

**OVACIK ALTIN CEVHERİNİN KARŞILAŞTIRMALI SİYANÜR VE
TIYOÜRE LİÇİ****A Comparative Study of Ovacık Gold Ore with Thiourea and Cyanide Leaching**

Üner İPEKOĞLIF
Haluk ÇELİK⁽⁴⁾
Çağlar TÜKELT*

Anahtar Sözcükler: Siyanür, Tiyoüre, Liç, Altın.

ÖZET

Siyanür liçi ile cevherlerden altın ve gümüşün kazanılması, yüz yılı aşan bir süreden ben basan ile uygulanmaktadır. Bunun nedeni siyanür prosesinin kimyasal mekanizmasının iyi bilinmesi, çok ince taneli ve fakir cevherlere bile yüksek verimle uygulanabilme kabiliyetidir. Bununla birlikte siyanürün zehirli bir madde olması ve düşük çözündürme hızına sahip bulunması alternatif çözücülerin araştırılmasına sebebiyet vermiştir. Bunlardan tiyoüre, gerek hızlı liç kinetiği göstermesi ve gerekse zehirsiz bir madde olmasından dolayı, çok yönlü olarak araştırılmıştır. Bu çalışmada, Ovacık Altın Cevheri' nin optimum siyanür ve tiyoüre liç parametreleri öncelikle tesbit edilmiş olup, her iki proses altın ve gümüş kazanma verimleri ve reaktif sarfiyatı bazında karşılaştırılmıştır.

ABSTRACT

Precious metals such as gold and silver have been recovered from their ores by cyanide for over a hundred years mainly due to its unique property in exploiting the low grade invisible gold with high recovery, being industrially proven process and its well-known chemical mechanism. However, its toxicity and slow extraction rate have stimulated research to look for alternative reagents. Thiourea is one of the most promising lixiviant, which has been investigated extensively due to fast leaching kinetics and non-toxic features. In this study, leaching kinetics of Ovacık gold ore was investigated and major parameters were determined using both cyanide and thiourea. The dissolution of gold was discussed in terms of extraction rates and reagent consumption.

^{(//} Prof.Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh.Fak., Maden Müh. Böl, İZMİR

^{'''} Maden Y. Mühendisi

^{''''''} Araştırma Görevlisi, Maden Y. Müh., Dokuz Eylül Üniversitesi, MühJak., Maden Müh. Böl, İZMİR

1. GİRİŞ

Siyanür prosesi yüzyılı aşan bir süreden beri çeşitli cevherlerden altın ve gümüşün kazanılmasında, geleneksel bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Siyanür liçinin ekonomik ve operasyon açısından basit bir yöntem olması, bu metodun standart bir proses olarak kabul edilmesinde etkili olmuştur. Siyanürün altın madenciliğinde kullanımında aşağıda sözü edilen sakıncalardan dolayı, alternatif çözücülerin araştırılması gündeme gelmiştir. Bu sakıncalar:

- Siyanür çözeltilerinin zehirli oluşu ve tesis atıklarının çevresel bazı problemler doğuracağı kuşkusudur,
- Liç süresinin uzun olması (24-72 saat),
- Siyanit içeren (sülfürlü, bakır oksitli, karbonlu mineraller gibi) bazı cevherlerin siyanürizasyonunda düşük altın kazanma verimlerinin olmasıdır.

Alternatif çözücü olarak iyodin, bromin, tiyosülfat, vb. gibi reaktiflerin yanında tiyoüre ümit verici sonuçlar vermiştir. Tiyoüre prosesinin önemli avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Altının çok kısa bir sürede %90' lan aşan bir verimle çözeltilmeye alınabilmesi,
- Zehirli olmaması nedeniyle çevresel açıdan daha güvenilir olması,
- Siyanitlerden daha az etkilenmesi.

Ancak araştırmacıların hemen hepsinin belirttiği gibi bu proses, aşın tiyoüre ve asit tüketiminden dolayı ekonomik bulunmamıştır. Bununla birlikte prosesin yüksek asidik şartlara (pH 1-2) ihtiyaç göstermesi ve bu pH değerlerinde çözülecek olan ağır metallerinde çevresel açıdan problemler teşkil etmesi, tiyoüre prosesinin diğer dezavantajları olarak gösterilebilir.

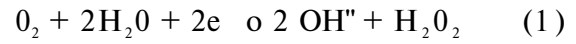
Bu çalışmada Ovacık altın cevherinden alınan numuneler üzerinde, öncelikle cevher yapısını tanımaya yönelik mineralojik ve kimyasal etüdier yapılmış, siyanür ve tiyoüre liç proseslerinin optimum liç şartları tespit edilmiş

ve bu optimim şartlarda yapılan son liç deneylerinden alınan veriler üzerinde her iki proses altın ve gümüş verimleri ve çözücü tüketimi bazında karşılaştırılmıştır.

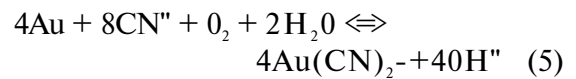
2. LİÇ KİNETİĞİ

2.1. Siyanür Liçi

Siyanür tuzları suda çözünerek metal katyonlarını ve siyanür iyonlarını oluştururlar. Serbest siyanür iyonları çeşitli metal katyonları ile birlikte kompleksler meydana getirirler. Havalandırılan çözeltilerde siyanürün çözünmesi ve oksijenin reaksiyondaki rolü Eisner (1846) tarafından ilk defa açıklanmış ve formülize edilmiştir. Daha kapsamlı araştırmalar Barky ve arkadaşları (1934), Hedley ve Tabachnick (1968), Finkelstein (1972) ve diğer araştırmacılar tarafından yapılmış, siyanür işleminde etkin parametreler ve bunların liç verimine etkileri ortaya konmuştur. Siyanür liçi aşağıdaki reaksiyonlar neticesinde oluşmaktadır.



Genel reaksiyon:



Siyanür konsantrasyonunun liç üzerinde önemli etkisi vardır. Çeşitli araştırmacılar siyanür konsantrasyonunun altın ve gümüş üzerindeki etkisini araştırmış ve değişik sonuçlar bulmuşlardır. Burta göre maksimum çözünme %0.08 ile %0.25 NaCN konsantrasyonlarında gerçekleşir (Hedley ve Tabachnick, 1968).

Normal şartlar altında çözüldürme için oksitleyici bir elemana ihtiyaç vardır. Na_2O_2 , $KMnO_4$, Br_2 gibi oksitleyici elemanlar

kullanılmış fakat maliyetlerinin yüksek olması ve kontrol edilmelerinin güçlüğü nedeniyle kullanımdan kalkmıştır. Belirli şartlar altında liç pülpünün havalandırılması kimyasal oksitleyiciler kadar iyi sonuçlar vermektedir.

Siyanür konsantrasyonunun kontrolü basit bir şekilde ve siyanür çözeltisi veya katı siyanür bileşikleri ilavesi ile yapılabilmesine karşın, oksitleyici konsantrasyonunun (örneğin çözülmüş oksijen) kontrolü zor olmaktadır. Bunun nedeni atmosferik koşullarda O₂ nin düşük çözünürlüğe sahip olmasıdır. O₂ çözülmesi sıcaklık ve basınçla değişmektedir. 25 °C de ve deniz seviyesinde çözeltideki çözülmüş oksijen 8.2 mg/l'dir.

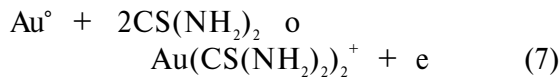
Siyanür suda hidrolize uğrayarak moleküler hidrojen siyanüre (HCN) dönüştüğü için alkalinite de diğer bir önemli faktördür. Hidroliz reaksiyon aşağıda gösterilmiştir.



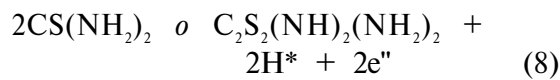
pH 9.3'te siyanürün yarısı serbest, yarısı hidrojen siyanür (HCN) halindedir.

2.2 Tiyöüre liçi

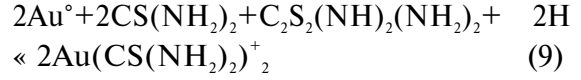
Asidik ortamda tiyöüre ile altın (7) numaralı reaksiyona göre katyonik kompleksler oluşturur.



Reaksiyon (7) nin 25 °C de standart elektrod potansiyeli -0.38 V dur. Ferrik iyonları, veya hidrojen peroksit gibi oksitleyicilerin etkisi ile tiyöüre oksitlenir ve ortamda bir takım yeni bileşikler oluşur. Tiyöürenin ilk oksidasyon ürünü (8) numaralı reaksiyonda gösterilmiş olan ve altının oksitlenmesinde görev alan formamidin disülfittir.



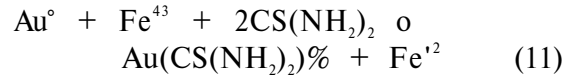
+0.42 V elektrot potansiyeline sahip reaksiyon (8) ile reaksiyon (7) nin birleştirilmesi neticesinde (9) numaralı eşitlik elde edilir.



Bu reaksiyon E°=+0.04 V ve G°=-1845 kalori/mol (serbest enerji) değerlerine sahiptir. Ferrik iyonları Fe⁺³/Fe⁺² redoks çifti gereğince altının oksitlenmesinde de görev alırlar (E = +0.77V).

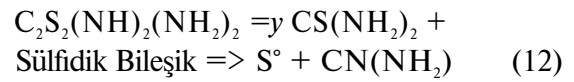


Reaksiyon (10) ve (7) nin birleştirilmesi ile aşağıda gösterilmiş bulunan (11) numaralı reaksiyon E°=+0.39 ve G°=-8994 kalon/mol değerleri ile gerçekleşecektir.



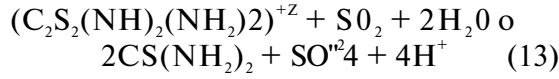
Reaksiyon (9) ve (11) in serbest enerjilerini karşılaştırdığımızda (11) numaralı reaksiyonun oluşuma daha meyilli olduğu görülür. Bu nedenle bir oksitleyici ilavesi liç işleminde avantaj yaratacaktır (Pyper ve Hendrix, 1981).

(8) numaralı reaksiyon gereğince oluşan formamidin disülfid şartların uygun olması durumunda tiyöüre ve sülfidik bir bileşiğe, son kademede de elementel sülfür ve siyanamide geri dönüşümsüz olarak bozacaktır. (Reaksiyon 12) (Schulze, 1984).



Formamidin disülfidin geri dönüşümsüz parçalanması gerek tiyöüre tüketimine sebebiyet vermesi, gerekse oluşan elementel sülfürün besleme maundaki altını pasifleştirerek çözeltilmeye geçmesini engellemesi açısından önemlidir. Liç ortamında formamidin disülfidin konsantrasyonunun yüksek oluşu, konu edilen olumsuzlukların oluşumuna hız verecektir. Formamidin disülfidin geri dönüşümsüz dekompozisyonunun engellenmesi ile bu olumsuzluklar giderilebilir. Bu amaçla SO₂ veya SO₂ oluşturan bir reaktifin (örneğin Na₂S₂C₂O₅) kullanımı ile formamidin disülfidin tiyöüreye indirgenmesi sağlanmalıdır (Reaksiyon 13). Ayrıca çözelti potansiyelinin

tyoüre/formamidin disülfid çiftinin elektrot potansiyel değeri civarında tutulması, aşırı formamidin oluşumunu engelleyecektir.



SO₂ formamidin disülfid için selektif bir indirgeyicidir ve ortamda formamidin bulunduğu sürece diğer oksitleyici ile reaksiyona girmeyecektir. Bu nedenle formamidin disülfid/SO₂ miktarı üç verimini olumsuz etkilemeyecek bir şekilde ayarlanmalıdır (Çelik, 1996).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

İzmir'e 80 km uzaklıkta Bergama-Dikili arasında bulunan Ovacık altın yatağından alınan ortalama tane iriliği 150 µm olan parçalar halindeki numune, bir seri ufalama işlemlerinden geçirildikten sonra deneysel çalışmalar ve kimyasal/mineralojik analizler için uygun tane iriliğine indirilmiştir. Cevherde tesbit edilen mineraller kuvars ve feldspat olup ana kayacın %95 ini oluşturmaktadır. Çizelge 1 cevher yapısındaki elementlerin yüzdeleri, Çizelge 2 de altın ve gümüş dağılımını göstermektedir.

Çizelge 1. Cevherin Element Dağılımı

Elementler		
Au	(R/t)	14.09
H	(R/t)	60.75
SiO ₂	(%)	94.77
S	(%)	0.4
Cu	(g/t)	25.47
Zn	(S/t)	274.98
Pb	(s/t)	268.73
Mn	(g/t)	38.75
Fe	(g/t)	6945.29
Mg	(g/t)	361.37
Co	(g/t)	10.93
Cr	(g/t)	120.20

Çizelge 2. Fraksiyonel Altın ve Gümüş Dağılımı

Tane Dağılımı (mikron)	Ağırlık %	Au		Ag		Dağılım %	
		g/t	g/t	Au	Ag	Au	Ag
+106	27.89	13.00	63.00	25.73	28.92		
-106 + 80	10.53	11.00	55.42	8.22	9.61		
-80 + 63	3.5	1.25	52.50	0.32	3.08		
-63 + 53	6.2	3.33	42.50	1.49	4.40		
-53 + 45		3.75	60.00	0.75	2.77		
-45 + 40	6.2	3.33	33.75	1.49	3.49		
-40	42.64	20.50	68.00	62.02	47.73		
Toplam	100.00	14.09	60.75	100.00	100.00		

3.1 Siyanür Liçi Sonuçları ve Analiz Yöntemleri

Siyanür liçi testlerinde pH'ı arttırmak için kireç kullanılmıştır. Plastik bir boru ile pülp 6-8 mg/l O₂ olacak şekilde havalandırılmıştır. Belirli zamanlarda pülpten 50 ml numune alınıp filtre edilerek pH ve serbest siyanür miktarı, tespit edilmiştir.

Siyanür liç prosesinin optimum şartlarının tesbiti amacıyla yapılan ön çalışmalarda denenen parametreler ve bulunan optimum liç koşulları Çizelge 3' de sunulmuştur. Ayrıca bu ön denemelerden elde edilen altın verimleri Şekil 1' de grafiksel olarak gösterilmiştir. Burada verilen A, B, C, herbir parametre için öngörülen değişkenleri göstermektedir.

Çizelge 3. Siyanür Liçi Parametreleri

Parametre	A	B	C
Tane Boyutu (µm)	•74	63	38*
Katı oranı (%)	20	30*	40
PH	10.5	11*	11.5
NaCN Kons. (g/l)	0.3	0.5*	0.7
Karıştırma Hızı (rpm)**		300	480*

Liçten alınan optimum sonuçlar

** Sadece iki hızda deneme yapılmıştır

Tane boyutu küçüldükçe serbest altın miktandaki artışa bağlı olarak altın veriminde yükselme görülmektedir. Katı-sıvı oranı arttıkça siyanür tüketimi ve altın kazanma verimi artmaktadır. pH 10.5 ve 11.5 değerleri

arasında verimde önemli değişimler gözlenmemiştir. Ortalama kireç sarfiyatı 4 kg/t'dur. Karıştırma hızındaki yükseliş altın verimini arttırmış fakat siyanür tüketimini de önemli ölçüde yükselmiştir. Siyanür konsantrasyonunun altın ve gümüş verimleri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Şekil 1' den de açıkça görüldüğü üzere maksimum altın 0.7 g/l NaCN konsantrasyonunda çözeltili alınmıştır. 0.5 g/l NaCN konsantrasyonunun altın veriminde 0.7 g/l NaCN ün altın verimine nazaran %2 lik bir düşüş söz konusudur. Daha az siyanür sarfiyatından dolayı optimum NaCN konsantrasyonu değeri 0.5 g/l olarak kabul edilmiştir (Tükel, 1996).

Analiz Yöntemleri: Süzölmüş sıvıdaki serbest siyanür miktarı standart gümüş nitrat ve rodanın indikatörü ile titre edilerek hesaplanmıştır. Altın ve gümüş tayini için süzölmüş sıvılar KMnO₄ ile parçalanmış, oluşan Au(III)-klor kompleksi MBBK (Metil İzobutil Keton) ile organik faza alınarak AAS (Atomik Absorpsiyon Spektrometre) cihazı ile değerler okunmuştur.

3.2 Tiyoüre Liçi Sonuçları ve Analiz Yöntemleri

Önceden hesaplanan miktarlarda katı numune ve su istenen katı/sıvı oranında liç şekillerine yerleştirildikten sonra ortamın pH'ı H₂SO₄ ile denenecek seviyelere indirilmiştir. Katı halde tiyoüre, Fe₂(SO₄)₃ ve Na₂S₂O₅ ortama ilave edilmiştir. Belirli zamanlarda ortamın pH'ı kontrol edilmiş, serbest tiyoüre, çözeltiliye geçen altın ve gümüş miktarlarının tesbiti amacıyla numuneler alınmıştır.

Tiyoüre liç prosesinin optimum şartlarının tesbiti amacıyla yapılan ön çalışmalarda denenen parametreler ve bulunan optimum liç koşulları Çizelge 4'de sunulmuştur. Ayrıca bu ön denemelerden elde edilen altın verimleri Şekil 2' de grafiksel olarak gösterilmiştir.

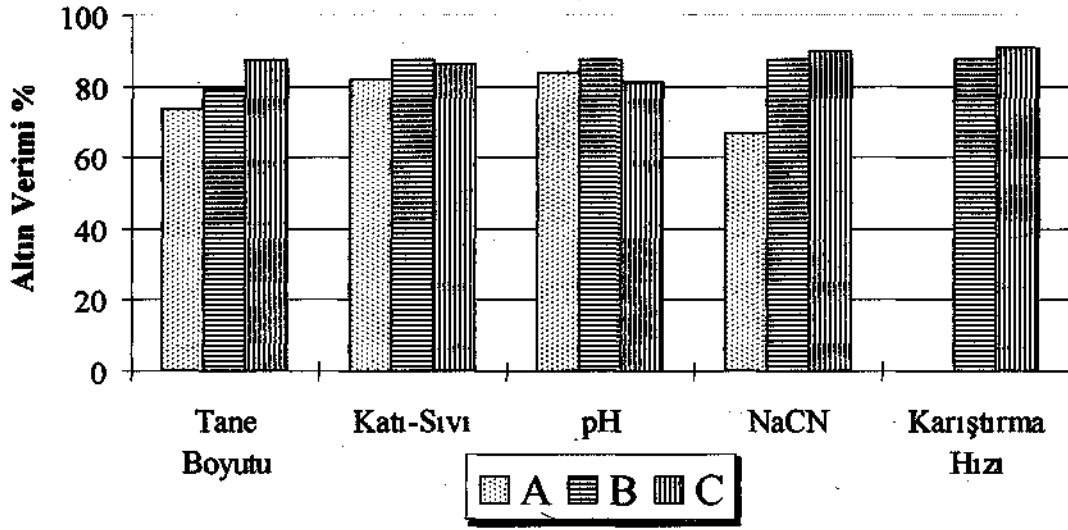
Çizelge 4. Tiyoüre Liçi Parametreleri

Parametre	A	B	C-
Tane Boyutu (um)	74	63	38*
Katı oranı(%)	20*	30	40
PH	1*	1.5	2
Tiyoüre Kons.. (g/l)	4	6*	8
Fe ₂ (SO ₄) ₃ Kons.**.	6*	4	2
(g/l)			
Na ₂ S ₂ O ₅ Kons***	0	0.5*	2
(S/l)			
Karıştırma Hızı (rpm)		480	300

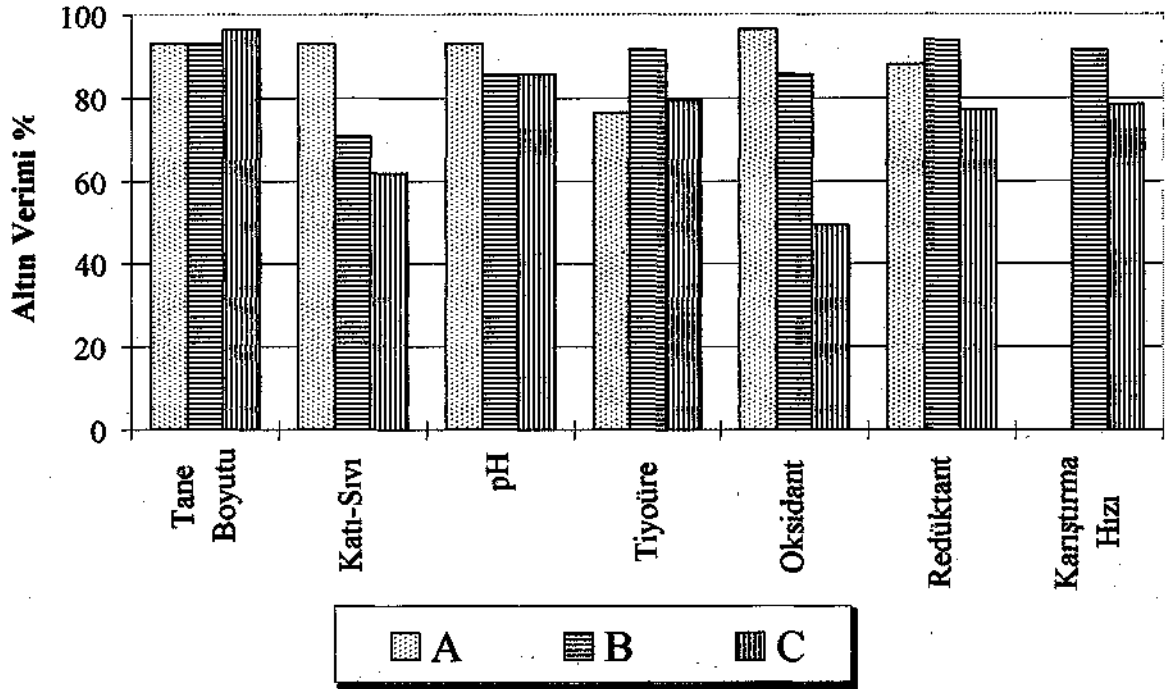
Liçten alınan optimum sonuçlar

** Oksitleyici
*** indirgeyici

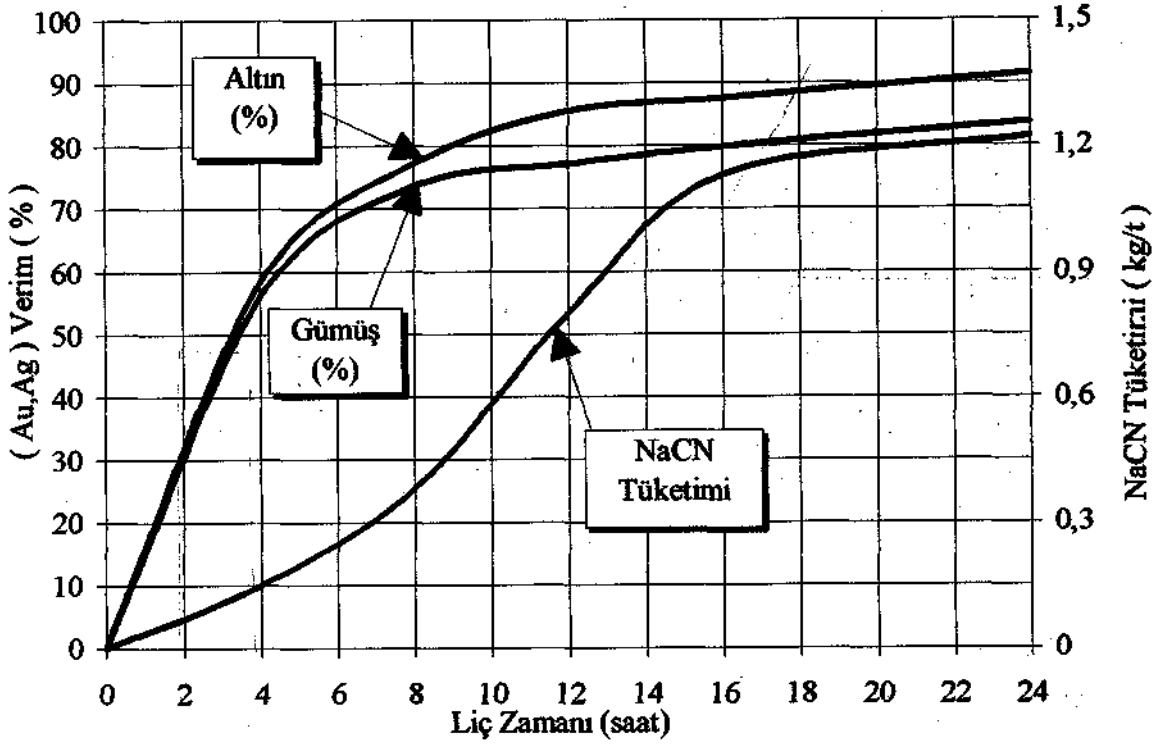
Maksimum altın, serbestleşmeye bağlı olarak 38 mikron tane boyutunda çözeltili alınmıştır. Ayrıca bu tane iriliğinde tiyoüre sarfiyatında en düşük olduğu gözlenmiştir. %20 pülpte katı oranında altın verimi en fazladır. %40 pülpte katı oranında en düşük tiyoüre sarfiyatı gözlenmesine rağmen altın veriminde düşük olduğu tesbit edilmiştir. Deneysel çalışmalar altın veriminin pH'a bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Düşen pH ile birlikte altının çözeltiliye geçme oranında artış gözlenmiştir. Tiyoüre konsantrasyonunun altın verimine etkisini incelemek amacıyla yapılan çalışmada 4.0, 6.0, ve 8.0 g/l tiyoüre miktarları denenmiştir. Gerek tiyoüre sarfiyatı ve gerekse altın kazanma verimi açısından optimum tiyoüre konsantrasyonu 6.0 g/l dir. 8.0 g/l konsantrasyon miktarındaki altın veriminde tesbit edilen düşüşün nedeni, ortamda aşın formamidin disülfid oluşumu ve bunda elementel sülfüre parçalanarak besleme malındaki altını pasive etmesidir. En uygun oksitleyici miktar 6.0 g/l dir. 2.0 g/l konsantrasyonunda sistem oksitleyici ihtiyacı duyduğu için altın ve gümüş verimlerinde düşük gerçekleşmiştir. Na₂S₂O₅ 0.0, 0.5, ve 2.0 g/l konsantrasyon değerlerinde denenmiştir. 2.0 g/l miktarda SO₂ nin formamidin disülfidin yanısıra diğer oksitleyici ile de reaksiyona girerek liç verimini olumsuz olarak etkilediği düşünülmektedir (Çelik, 1996).



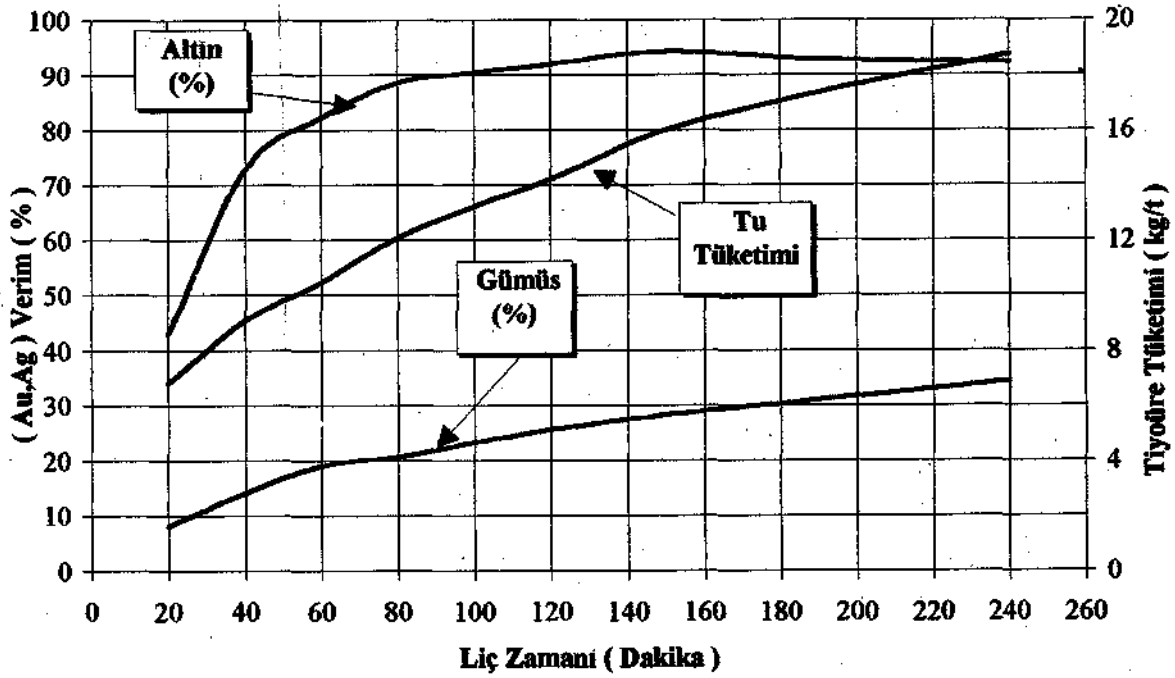
Şekil 1. Siyanür liçinde denenen parametrelerde alınan altın verimleri



Şekil 2. Tiyoüre liçinde denenen parametrelerde alınan altın verimleri



Şekil 3. Optimum liç şartlarındaki altın, gümüş verimi ve siyanür tüketimi değişimi



Şekil 4. Optimum liç şartlarındaki altın, gümüş verimi ve tiyoüre tüketimi değişimi

Analiz Yöntemleri: Liç ortamından alınan numuneler süzülerek 2N (20ml) H₂SO₄ ile asitleştirildikten sonra, 1 mi nişasta çözeltisi indikatör olarak kullanılmış ve KIO₃ çözeltisi ile bu çözelti titre edilerek serbest tiyoüre miktarı hesaplanmıştır. Asidik tiyoüre çözeltisindeki altın analizi için filtre edilen süzüntü kuruluğa kadar ısıtılmış, artık 10 mi kral suyu ile çözündürülmüştür. Başlangıç halindeki kuruluğa kadar (yaklaşık 1 mi kalıncaya kadar) bu çözelti buharlaştırılmış ve daha sonra 50 mi (3N) HCl ve iyonların kompleksleştirilmesi amacıyla 5 gr sodyum dihidrojen ortofosfat ilave edilmiştir. Bu nihai çözelti MIBK (Metil İzobutil Keton) fazına alınarak altın miktarı AAS (Atomik Absorbsiyon Spektrometresi) cihazı ile tespit edilmiştir. Çözeltiye alınan gümüş ise direk olarak asidik tiyoüre çözeltisinden AAS ile tesbit edilmiştir.

4. PROSESLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Optimum liç parametrelerinin tesbitinden sonra, bu optimum şartlarda her iki proses için son denemeler yapılmıştır. Bu denemelerden alınan veriler kullanılarak prosesler altın, gümüş kazanma verimleri ve reaktif sarfiyatı bazında karşılaştırılmıştır. Son deneysel çalışmalara ait veriler grafiksel olarak Şekil 3, 4'de verilmiştir. Ayrıca iki prosesin karşılaştırılması Çizelge 5'de özetlenmiştir.

Çizelge 5. Siyanür ve Tiyoüre Proseslerinin Karşılaştırılması

	Siyanür	Tiyoüre
Altın Verimi (%)	92	94.29
Gümüş Verimi (%)	80	28.27
Zaman (saat)	24	2.5
Tüketim (kgA)	1.28	16
Reaktif Fiyatı* (S/kg)	2.2	2.2
Reaktif Malivcti (\$/t)	2.82	35.2
Reaktif Malivcti** (S/g)	0.22	2.67

Tahmini ticari reaktif fiyatı

** Çözeltiye alınan bir gram altın için

5. SONUÇLAR

Çizelge 5'den de açıkça görüldüğü üzere her iki proses ile ekonomik değerlendirmeye alınabilecek miktarlarda altın çözeltiye alınabilmiştir. Ancak tiyoüre prosesi ile gümüş, siyanür prosesine nazaran çok daha az miktarlarda kazanılmıştır. Özellikle gümüşlü cevherlerin tiyoüre liçinde bu durum olumsuzluk yaratabilir. Tiyoüre prosesinin diğer bir olumsuz yanı aşın çözücü sarfiyatından kaynaklanmaktadır. Şöyleki 100 \$ değerindeki altını çözeltiye alabilmek için 20.54\$ lık tiyoüre sarfedilmektedir (altın 13 \$/g kabul edilmiştir). Bu değer siyanür prosesinde 1.69\$ olduğu düşünülürse ve asit sarfiyatı (26.67 l/t) da göz önüne alınırsa tiyoüre prosesinin nedenli pahalı bir yöntem olduğunu anlamak kolay olacaktır. Tiyoüre prosesi ile Çizelge 5'de verilen verim değerlerine 2.5 saat sonunda ulaşılırken, siyanür prosesinin 24 saat liç süresine gereksinim duyması tiyoüre yöntemi için bir avantaj teşkil etmektedir. Düşük pH değerlerinde çalışma mecburiyetinin tesiste doğuracağı diğer problemler ve liç sistemini dar Eh-pH aralığında tutmanın getireceği diğer bir güçlük, tiyoü-renin işletme çapında kullanımında fazladan dezavantajlar geüniektedir. Siyanürün zehirli bir madde olması, gerek atıkların depolanması ve gerekse tesis ; içinde bazı sıkı önlemlerin alınma zarurietini, özellikle çevresel açıdan hassas yörelerde bu prosesin kullanımında kuşku yarattığıdır. Tiyoürenin siyanüre nazaran daha güvenilir olması bu prosesi bir adım öne çıkartıyor gibi gözükmesine rağmen, asidik ortamda çözeltiye geçecek olan ağır metallere insan sağlığı ve çevre açısından sorunlar doğurabileceği unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

ÇELİK, H., 1996; "Determination of Thiourea Leaching Conditions of Ovacık Gold Ore", Yüksek Lisans Tezi., Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

HEDLEY, N. ve TABACHNICK, H., 1968; "Chemistry of cyanidation, Mineral Dressing Notes 23, American Cyanamid Company", New York.

PYPER, R.A. ve HENDRIX, J.L., 1981; "Extraction of Gold from a Carlin Type Ore using Thiourea, Gold and Silver Leaching, Recovery, and Economics", Proc. 110th AIME Meeting: Chicago, s.93-108.

MARSDEN, J. ve HOUSE, I., 1992; "Chemistry of Gold Extraction", Ellis Horwood Ltd Publication, S.45-84 ve S.290-302,

SCHULZE, R.G., 1994; "New aspects in thiourea leaching of Precious Metals", Journal of Metals, June 1984, S.62-65.

TÜKEL, Ç., 1996; "Determination of Certain Parameters in Cyanide Leaching of Ovacık Gold Ore", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü