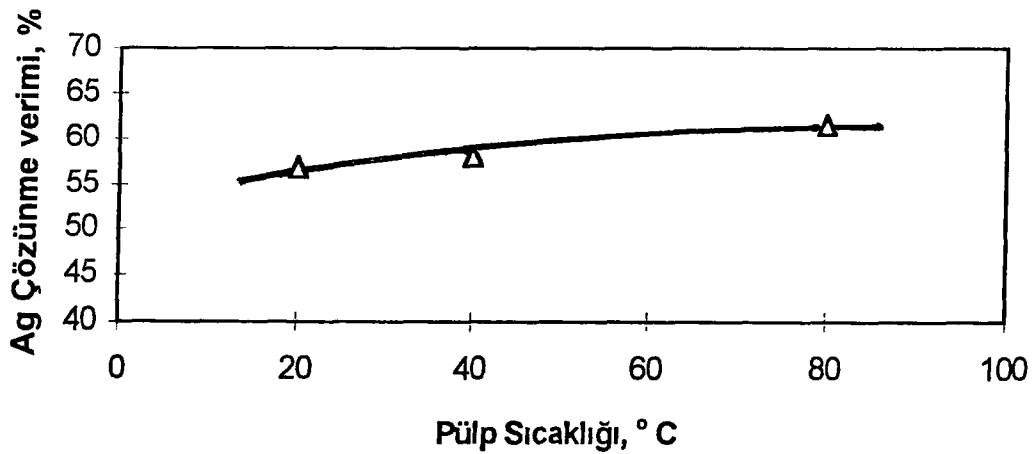
Sıcaklığın, reaksiyonların hızı açısından bir katalizör vazifesi yaptığı, reaksiyonların hızını ve çözeltinin aktivitesini arttırdığı bilinmektedir. Bu sebeple 20 °C , 40 °C ve 80 °C pülp sıcaklıklarında deneyler yapılmış ve sıcaklık artışının Ag çözünme verimine etkisi incelenmiştir. Deney sonuçları Çizelge 3.6. 'da , deneylerin sabit şartları ise aşağıda verilmiştir.

Deneylerin sabit şartları

Ca(OH) ₂ konsantrasyonu	: 1.0 g/l
NaCN konsantrasyonu	: 2.0 g/l
Çözündürme süresi	: 8 saat
Katı/sıvı oranı	: 1/15
pH	: 11.9-12.4

Çizelge.3.6.Koruyucu Alkali Olarak Ca(OH)₂ Kullanılarak Yapılan Siyanür İle Çözündürmede Sıcaklığın Çözündürmeye Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

Sıcaklık °C	Katıda Ag İçeriği (%)	Tüketimler		Ag Çözünme Verimi (%)
		NaCN (kg/t)	Ca(OH) ₂ (kg/t)	
20	0.50	29.47	5.03	56.85
40	0.46	33.58	12.37	58.00
80	0.43	44.92	20.89	61.43



Şekil.3.3.Koruyucu Alkali Olarak Ca(OH)₂ Kullanılan Deneylerde Pülp Sıcaklığına Bağlı Olarak Ag Çözünme Verimi Değişimi.

Çizelge 3.6 ve Şekil 3.3.'deki sonuçlar değerlendirilecek olursa; sıcaklık artışıyla Ag çözünme veriminde bir artış sağlanmış ve 80 ° C pülp sıcaklığı ile yapılan deneyde , çözündürmenin 8 saat gibi az bir zamanda gerçekleşmesine rağmen , % 61.43 Ag çözünme verimine ulaşılmıştır. Fakat sıcaklık artışı ile NaCN ve Ca(OH)₂ tüketimleri de artmıştır. Buradan da sıcaklık artışının siyanürün bozulmasını artırdığı ve fazla siyanür tüketimine sebep olduğu belirlenmiştir.

3.3.3. Koruyucu Alkali Olarak NaOH 'ın Kullanılmasıyla Yapılan Siyanür İle Çözündürme Deneyleri

Bu grup deneylerde de; çözündürme süresi, NaOH konsantrasyonu, NaCN konsantrasyonu ve pülp sıcaklığının gümüşün siyanür ile çözündürülmesine olan etkilerini belirlemek için deneyler yapılmıştır.

Çözündürme Süresinin Çözündürmeye Etkisi

Bu grup deneylerde ; çözündürme süreleri 4, 8, 24, 32 ve 48 saat olarak alınmış ve çözündürme süresi ile Ag çözünme verimi ilişkisi incelenmiştir. Deney sonuçları Çizelge.3.7. ve Şekil.3.4. 'de, deneylerin sabit şartları ise aşağıda verilmiştir.

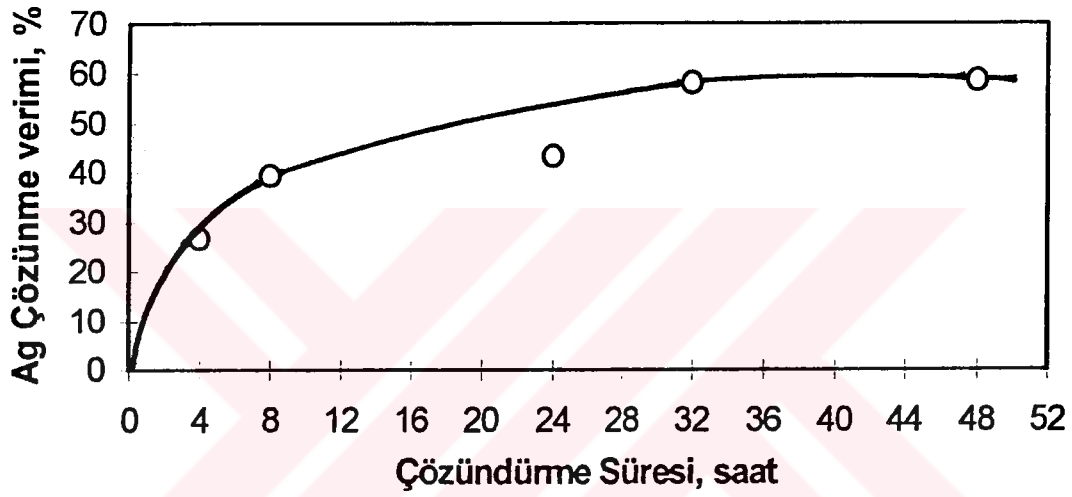
Deneylerin sabit şartları;

NaCN konsantrasyonu	: 2.0 g/l
NaOH konsantrasyonu	: 0.6 g/l
Katı/sıvı oranı	: 1/15
Sıcaklık	:20+2 °C
pH	: 11.5-11.9

Çizelge.3.7.Koruyucu Alkali Olarak NaOH ile Yapılan Çözündürme Deneylerinde, Çözündürme Süresinin Siyanür ile Çözündürmeye Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

Çözündürme Süresi (saat)	Katıda Ag İçeriği (%)	Tüketimler		Ag Çözünme Verimi (%)
		NaCN (kg/t)	NaOH (kg/t)	
4	0.86	22.42	2.66	26.73
8	0.69	26.87	3.75	39.41
24	0.65	35.01	9.29	43.24
32	0.49	51.37	12.65	58.73
48	0.48	52.52	13.05	58.49

Çözündürme süresinin incelendiği deneylerin sonucunda; doğal olarak çözündürme süresinin artışıyla Ag çözünme verimi de artmıştır(Şekil.3.4.). Çizelge.3.7. incelenecek olursa; 4 saatlik çözündürme süresi sonunda elde edilen Ag çözünme verimi; % 26.73 'den , 32 saatlik çözündürme sonrasında %58.73 e yükselmiştir. Çözündürme süresinin 32 saatten daha uzun bir sürede gerçekleştirilmesinin daha fazla reaktif tüketilmesine rağmen Ag çözünme verimini etkilemediği ve 32 saatlik çözündürmenin yeterli olduğu saptanmıştır.



Şekil.3.4. NaOH ile Yapılan Deneylerde, Ag Çözünme Veriminin Çözündürme Süresine Bağlı Olarak Değişimi.

NaOH Konsantrasyonunun Çözündürmeye Etkisi

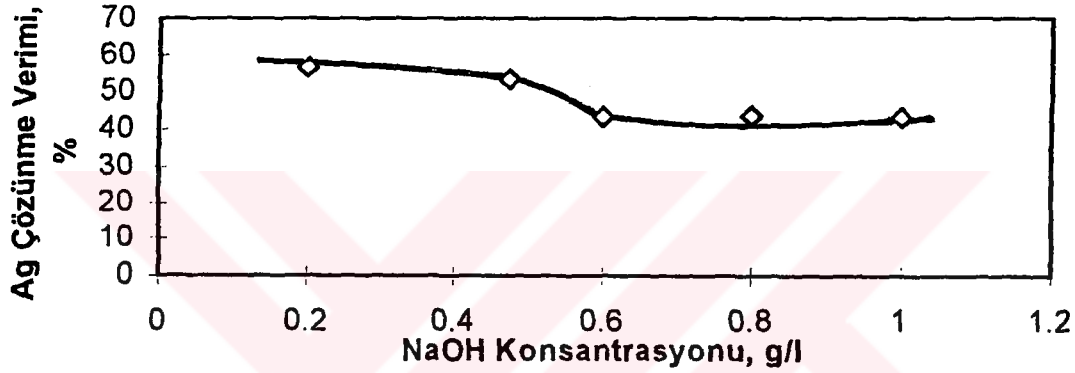
Bu seri deneylerde ise; 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve 1.0 g/l NaOH konsantrasyonlarında çözündürme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge.3.8. ve Şekil.3.5.'de , deneylerin sabit şartları ise aşağıda verilmiştir.

Deneylerin sabit şartları:

NaCN konsantrasyonu	: 2.0 g/l
Çözündürme süresi	: 24 saat
Katı/sıvı Oranı	: 1/15
Sıcaklık	: 20+2 °C

Çizelge.3.8.Koruyucu Alkali Olarak NaOH Kullanılan Deneylerde, NaOH Konsantrasyonunun Çözündürmeye Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

NaOH Konsantrasyonu (g/l)	pH	Katıda Ag İçeriği (%)	Tüketimler		Ag Çözünme Verimi (%)
			NaCN (kg/t)	NaOH (kg/t)	
0.2	11.50	0.52	43.22	1.37	56.65
0.4	11.70	0.53	37.32	6.060	53.45
0.6	12.00	0.65	35.01	9.290	43.24
0.8	12.10	0.65	24.93	12.36	43.54
1.0	12.40	0.59	23.63	16.95	43.10



Şekil.3.5.NaOH İle Yapılan Çözündürme Deneylerinde,Ag Çözünme Veriminin NaOH Konsantrasyonuna Bağlı Olarak Değişimi.

0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve 1.0 g/l NaOH konsantrasyonları ile yapılan çözündürme deneylerinin sonuçları incelendiğinde; Çizelge.3.8. ve Şekil.3.5.'den de görüldüğü gibi NaOH konsantrasyonu arttıkça Ag çözünme veriminin azaldığı anlaşılmaktadır. 0.2 g/l NaOH konsantrasyonu ile yapılan çözündürme elde edilen %56.65 'lik Ag çözünme verimi, NaOH konsantrasyonunun 0.6 g/l 'ye yükseltilmesiyle % 43.24'e düşmüştür ve bu konsantrasyondan daha büyük NaOH konsantrasyonlarında, gümüş çözünmesinin gerçekleşmediği deney sonuçlarından anlaşılmaktadır. Bunun yanında NaOH tüketimi artış gösterirken, NaCN tüketiminin artan NaOH konsantrasyonuna bağlı olarak azaldığı saptanmıştır.

NaCN Konsantrasyonunun Çözündürmeye Etkisi

2.0 g/l ve 4.0 g/l NaCN konsantrasyonlarında deneyler yapılarak, deneylerin sonuçları Çizelge.3.9.'da, deneylerin sabit şartları ise aşağıda verilmiştir.

Deneylerin sabit şartları

NaOH konsantrasyonu	: 0.2 g/l
Çözündürme süresi	: 24 saat
Katı/sıvı oranı	: 1/15
Sıcaklık	: 20+2 °C
pH	: 11.4-11.7

Çizelge.3.9.Koruyucu Alkali Olarak NaOH'ın Kullanıldığı Deneylerde, NaCN konsantrasyonunun Çözündürmeye Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

NaCN Konsantrasyonu (g/l)	Katıda Ag İçeriği (%)	Tüketimler		Ag Çözünme Verimi (%)
		NaCN (kg/t)	NaOH (kg/t)	
2	0.53	43.22	1.37	56.65
4	0.56	47.10	7.04	56.84

Çizelge.3.9.'da yer alan deney sonuçlarından; artan NaCN konsantrasyonu ile, fazla miktarda NaCN ve NaOH tüketilmesine rağmen, Ag çözünme veriminin artmadığı saptanmıştır.

Pülp Sıcaklığının Çözündürmeye Etkisi

20 °C, 40 °C ve 80 °C sıcaklıklarda deneyler yapılarak, pülp sıcaklığı artışının Ag çözünme verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deney sonuçları Çizelge.3.10.'da ve deneylerin sabit şartları aşağıda verilmiştir.

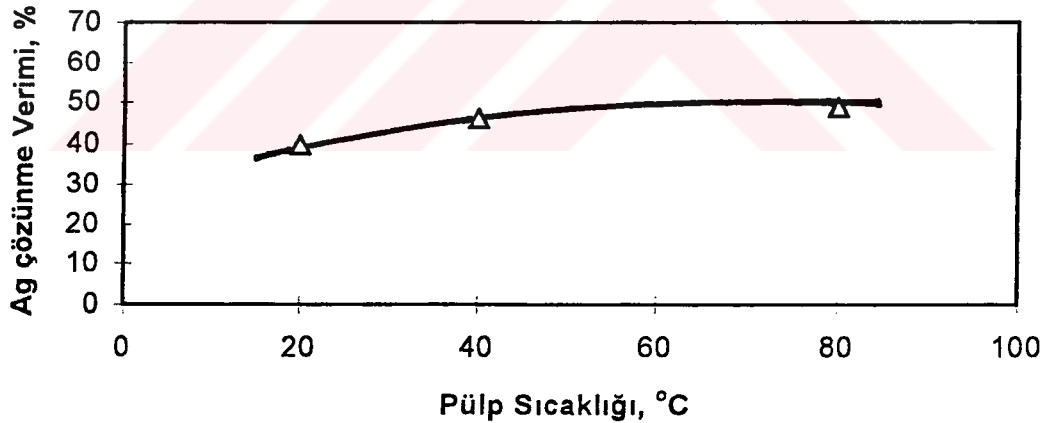
Deneylerin sabit şartları

NaOH konsantrasyonu	: 0.2 g/l
NaCN konsantrasyonu	: 2.0 g/l
Çözündürme süresi	: 8 saat
Katı/sıvı Oranı	: 1/15
pH	: 11.2-11.5

Çizelge.3.10.Koruyucu Alkali Olarak NaOH'ın Kullanıldığı Deneylerde, Sıcaklık Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Siyanür İle Çözündürme Deneylerinin Sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Katıda Ag İçeriği (%)	Tüketimler		Ag Çözünme Verimi (%)
		NaCN (kg/t)	NaOH (kg/t)	
20	0.70	25.42	4.15	39.73
40	0.62	70.20	6.58	45.99
80	0.57	101.59	8.16	49.02

Sıcaklık deneyleri sonucunda, Çizelge.3.10.'daki sonuçlar değerlendirilecek olursa; sıcaklık artışıyla Ag çözünme veriminin de arttığı, 20 °C pülp sıcaklığında % 39.73 olan Ag çözünme veriminin, pülp sıcaklığının 80 °C 'ye çıkarılmasıyla % 49'a yükseltildiği belirlenmiştir. Sıcaklığın artışı ile reaktif tüketiminin de bir hayli arttığı; 20 °C pülp sıcaklığında 27 kg/t olan NaCN tüketiminin 80 °C pülp sıcaklığı ile 101.59 kg/t 'a yükseldiği saptanmış, artan sıcaklığın siyanürü bozundurduğu kanısına varılmıştır(Şekil.3.6.)



Şekil.3.6. NaOH ile Yapılan Çözündürmelerde, Ag Çözünme Veriminin Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimi.

3.3.4. Koruyucu Alkali Olarak KOH 'un Kullanılmasıyla Yapılan Siyanür İle Çözündürme Deneyleri

Bu grub deneylerde de, daha önce belirtilen faktörlerin siyanür ile çözündürmeye etkileri incelenmiştir.

Çözündürme Süresinin Çözündürmeye Etkisi

4, 8, 24, 32 ve 48 saatlik çözündürme sürelerinde deneyler sürenin çözündürmeye etkisinin incelendiği deneylerin sonuçları Çizelge.3.11. deneylerin sabit şartları ise aşağıda verilmiştir.

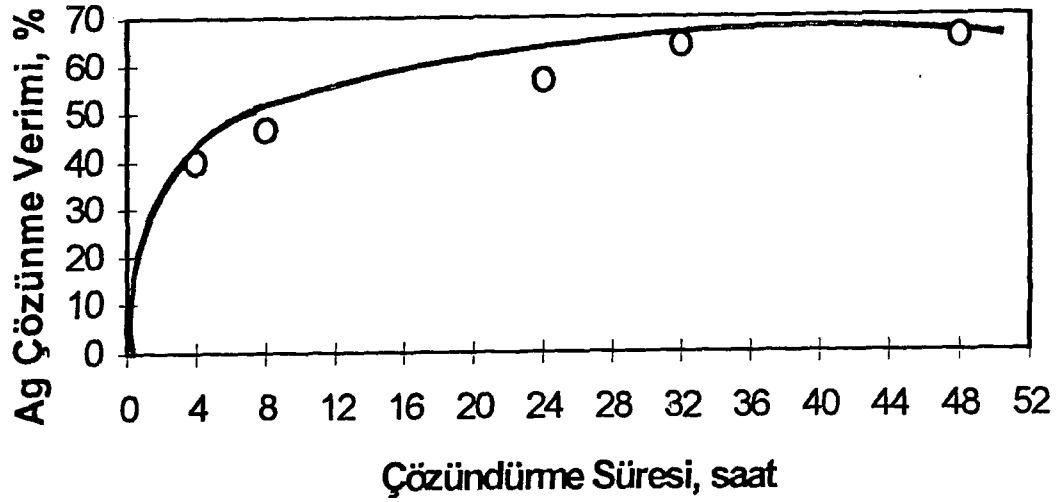
Deneylerin sabit şartları

NaCN konsantrasyonu	: 2.0 g/l
KOH konsantrasyonu	: 0.6 g/l
Sıcaklık	: 20±2 °C
Katı/sıvı oranı	: 1/15
pH	: 11.8-11.9

Çizelge.3.11. Koruyucu Alkali Olarak KOH'in Kullanıldığı Deneylerde, Sürenin Çözündürmeye Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

Çözündürme Süresi (saat)	Katıda Ag İçeriği (%)	Tüketimler		Ag Çözünme Verimi (%)
		NaCN (kg/t)	KOH (kg/t)	
4	0.71	19.63	3.21	39.99
8	0.64	36.20	4.46	46.70
24	0.54	45.80	10.28	56.73
32	0.45	55.77	13.30	64.18
48	0.60	67.60	13.70	65.56

KOH ile yapılan ve çözündürme süresinin siyanür ile çözündürmeye etkisinin incelendiği deneylerin sonucunda ; çözündürme süresi arttıkça reaktif tüketimlerinin ve Ag çözünme veriminin de arttığı belirlenmiştir (Şekil.3.7.). 4 saatlik çözündürme sonucu elde edilen %39.99'luk Ag çözünme veriminin, 32 saatlik çözündürme sonunda, % 65.18'e yükseldiği, 32 saatten daha uzun çözündürme süresinin Ag çözünme verimine etki etmediği ve 32 saatlik çözündürme süresinin yeterli olduğu anlaşılmıştır.



Şekil.3.7. KOH ile Yapılan Çözündürülmelerde, Ag Çözünme Veriminin Çözündürme Süresine Bağlı Olarak Değişimi.

KOH Konsantrasyonunun Çözündürmeye Etkisi

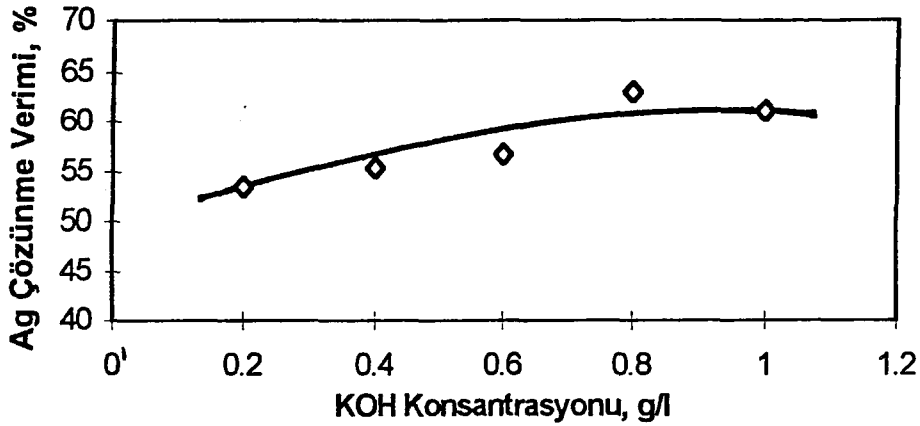
Bu seri deneylerde ; 0.2,0.4, 0.6, 0.8 ve 1.0 g/l KOH konsantrasyonları ile çözündürme yapılmış ve KOH konsantrasyonunun Ag çözünme verimine etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçları Çizelge.3.12.'de, Ag çözünme veriminin KOH konsantrasyonuna bağlı değişimi ise Şekil.3.8.'de verilmiştir.

Deneylerin sabit şartları

NaCN konsantrasyonu	: 2.0 g/l
Çözündürme süresi	: 24 saat
Sıcaklık	: 20+2 °C
Katı/sıvı oranı	: 1/15

Çizelge.3.12. Koruyucu Alkali Olarak KOH ile Yapılan Deneylerde, KOH Konsantrasyonunun Çözündürmeye Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

KOH Konsantrasyonu (g/l)	pH	Katıda Ag İçeriği (%)	Tüketimler		Ag Çözünme Verimi (%)
			NaCN (kg/t)	KOH (kg/t)	
0.2	11.20	0.56	46.87	3.12	53.54
0.4	11.40	0.52	45.88	6.09	55.38
0.6	11.50	0.54	45.80	10.28	56.73
0.8	11.80	0.44	33.16	13.38	62.97
1.0	12.10	0.48	23.65	22.40	61.07



Şekil.3.8. KOH ile Yapılan Çözündürmelerde, Ag Çözünme Veriminin KOH Konsantrasyonuna Bağlı Olarak Değişimi.

KOH konsantrasyonu etkisinin incelendiği deneyler sonucunda, KOH konsantrasyonu artışı ile, Ag çözünme veriminde artış sağlanmıştır. KOH konsantrasyonunun 0.8 g/l 'ye çıkarılmasıyla; Ag çözünme veriminin % 63 'e kadar yükseldiği, 1.0 g/l KOH konsantrasyonunda ise Ag çözünme veriminin değişmediği saptanmıştır. Ayrıca KOH konsantrasyonu artışı ile KOH tüketiminin arttığı gözlenirken, NaCN tüketiminin KOH konsantrasyonu artışına bağlı olarak azaldığı saptanmıştır.

NaCN Konsantrasyonunun Çözündürmeye Etkisi

Bu seri deneylerde, NaCN konsantrasyonu 2.0 g/l ve 4.0 g/l alınmak suretiyle çözündürme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge.3.13.'de ve deneylerin sabit koşulları aşağıda verilmiştir.

Deneylerin sabit şartları

KOH konsantrasyonu	: 0.8 g/l
Çözündürme süresi	: 24 saat
Sıcaklık	: 20+2 °C
Katı/sıvı	: 1/15
pH	: 11.9-12.4

Çizelge.3.13. Koruyucu Alkali Olarak KOH'ın kullanıldığı Deneylerde, de, NaCN Konsantrasyonunun Çözündürmeye Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin sonuçları

NaCN Konsantrasyonu (g/l)	Katıda Ag İçeriği (%)	Tüketimler		Ag Çözünme Verimi (%)
		NaCN (kg/t)	KOH (kg/t)	
2.0	0.44	33.16	13.38	62.97
4.0	0.51	40.70	12.13	61.80

NaCN konsantrasyonu etkisinin incelendiği bu seri deneyler sonucunda; NaCN konsantrasyonunun 2.0 g/l 'den 4.0 g/l 'ye çıkarılmasıyla Ag çözünme veriminde bir artış sağlanmadığı, buna karşılık fazla reaktif tüketildiği belirlenmiştir.

Pülp Sıcaklığın Çözündürmeye Etkisi

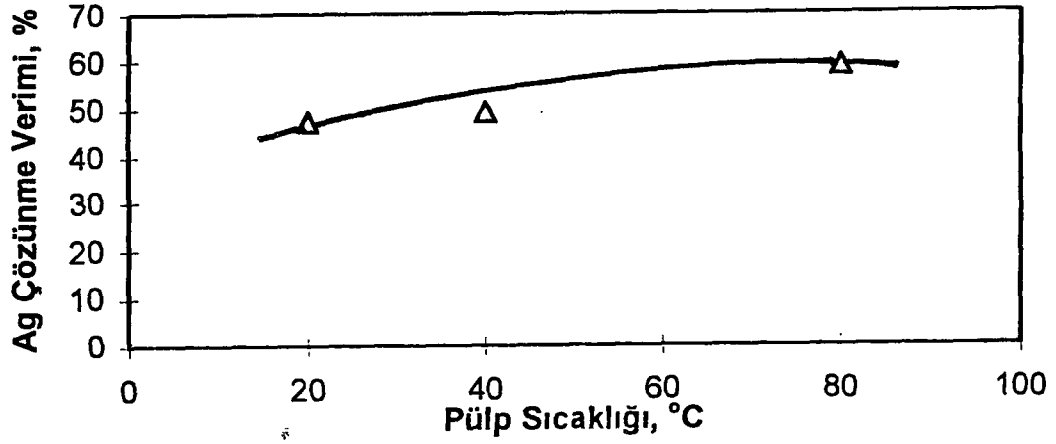
Koruyucu alkali olarak Ca(OH)_2 ve NaOH'in kullanıldığı deneylerde pülp sıcaklığının artışı ile Ag çözünme veriminin arttığı gözlenmişti. Koruyucu alkali olarak KOH 'in kullanıldığı bu seri deneylerde pülp sıcaklığı artışının Ag çözündürme verimini ne derecede etkilediğinin belirlenmesi amacıyla 20°C, 40°C ve 80°C pülp sıcaklığında çözündürme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge.3.14.'de deneylerin sabit şartları ise aşağıda verilmiştir.

Deneylerin sabit şartları

KOH Konsantrasyonu	: 0.8 g/l
NaCN Konsantrasyonu	: 2.0 g/l
Çözündürme süresi	: 8 saat
Katı/sıvı oranı	: 1/15
pH	: 11.9-12.4

Çizelge.3.14. Koruyucu Alkali Olarak KOH ile Yapılan Çözündürmede, Sıcaklığın Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Katıda Ag İçeriği (%)	Tüketimler		Ag Çözünme Verimi (%)
		NaCN (kg/t)	KOH (kg/t)	
20	0.63	38.40	5.15	47.50
40	0.60	40.73	8.90	49.35
80	0.60	95.7	11.05	58.85



Şekil.3.9. KOH ile Yapılan Çözündürme Deneylerinde, Ag Çözünme Veriminin Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimi.

Sıcaklık etkisinin incelendiği deneylerin sonucunda, pülp sıcaklığının artmasıyla, Ag çözünme veriminin arttığı ve pülp sıcaklığının 80 °C 'ye çıkarılmasıyla Ag çözünme veriminin 8 saat gibi çok kısa çözündürme süresi sonunda, % 58.85 'e kadar yükseldiği ; bununla birlikte, sıcaklık artışı ile birlikte NaCN tüketiminin de bir hayli arttığı anlaşılmıştır (Şekil.3.9.).

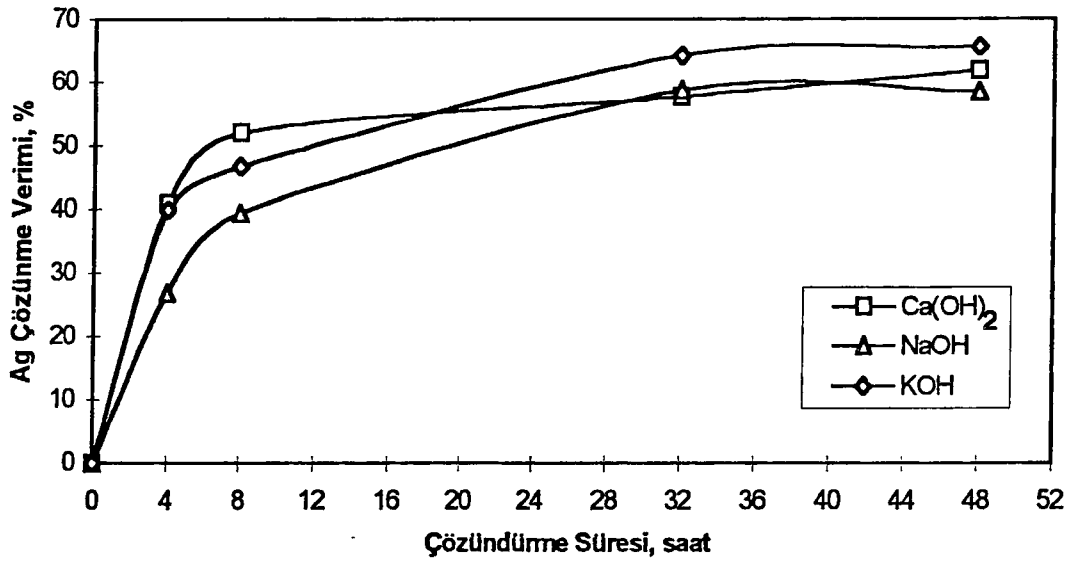
BÖLÜM 4

DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Deney sonuçları; çözündürme süresi, koruyucu alkali konsantrasyonu, pülp sıcaklığı ve NaCN konsantrasyonu yönünden irdelenmiş olup her bir faktör için aşağıda verilmiştir.

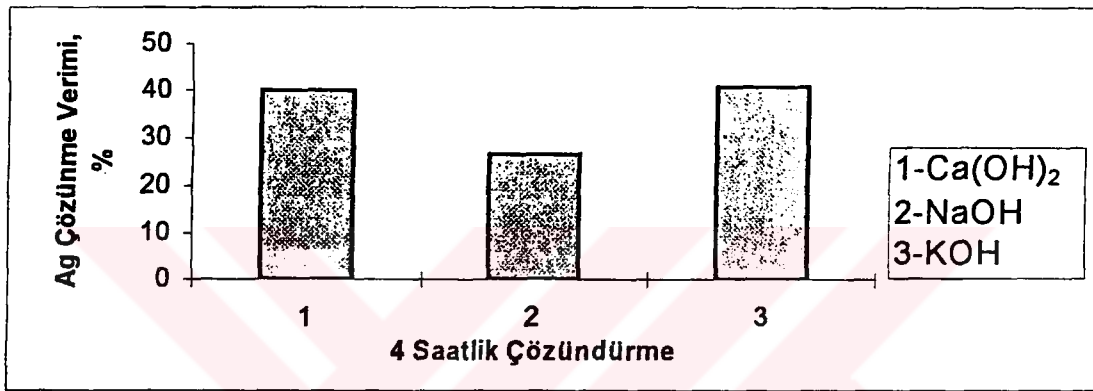
Çözündürme Süresi

Siyanür ile çözündürmede etkili faktörlerden, çözündürme süresinin incelendiği deneylerde; NaOH ve KOH koruyucu alkalileri ile yapılan çözündürmede çözündürme işlemi 32 saatte tamamlanırken, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ koruyucu alkalisi ile yapılan çözündürmede, çözündürmenin 48 saat boyunca devam ettiği saptanmıştır (Şekil.4.1.)

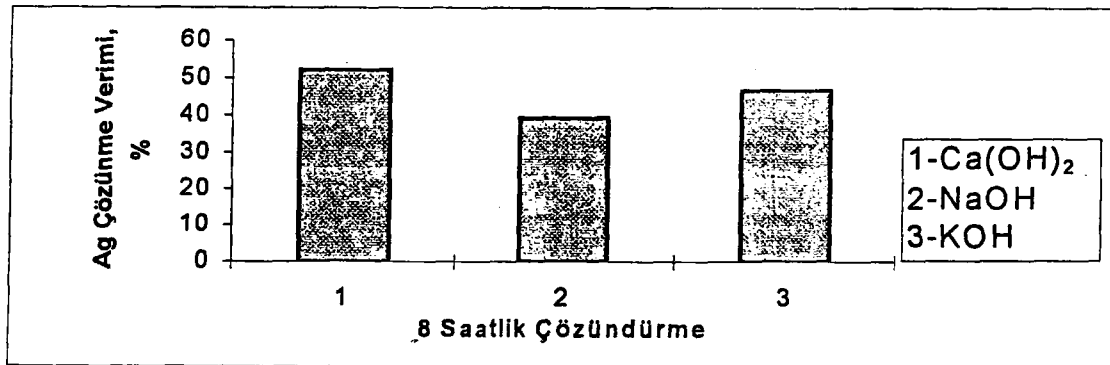


Şekil.4.1.Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürmelerde, Ag Çözünme Veriminin Çözündürme Süresine Bağlı Olarak Değişimi

Koruyucu alkali olarak Ca(OH)_2 ve KOH kullanıldığında çözündürmenin NaOH 'e göre daha hızlı geliştiği saptanmıştır. Özellikle, çözündürmenin başlangıç safhalarında, NaOH 'in kullanıldığı çözündürmelerde gümüşün çözünmesi, diğer koruyucu alkalilere göre çok yavaş gelişmektedir. 4 saatlik çözündürme sonunda her bir koruyucu alkali için Ag çözünme verimleri; NaOH için % 26.73, KOH için % 39.99, Ca(OH)_2 için % 40.92 olarak tesbit edilmiştir (Şekil.4.2., Şekil.4.3.).



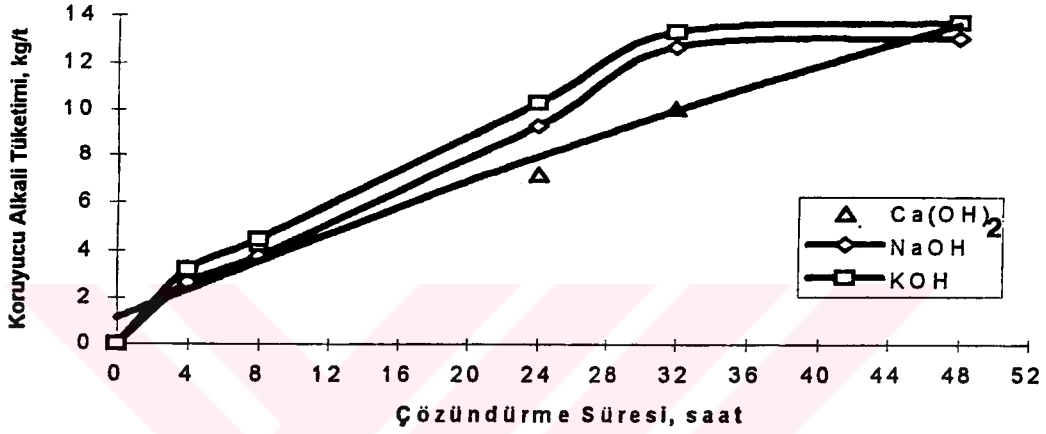
Şekil 4.2. Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan 4 Saatlik Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde, Ag Çözünme Verimi Histogramları



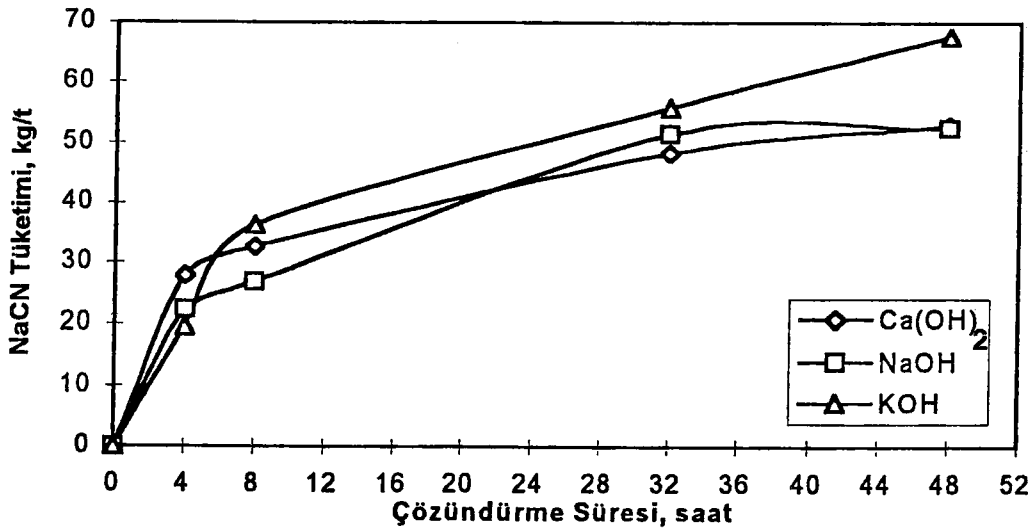
Şekil 4.3. Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan 8 Saatlik Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde, Ag Çözünme Verimi Histogramları

Farklı koruyucu alkalilerle yapılan deneylerin sonucunda, çözündürme süresine bağlı olarak reaktif tüketimleri incelendiğinde, çözündürme süresi arttıkça gerek siyanür gerekse koruyucu alkali tüketimlerinin arttığı belirlenmiştir.

Şekil.4.4., Şekil.4.5.'den; $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH ve KOH koruyucu alkalileri ile yapılan çözündürmelerin siyanür ve koruyucu alkali tüketimleri açısından birbirlerine benzer eğilim gösterdiği anlaşılmaktadır. 32 saatlik çözündürme süresi sonunda üç farklı koruyucu alkali için NaCN tüketimlerinin 52 kg/t dolayında , koruyucu alkali tüketimlerinin de 13 kg/t düzeyinde olduğu saptanmış; yalnız, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ için tüketim 10.03 kg/t düzeyinde gerçekleşmiştir.



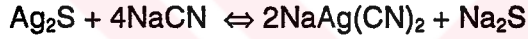
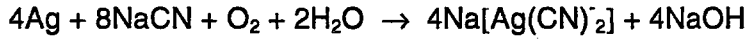
Şekil.4.4.Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde, Koruyucu Alkali Tüketiminin Çözündürme Süresine Bağlı Olarak Değişimi



Şekil.4.5.Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde, NaCN Tüketiminin Çözündürme Süresine Bağlı Olarak Değişimi

4.2. Koruyucu Alkali Konsantrasyonu

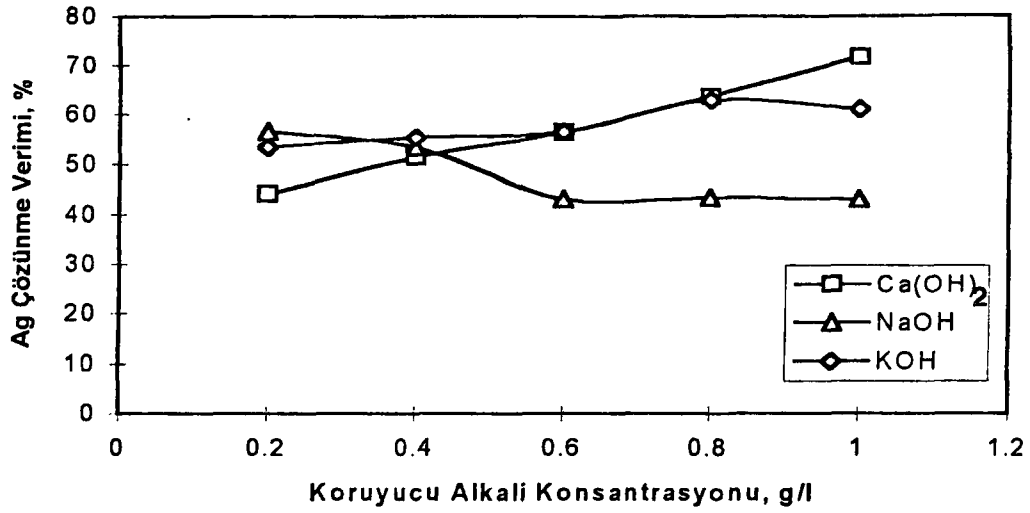
Koruyucu Alkali Konsantrasyonunun çözündürmeye etkisinin incelendiği deneylerde; koruyucu alkali konsantrasyonunun siyanür ile çözündürmeye etkisi, her bir koruyucu alkali için farklı şekilde ortaya çıkmıştır. Koruyucu alkali olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in kullanıldığı deneylerde; çözeltideki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonu arttıkça, Ag çözünme veriminde lineer bir artış sağlanmıştır. KOH ' in kullanıldığı deneylerde, koruyucu alkali konsantrasyonuna bağlı olarak Ag çözünme verimlerinde belirgin bir değişim olmadığı NaOH 'in kullanıldığı deneylerde ise belli bir değerin üzerindeki NaOH konsantrasyonu artışının çözündürmeyi yavaşlattığı, hatta önlediği bile ifade edilebilir (Şekil.4.6.). Siyanür çözeltisi içinde gümüşün çözünmesi ile ilgili Elsner tarafından savunulan çözünme mekanizması incelenecek olursa;



Çözünme sonrasında $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ kompleksi ve NaOH ürünü oluşmaktadır. Ortama ilave edilen NaOH belli bir konsantrasyona ulaştığında ya da diğer bir deyişle çözelti NaOH ' çe doymuş hale geldiğinde gümüşün çözünmesi duracaktır. Ayrıca, cevherdeki arantit gibi sülfürlü gümüş minerallerinin siyanür ile çözündürülmesinde reaksiyon tersinir yapıda olabilmektedir [4]. Ortamdaki Na^+ iyonlarının artması reaksiyonun sola doğru gelişmesini sağlamakta ; böylece ; gümüş mineralinin çözünmesi önlenmiş olacaktır.

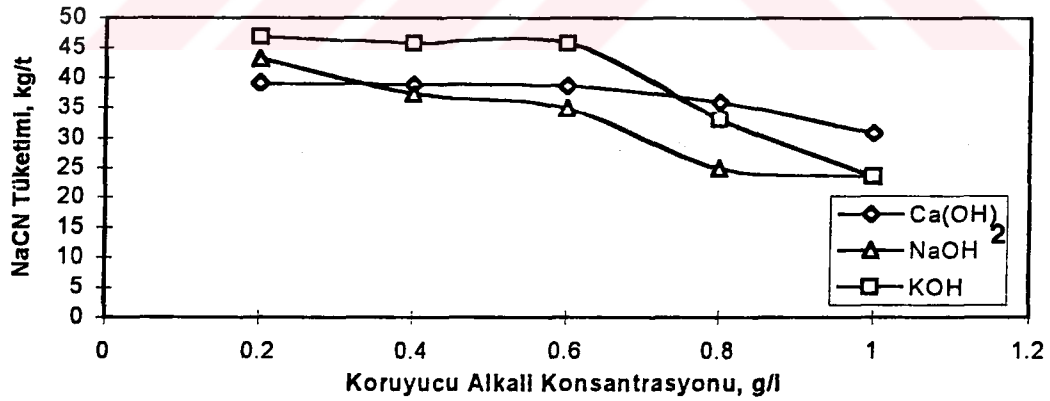
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ veya KOH koruyucu alkalilerle 0.8-1.0 g/l gibi yüksek koruyucu alkali konsantrasyonlarında çözündürme yapılması ile daha iyi Ag çözünme verimlerinin sağlanabileceği; fakat, koruyucu alkali olarak NaOH kullanılacaksa 0.2 g/l gibi düşük koruyucu alkali konsantrasyonlarında çözündürme yapılmasının daha uygun olacağı saptanmıştır.

Deney sonuçları, çözündürme süresi ve koruyucu alkali konsantrasyonu açısından birlikte değerlendirildiğinde, Ca^{+2} iyonlarının refrakter gümüş minerallerinin siyanür ile çözündürülmesine belirgin bir katkıda bulunduğu ve gümüş minerallerinin siyanür ile çözündürülmesini kolaylaştırdığı belirtilebilir. Nitekim, bu konuyla ilgili literatür verileri de bu görüşü desteklemektedir [16, 26] .



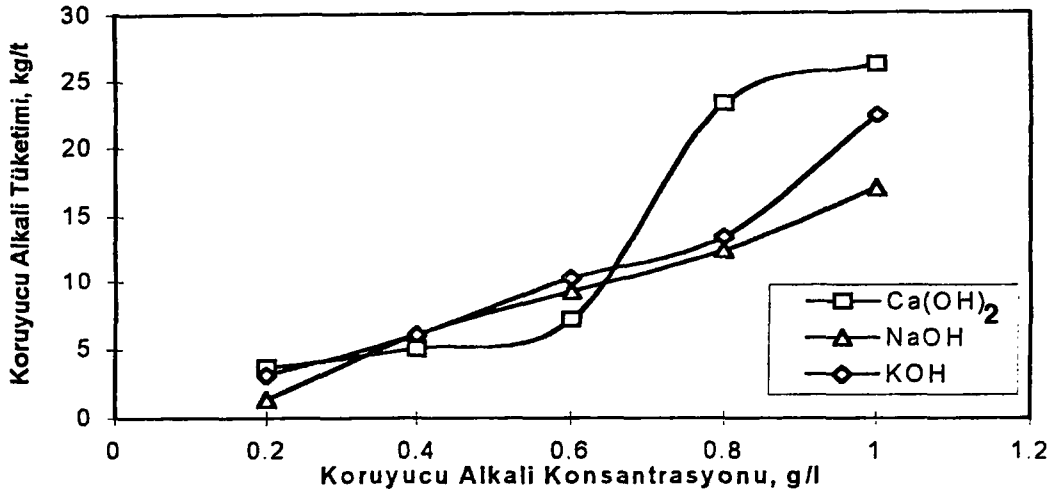
Şekil.4.6.Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde, Ag Çözünme Veriminin Koruyucu Alkali Konsantrasyonuna Bağlı Olarak Değişimi

Koruyucu alkali konsantrasyonuna bağlı olarak NaCN tüketimleri değerlendirilirse, koruyucu alkali olarak KOH ile yapılan çözündürmelerde en yüksek tüketimler gerçekleşirken, NaOH ile yapılan çözündürmelerde en düşük tüketimler elde edilmiştir (Şekil.4.7.).



Şekil.4.7.Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde, NaCN Tüketiminin Koruyucu Alkali Konsantrasyonuna Bağlı Olarak Değişimi

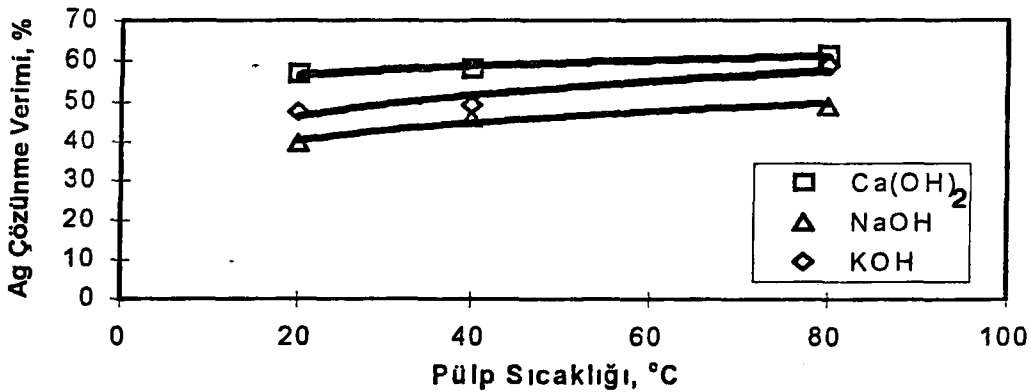
Koruyucu alkali tüketimleri açısından; NaOH ve KOH koruyucu alkalileri ile yapılan çözündürmelerde benzer tüketim değerleri elde edilmiş; buna karşın, Ca(OH)₂ koruyucu alkalisi ile yapılan çözündürmede, 0.6 g/l 'den daha yüksek Ca(OH)₂ konsantrasyonlarında yüksek düzeyde koruyucu alkali tüketimi saptanmıştır. (Şekil.4.8.).



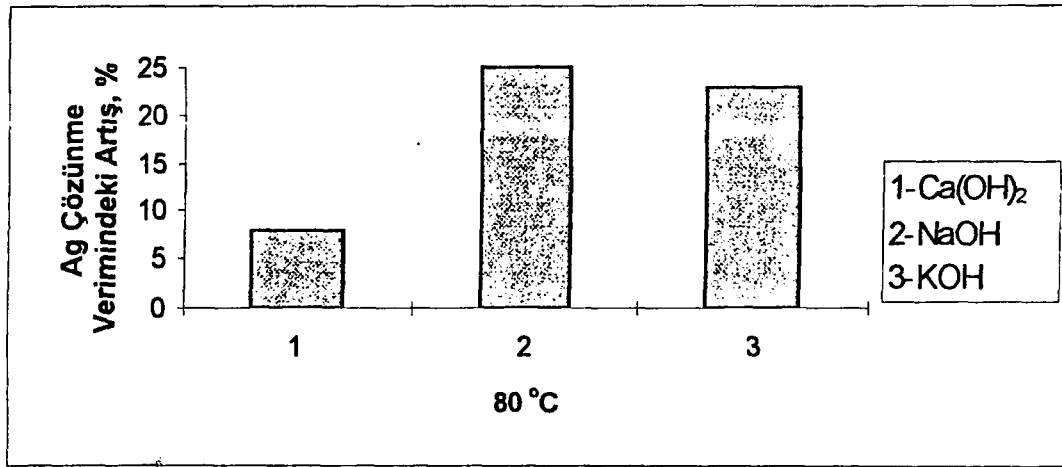
Şekil.4.8.Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde, Koruyucu Alkali Tüketiminin Koruyucu Alkali Konsantrasyonuna Bağlı Olarak Değişimi

Pülp Sıcaklığı

Farklı koruyucu alkalileri ile yapılan, pülp sıcaklığının çözündürmeye etkisinin incelendiği deney sonuçlarından; pülp sıcaklığının artışına bağlı olarak Ag çözünme veriminin de arttığı saptanmıştır (Şekil.4.9.). Pülp sıcaklığının 20°C'den 80°C'ye çıkartılması ile Ag çözünme verimide; koruyucu alkali olarak Ca(OH)₂'nin kullanıldığı çözündürmelerde yaklaşık %8, NaOH'in kullanıldığı çözündürmelerde yaklaşık %25, KOH'in kullanıldığı çözündürmelerde yaklaşık %23 oranında artış sağlanmıştır(Şekil.4.10.). Ayrıca, pülp sıcaklığı artışıyla doğal olarak siyanürün bozulduğu ve siyanür tüketiminin, 20 °C pülp sıcaklığına göre 80 °C pülp sıcaklığında üç misli arttığı belirlenmiştir. Ca(OH)₂'nin kullanıldığı çözündürmelerde ise NaCN tüketim oranı daha düşük düzeyde gerçekleşmiştir (Şekil.4.11.).



Şekil.4.9.Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde, Ag Çözünme Veriminin Pülp Sıcaklığına Bağlı Olarak Değişimi



Şekil.4.10.Farklı Koruyucu Alkalilerle Yapılan Siyanür ile Çözündürme Deneylerinde, Pülp Sıcaklığının 20°C' den 80°C 'ye Çıkarılmasıyla, Ag Çözünme Verimindeki Artış Miktarı Histogramları

BÖLÜM 5

GENEL SONUÇLAR

1. Siyanür ile çözündürme deneyleri, Kütahya-Gümüşköy pasa cevheri numunesinden toplu sülfür foltasyonu ile elde edilen % 1.064 Ag içerikli ön konsantre üzerinde yürütülmüştür.

2. Koruyucu alkali olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yapılan çözündürme deneylerinde gümüş minerallerinin çözünmesi 48 saatte tamamlanamazken, KOH ve NaOH ile yapılan çözündürmelerde 32 saatte tamamlandığı belirlenmiştir. 32 saatlik çözündürme süreleri için, koruyucu alkali olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH ve KOH kullanılan çözündürme deneylerinde sırasıyla; %56.80, %58.73 , %65.18 Ag çözünme verimleri elde edilmiştir. NaCN tüketimleri ise $\text{Ca}(\text{OH})_2$ için 38 20 kg/t, NaOH için 51.37 kg/t, KOH için 55.77 kg/t olarak saptanmıştır.

3. Koruyucu alkali olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve KOH 'in kullanılmasıyla gümüş minerallerinin daha hızlı bir şekilde çözeltiye alınabilecekleri anlaşılmıştır.

4. Koruyucu alkali olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve KOH 'in kullanıldığı çözündürmelerde koruyucu alkali konsantrasyonu arttıkça Ag çözünme veriminin arttığı ; NaOH 'in kullanıldığı çözündürmelerde ise azaldığı saptanmış, çalışılan numune için Ag çözünme verimi açısından en uygun koruyucu alkali konsantrasyonlarının; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ için 1.0 g/l, KOH için 0.8 g/l, NaOH için 0.2 g/l olduğu tesbit edilmiştir.

En uygun koruyucu alkali konsantrasyonlarında ve 24 saatte gerçekleştirilen çözündürmelerde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

<u>Koruyucu Alkali</u>	<u>NaCN Tüketimi</u>	<u>Kor. Alkali Tüketimi</u>	<u>Ag Çöz.Verimi</u>
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	30.95 kg/t	26.16 kg/t	%71.84
NaOH	43.22 kg/t	1.37 kg/t	%56.65
KOH	33.16 kg/t	13.38 kg/t	%62.97

5.Farklı koruyucu alkalilerle yapılan çözüdümlerinde, NaCN konsantrasyonunun 2.0 g/l den 4.0 g/l 'ye çıkartılmasıyla Ag çözümlü verimi üzerinde belirgin bir değişim elde edilememiştir. Ag çözümlü verimi, koruyucu alkali olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nin kullanıldığı çözüdümlerinde % 71.84'den (2.0 g/l NaCN) %69.73'e (4.0 g/l NaCN), KOH 'in kullanıldığı çözüdümlerinde %62.97 'den %61.80'e düşüş gösterirken, NaOH 'in kullanıldığı çözüdümlerinde % 56.65'den %56.84 yükselmiştir.

6.Değişik pülp sıcaklığında gerçekleştirilen deneylerde, 8 saatlik çözümlü süreleri için aşağıdaki Ag çözümlü verimleri elde edilmiştir;

Koruyucu alkali olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nin kullanıldığı çözümlü deneylerinde, 20 °C de % 56.85 olan Ag çözümlü verimi, pülp sıcaklığının 80 °C'ye çıkarılmasıyla % 61.43'e yükseltilmiş; NaCN tüketiminde ise 32.64 kg/t 'dan 44.92 kg/t' a artış olmuştur.

Koruyucu alkali olarak NaOH 'in kullanıldığı çözümlü deneylerinde 20 °C de % 39.73 olan Ag çözümlü verimi, pülp sıcaklığının 80 °C'ye çıkarılmasıyla % 49.02'ye yükselmiş; NaCN tüketiminde ise 25.42 kg/t 'dan 101.59 kg/t' a artış olmuştur.

Koruyucu alkali olarak KOH 'in kullanıldığı çözümlü deneylerinde 20 °C de % 47.50 olan Ag çözümlü verimi, pülp sıcaklığının 80 °C'ye çıkarılmasıyla % 58.85'e yükseltilmiş; NaCN tüketiminde ise 38.40 kg/t 'dan 95.70 kg/t' a artış olmuştur.

7.Farklı koruyucu alkaliler ile yapılan tüm siyanürasyon deneylerinin sonuçları, kendi içinde ve birbirleriyle karşılaştırıldığında; gerek reaktif tüketimleri, gerekse Ag çözümlü verimleri açısından, refrakter gümüş minerallerinin siyanürle çözümlümesinde en uygun koruyucu alkalinin $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ya da kireç (CaO) olduğu belirlenmiştir.

8. Siyanür ile çözümlümede, $(\text{CN})^-$ iyonlarının düşük pH 'larda hidrolizini önlemek için çözeltiye verilen koruyucu alkalilerdeki OH^- iyonlarının yanısıra alkali metal katyonlarının da refrakter gümüş minerallerinin çözeltiye alınmasını etkilediği yapılan deneyler sonucu belirlenmiştir. K^+ ve Na^+ iyonlarına göre Ca^{++} iyonlarının; refrakter gümüş minerallerinin siyanür ile çözümlümesini geliştirdiği ve diğer koruyucu alkali iyonlarına göre daha yüksek Ag çözümlü verimleri elde etme olanağı sağlayabileceği saptanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] "Türkiye'de Gümüş", M.T.A Yayınları, 1993
- [2] CHASE, C.K., "Manganiferrous Silver Ores" Gold and Silver Recovery and Economics ed: W.C. Larson, J.B. Hiskey. p:23-35 Society of Mining Engineers of AIME Feb. 22-26 (1981)
- [3]....., "Gold and Silver Monography"
- [4] Acarkan, N., "Bolkardağ Altın-Gümüş-Kurşun-Çinko Cevherlerinin Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması", Doktora Tezi, 1984
- [5] Gümüş, A., Metalik Maden Yatakları, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 1979
- [6], M.T.A, Türkiye'nin Bilinen Maden Mineral Kaynakları, Ankara, 1981
- [7] Demirok, M.H., 100. Yıl Gümüş Projesi, Etibank Bülteni, Aralık, 1981
- [8] Gasparini, C., Canadian Institute of Metals Bulletins, (CIM)
- [9] Acarkan, N., Gürkan, V., İ.T.Ü. Maden Fakültesi, 35. Yıl Sempozyumu Ed: O. Kural, S Kırıkoğlu, p:1-15, Temmuz, 1989, İstanbul
- [10] MTA Raporları
- [11] Devlet İstatistik Enstitüsü Raporları
- [12] Etibank Faaliyet Raporları
- [13] Karadeniz Bakır İşletmeleri Raporları
- [14], Precious Metals and Minerals, Metals and Minerals Annual review, 1994
- [15] Asmatülü, R., "Etibank- Kütahya 100.Yıl Gümüşköy Cevherlerinden Pasa'nın Fiziksel Yöntemlerle Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması", Bitirme Tezi, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Kitaplığı, Haziran, 1992
- [16] Dorr, John V.N., Bosqui, F.L., "Cyanadation and Concentration of Gold and Silver Ores", 2.Ed, Mc Grow-Hill, Book Com. 1950.
- [17] Yannapoulos, J.C., "The Extractive Metallurgy of Gold" , Ven Nostrand Reinhold, New York, 1991

- [18] Bhappu, R.B., "Hydrometallurgical processing of Precious Metal Ores", Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, Vol 6, p:67-80, 1990
- [19] Wyslouzil, D.M., Salter, R.S., "Silver Leaching Fundamentals", Lead-Zinc 90, Ed: Mackey and Pring, The Minerals and Materials Society, 1990
- [20] Shoemaker, R.S., "Au", Precious Metals, Mining Extraction and Processing, Ed: V. Kudryk, D.A. Corrigan, W.W. Ljung, pp:3-11, 1984
- [21], "Cyanamid Want You to Know", Article no:22 May 1995
- [22] Acarkan, N., "Değerli Metallerin Zenginleştirilmesi" Ders Notları
- [23] Huynh, J.C., Gundersen, I.H., "Kinetics of Leaching Gold and Silver in Acidic Thiourea Solutions"
- [24] Açma, E., Arslan, C. F., Wuth, W., "Silver Extraction from a Refractory type ore by Thiourea Leaching, Hydrometallurgy 34, p:263-274, 1993
- [25], "Kütahya -Gümüşköy Cevherlerinden Gümüşün Daha Yüksek Verimle Kazanılma Olanaklarının Araştırılması", Araştırma Projesi, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı, Ekim, 1992
- [26] Acarkan, N., Gürkan, V., Arslan, F., "The Role of Protective Alkalinity and Ca^{+2} Ions in The Cyanidation of Refractory Silver Ores, Hydrometallurgy 36, p:361-367, 1994

ÖZGEÇMİŞ

Feridun BOYLU , 29.05.1971 'de Samsun'da doğdu. İlk , orta ve lise öğrenimini Samsun'da tamamladıktan sonra 1989 yılında İ.T.Ü Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazandı. 1993 yılında bu bölümden iyi derece ile mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü , Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı'nda Yüksek lisans programına başladı. Kendisi halen yüksek lisans çalışmalarını sürdürmektedir.