

**DÜŞÜK TENÖRLÜ ALTIN CEVHERİNİN
ZENGİNLEŞTİRMESİNDE MİNERALOGİNİN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MINERALOGY ON
THE BENEFICIATION OF LOW GRADE GOLD ORE**

SENA NAZ GÖKDEMİR

PROF. DR. İLKAY BENGÜ CAN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2023

ÖZET

DÜŞÜK TENÖRLÜ ALTIN CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRMESİNDE MİNERALOGİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Sena Naz GÖKDEMİR

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İlkay Bengü CAN

Eylül 2023, 145 sayfa

Refrakter altın tipi cevherler doğrudan siyanür liğine tabi tutulduğunda düşük altın kazanımının elde edildiği cevherleşmelerdir. Özellikle altının sülfürlü/oksitli minerallerin kafes yapısında kapanım halinde bulunması ve çok ince taneli olması refrakterliğe neden olmaktadır. Bu tarz cevherlerin siyanür liçi ile zenginleştirilmesinden önce bazı ön işlemlere ihtiyaç olabilmektedir. Günümüzde, özellikle sülfürlü minerallerle birlikte bulunan refrakter altın için toplu flotasyon yöntemi, uygulanan ön işlemlerin maliyeti ve siyanürün çevresel etkileri göz önüne alındığında oldukça tercih edilir hale gelmektedir.

Bu tez kapsamında, Kırşehir masifinde yer alan bir cevher yatağından alınan numunelerin detaylı mineralojik karakterizasyonu yapılmış ve altın içeren mineralleşmenin saptanmasından sonra cevherin yerçekimi ve flotasyonla zenginleştirme davranımı incelenmiştir.

Temsili alınan karot numunelerinin mineralojik karakterizasyonuna göre, cevher yatağı sülfürlü, geçiş ve oksitli olmak üzere üç farklı zona bölünmüştür. Zonlarda, majör mineraller olarak kuvars ve feldspat saptanmış, sülfürlü ve geçiş zonundaki ana sülfürlü mineralin ise pirit olduğu belirlenmiştir. Bu iki zonda nabit altının

tamamen pirit minerali ile bağlı olduğu, oksit zonunda ise altının submikroskopik boyda olduğu ve demir oksit mineralleriyle birlikte bulunduğu saptanmıştır.

Mineralojinin yanı sıra her üç zonun oksitlenme derecesi ve kimyasal bileşimi de incelenmiştir. Buna göre sülfürlü, geçiş ve oksitli zonların yüzey oksidasyonunun az olduğu, Au içeriklerinin ise sırasıyla 1,13 g/t, 0,71 g/t ve 0,76 g/t olduğu belirlenmiştir.

Altın yatağının refrakterliğini tanımlamak için şişe çevirme testleri (bottle-roll test) yapılmış; sülfürlü, geçiş ve oksitli zon için ortalama Au verim değerleri sırasıyla %38,3, %39,6 ve %56,5 olarak llmştir. Düşük znme verim değerleri, mineralojik kenetlilik, submikroskopik oluşum ve düşük Au içeriği bulgularıyla desteklendiğinde cevher yatağının refrakter olarak sınıflandırılabilceğini göstermiştir.

Altının oksitli zonda demir oksit mineralleriyle birlikte bulunması nedeniyle sadece bu zon için sallantılı masa testi yapılmış, altın konsantrede 25,9 g/t tenör ve %52,7 verimle kazanılmasına rağmen iri boyda serbest altının bulunmamasından ve submikroskopik boyda bulunan altının %21'inin şlam fraksiyonu ile kaybedilmesinden dolayı sallantılı masa testinin tek başına yeterli olmadığı ortaya konmuştur.

Flotasyon yöntemi her üç zon için farklı koşullarda uygulanmış, elde edilen sonuçlar altın verimi ve tenörü açısından değerlendirilmiştir. Sülfürlü ve geçiş zonu için altın taşıyıcı mineralin pirit olması nedeniyle toplu sülfür flotasyonu, oksitli zon için ise demir oksit minerallerinin yzdrlmesine yönelik flotasyon koşulları uygulanmıştır. Farklı tipte toplayıcılar ve bunların sinerjik etkileri de incelenmiştir.

Buna göre sülfürlü ve geçiş zonlarında en yüksek altın kazanımı sırasıyla %97 verim ve 5,7 g/t, %86,7 verim ve 5,4 g/t tenryle Aero 8045 toplayıcısı kullanıldığında elde edilebilmektedir. Oksitli zonda Aero 825 kullanılarak yapılan flotasyon testine göre verim %27, tenör ise 0,9 g/t olmaktadır.

Sülfürlü ve geçiş zonlarının birbirine mineralojik olarak benzemesi nedeniyle rezerv oranlarınca karıştırılarak Paal1 ve ayrıca tüm zonların karıştırıldığı diğer Paal2 numuneleri oluşturulup flotasyon davranımları incelenmiştir. Buna göre, KAX+Aero 407 ile yapılan testlerde sırasıyla Paal1 ve Paal2 için Au verim değerleri %90,9 ve %89,2; Aero 8045 ile yapılan testlerde ise sırasıyla %95,3 ve %60,6 olmaktadır. Paal1 açık devre temizleme flotasyonunda Au tenörü 8 g/t

olurken en yüksek temizleme verimi %50,7 ile Aero 8045 ile sağlanmıştır. Bu sonuçlardan sülfürlü ve geçiş zonuunun birlikte işlenebileceği, ancak oksitli zonu harmanlanmaması gerektiği belirlenmiştir. Oksitli zon için altına yönelik daha detaylı karakterizasyon çalışmaları gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Altın, refrakter, flotasyon, verim/tenör, mineraloji



ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MINERALOGY ON THE BENEFICIATION OF LOW GRADE GOLD ORE

Sena Naz GÖKDEMİR

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İlkey B. CAN

September 2023, 145 pages

Refractory gold-type ores are the mineralization where low gold recovery is obtained when subjected to direct cyanide leaching. In particular, the presence of gold in the lattice structure of sulfide/oxide minerals and very fine grains cause refractoriness. Such ores may require some pre-treatment before they can be beneficiated by cyanide leaching. Nowadays, especially for refractory gold with sulphide minerals, the bulk flotation method is becoming highly preferable considering the cost of pretreatments and the environmental impacts of cyanide.

Within the scope of this thesis, detailed mineralogical characterization of samples taken from an ore deposit located in the Kırşehir massive was carried out and the gravity and flotation beneficiation behavior of the ore was investigated after the detection of gold-bearing mineralization.

According to the mineralogical characterization of representative drill core samples, the ore deposit was divided into three different zones such as sulphide, transition, and oxide. In the zones, quartz and feldspar were identified as the major minerals and pyrite was the main sulphide mineral in the sulphide and

transition zones. In these two zones, it was determined that the native gold was completely locked with pyrite mineral, while in the oxide zone, gold was found to be submicroscopic in size and was found associated with iron oxide minerals.

In addition to mineralogy, the degree of oxidation and chemical composition of all three zones were also examined. Accordingly, it was determined that the surface oxidation of the sulfide, transition and oxide zones was low, and the Au contents were 1.13 g/t, 0.71 g/t and 0.76 g/t, respectively.

Bottle-roll tests were carried out to characterize the refractoriness of the gold deposit and the average Au recovery values for the sulphide, transition and oxide zones were 38.3%, 39.6% and 56.5%, respectively. The low dissolution values, supported by the findings of mineralogical interlocking, submicroscopic occurrence and low Au content, indicate that the ore deposit can be classified as refractory.

Since gold was associated with iron oxide minerals in the oxide zone, shaking table test was performed only for this zone and although gold was recovered in the concentrate with a grade of 25.9 g/t and a recovery of 52.7%, it was revealed that shaking table test alone was not sufficient due to the absence of free gold in the coarse size and the loss of 21% of the gold in the submicroscopic size with the slime fraction.

The flotation method was applied under different conditions for all three zones and the results obtained were evaluated in terms of gold recovery and grade. Bulk sulfide flotation was applied for the sulfide and transition zones since the gold bearing mineral was pyrite, and flotation conditions for the oxide zone were applied for the flotation of iron oxide minerals. Different types of collectors and their synergistic effects were also investigated.

According to the results, the highest gold recovery in the sulfide and transition zones could be obtained when using the Aero 8045 collector with 97% recovery, 5.7 g/t grade and 86.7% recovery, 5.4 g/t grade, respectively. According to the flotation test performed in the oxide zone using Aero 825, the recovery is 27% and the grade is 0.9 g/t.

Since the sulfide and transition zones are mineralogically like each other, Blend1 sample was prepared by mixing them in proportion to their reserve ratios and another Blend2 sample was formed by mixing all zones and their flotation behavior was investigated. Accordingly, the Au recovery values for Blend1 and Blend2 were 90.9% and 89.2% for tests with KAX+Aero 407 and 95.3% and 60.6% for tests with Aero 8045, respectively. While Au grade was 8 g/t in Blend1 open circuit cleaning flotation, the highest cleaning efficiency was achieved with Aero 8045 with 50.7%. From these results, it is determined that the sulphide and transition zone can be processed together and should not be blended with the oxide zone. For the oxide zone, more detailed characterization studies are required for the gold.

Keywords: Gold, refractory, flotation, recovery/grade, mineralogy

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca yardımlarını asla esirgemeyen ve sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesiyle her daim yoluma ışık olan, problemlerimin çözümünde ve akademik alandaki gelişimimde manevi desteğini hiç esirgemeyen tez danışmanım Sn. Prof. Dr. İlkay Bengü CAN'a,

Tez çalışmalarım süresince her konuda bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, Demir Export'un sahip olduğu tüm imkanları benimle paylaşan Sn. Dr. Bahadır AKSANI'ya ve Dr. Ahad HARZANAK'a,

Deneysel çalışmalarımda göstermiş oldukları hem manevi destek hem de her türlü mesleki yardımlar için Sn. Dr. E. Caner ORHAN'a, Sn. Doç. Dr. Özgür Özcan'a ve Sn. Doç. Dr. Ergin GÜLCAN'a

Tüm süreç boyunca analizlerimin okunmasında yardımcı olan tüm Demir Export Merkez Analiz Laboratuvarı çalışanlarına,

En içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ.....	15
1.1. Çalışmanın Kapsamı.....	17
2. GENEL BİLGİLER	19
2.1. Altının Tarihçesi ve Özellikleri	19
2.2. Altının Ekonomide Yeri ve Üretimi	19
2.3. Altının Doğada Bulunma Şekilleri ve Altın Cevherleri.....	22
2.4. Altın Yatakları	27
3. ALTIN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	28
3.1. Yerçekimi (gravite) Yöntemi	28
3.2. Flotasyon Yöntemi	30
3.3. Siyanür ile Liç Yöntemi.....	33
3.4. Refrakter Altın Cevherleri İçin Uygulama Örnekleri	36
4. REFRAKTER ALTININ MİNERALojİK KARAKTERİZASYON YÖNTEMLERİ	39
4.1. EMPA	42
4.2. SIMS	44
4.3. PIXE.....	45
4.4. HR-TEM	46
4.5. TOF-LIMS	46
4.6. Lazer Mikroproblar	47
4.7. XRMF	47
5. MALZEME VE YÖNTEM	48
5.1. Ruhsat Alanı ve Karot Bilgileri	48
5.2. Numune Hazırlama	50
5.3. Karakterizasyon Çalışmaları	51

5.3.1.	Fiziksel Karakterizasyon.....	51
5.3.2.	Kimyasal Karakterizasyon	51
5.3.3.	Mineralojik Karakterizasyon.....	52
5.4.	Zenginleştirme Çalışmaları	54
5.4.1.	Şişe Çevirme Testleri	54
5.4.2.	Sallantılı Masa Testi.....	55
5.4.3.	Flotasyon Testleri.....	56
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	58
6.1.	Karakterizasyon Çalışmalarının Sonuçları	58
6.1.1.	Fiziksel ve Kimyasal Karakterizasyon.....	58
6.1.2.	Mineralojik Karakterizasyon	59
6.2.	Zenginleştirme Testlerinin Sonuçları	72
6.2.1.	Şişe Çevirme Testleri	72
6.2.2.	Sallantılı Masa Testi.....	75
6.2.3.	Flotasyon Testleri.....	76
6.2.3.1.	Ön Testler	76
6.2.3.2.	Sülfürlü Zon	79
6.2.3.3.	Geçiş Zonu	87
6.2.3.4.	Oksitli Zon	92
6.2.3.5.	Paçal Numuneler	93
7.	SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER.....	97
	KAYNAKLAR	104
	EKLER	110
	ÖZGEÇMİŞ	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Altının kullanım alanları [5]	20
Şekil 2.2. Üretim oranına göre en büyük altın rezervine sahip ilk 10 ülke	21
Şekil 2.3. Türkiye'de yıllara göre altın üretimi	22
Şekil 2.4. Altın içeren cevherlerin sınıflandırılması	24
Şekil 2.5. Plaser altın yatağı [1].....	27
Şekil 3.1. Sallantılı masa [16]	29
Şekil 3.2. Gemini masa	30
Şekil 3.3. Suyun hareketi ile sürüklenme çeşitleri	32
Şekil 3.4. Siyanür ve pH ilişkisi [42].....	35
Şekil 4.1. WDS ve EDS farkı [54].....	42
Şekil 4.2. X-ışını element haritası (kırmızı: magnezyum, kalsiyum: yeşil, alüminyum: mavi) [54]	43
Şekil 4.3. EMPA analiz sistemi [55]	43
Şekil 4.4. SIMS analizi [14]	44
Şekil 4.5. EMPA ve PIXE ile altın ve diğer elementlerin haritalandırılması [59]	45
Şekil 4.6. TOF-LIMS analiz sistemi	46
Şekil 5.1. Kırşehir Masifi.....	49
Şekil 5.2. Zonlara ait karot görüntüleri a) oksitli zona ait karotlar b) geçiş zonuna ait karotlar c) sülfürlü zona ait karotlar	50
Şekil 5.3. MLA cihazı	53
Şekil 5.4. Şişe çevirme test düzeneği.....	55
Şekil 5.5. Oksitli zon sallantılı masa testi	56
Şekil 6.1. Nabıt altının serbestleşmesi ve diğer minerallerle bağlılık durumu ...	60
Şekil 6.2. Submikroskopik altının diğer minerallerle durumu	60
Şekil 6.3. Sülfürlü zonun tüm fraksiyonlardaki genel modal mineralojisi	62
Şekil 6.4. Geçiş zonunun tüm fraksiyonlardaki genel modal mineralojisi	63
Şekil 6.5. Oksit zonunun tüm fraksiyonlardaki genel modal mineralojisi	64
Şekil 6.6. Geçiş zonundaki pirit-altın birlikteliği.....	65
Şekil 6.7. Her zondaki pirit mineralinin serbestleşme ve bağlılık durumu a) sülfürlü zon b) geçiş zonu c) oksitli zon	66

Şekil 6.8. Sülfürlü zon fraksiyonlarındaki minerallerin serbestleşme durumu a) 106+53 fraksiyonu b) -53+20 fraksiyonu	67
Şekil 6.9. Geçiş zonu fraksiyonlarındaki minerallerin serbestleşme durumu a) 106+53 fraksiyonu b) -53+20 fraksiyonu	68
Şekil 6.10. Oksitli zon fraksiyonlarındaki minerallerin serbestleşme durumu a) 106+53 fraksiyonu b) -53+20 fraksiyonu	69
Şekil 6.11. Öğütme kalibrasyon a) sülfürlü zon b) geçiş zonu c) oksitli zon	77
Şekil 6.12. Toplayıcı dozajının tek seferde ya da kademeli eklenmesinin etkisi	79
Şekil 6.13. Sülfürlü zon için farklı toplayıcılar kullanıldığında Au verim ve zaman ilişkisi.....	80
Şekil 6.14. Sülfürlü zon için farklı toplayıcılar kullanıldığında Au verim ve altın tenör ilişkisi.....	81
Şekil 6.15. Sülfürlü zon için farklı toplayıcılar kullanıldığında katı verim ve Au verim ilişkisi	82
Şekil 6.16. Sülfürlü zon için farklı toplayıcılar kullanıldığında (a) Au-S ve (b) Au-pirit ilişkisi	83
Şekil 6.17. Sülfürlü zon için toplayıcı karışımının Au verim ve zaman ilişkisi ...	84
Şekil 6.18. Sülfürlü zon için toplayıcı karışımının Au verim ve Au tenör ilişkisi .	85
Şekil 6.19. Sülfürlü zon için toplayıcı karışımının katı verim ve Au verim ilişkisi	85
Şekil 6.20. Sülfürlü zon için toplayıcı karışımı kullanıldığında (a) Au-S ve (b) Au-pirit ilişkisi	86
Şekil 6.21. Geçiş zonu için farklı toplayıcılar kullanıldığında Au verim ve zaman ilişkisi.....	88
Şekil 6.22. Geçiş zonu için farklı toplayıcılar kullanıldığında Au verim ve tenör ilişkisi.....	88
Şekil 6.23. Geçiş zonu için farklı toplayıcılar kullanıldığında katı verim ve Au verim ilişkisi	89
Şekil 6.24. Geçiş zonu için farklı toplayıcılar kullanıldığında Au-pirit ilişkisi.....	90
Şekil 6.25. Geçiş zonu için toplayıcı karışımının Au verim ve zaman ilişkisi	90
Şekil 6.26. Geçiş zonu için toplayıcı karışımının Au verim ve Au tenör ilişkisi ..	91
Şekil 6.27. Geçiş zonu için toplayıcı karışımının katı verim ve Au verim ilişkisi	91
Şekil 6.28. Oksitli zon flotasyon test sonuçları (KAX ve Aero 825).....	93
Şekil 6.29. Paçal numuneleri için zamana bağlı Au verim ilişkisi.....	94
Şekil 6.30. Paçal numuneleri için Au verim ve Au tenör ilişkisi	95

Şekil 6.31. Paçal numuneleri için katı verim ve Au verim ilişkisi 96



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Altın mineralleri.....	23
Çizelge 2.2. Altın verimine göre refrakterlik durumu	26
Çizelge 5.1. Numunelere ait derinlik ve tenör bilgisi.....	51
Çizelge 5.2. Tüm zonlar için flotasyon koşulları	57
Çizelge 6.1. Zonların kimyasal analiz sonuçları	58
Çizelge 6.2. Cevher yatağını temsil eden karotların modal mineralojisi	59
Çizelge 6.3. Zonlara ait öngörülen zenginleştirme verimleri	61
Çizelge 6.4. Sülfürlü zona ait modal mineraloji.....	62
Çizelge 6.5. Geçiş zonuna ait modal mineraloji.....	63
Çizelge 6.6. Oksitli zona ait modal mineraloji	64
Çizelge 6.7. Tüm zonlarda saptanan altın tane sayısı.....	65
Çizelge 6.8. Piritin tüm zonlardaki ikili ve çoklu bağılılık durumu.....	71
Çizelge 6.9. Altının tüm zonlardaki ikili ve çoklu bağılılık durumu.....	71
Çizelge 6.10. Fe-oksitin oksitli zondaki ikili ve çoklu bağılılık durumu	71
Çizelge 6.11. Oksitli zona ait şişe çevirme test sonuçları	72
Çizelge 6.12. Sülfürlü zona ait şişe çevirme test sonuçları	73
Çizelge 6.13. Geçiş zonuna ait şişe çevirme test sonuçları	74
Çizelge 6.14. Oksitli zonun sallantılı masa testi sonucu	75
Çizelge 6.15. CuSO ₄ ilavesinin flotasyon verimine etkisi.....	78
Çizelge 6.16. Asidik ve alkali pH'nın flotasyon verimine etkisi.....	78
Çizelge 7.1. Flotasyon test sonuçlarının özeti	101

SİMGELER VE KISALTMALAR

Birimler

ppm	Milyonda parça
L/dk	Litre/dakika
g/cm ³	Yoğunluk
g/t	gram/ton
dk	Dakika
mg/L	Miligram/litre
µm	Mikron metre

Simgeler

Au	Altın
Ag	Gümüş
Fe	Demir
S	Sülfür
O ₂	Oksijen
CuSO ₄	Bakır Sülfat
FeOx	Demir Oksit

Kısaltmalar

EMPA	Elektron MikroProb Analizi (Electron Microprob Analysis)
SIMS	İkincil İyon Kütle Spektrometresi (Secondary Ion Mass Spectrometry)
PIXE	Parçacık İndüksiyonlu X-ışını Analizörü
HR-TEM	Yüksek Çözünürlüklü Transmisyon Elektron Mikroskobu
TOF-LIMS	Lazer İyonlaşması Kütle Spektrometresi
XRMF	X-ışını Mikrofloresansı
MTA	Maden Tetkik Arama
MLA	Mineral Serbestleşme Analizi
ICP-OES	İndüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi
BSE	Geri Saçılmış Elektron (Backscattered Electron)
SE	İkincil Elektron (Secondary Electron)
WDS	Dalga Boyu Dağılımlı Spektrometre
EDS	Enerji Dağılımlı Spektrometre
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu

1. GİRİŞ

Altın; doğada meydana gelen değişimlere karşı direnci ve kolayca şekil verilebilmesi gibi özelliklerinden dolayı çok eski zamanlardan beri metaller arasındaki popülerliğini kaybetmemiştir. Eskiden süs eşyası, ziynet ve alışveriş aracı olarak kullanılan altın, teknolojinin gelişmesi ile sanayi, savunma, tıp, havacılık, uzay ve iletişim gibi birçok alanda da kullanım yeri bulmuştur.

Altın için, Dünya’da ve ülkemizde önemli rezervler bulunmaktadır ve her yıl önemli miktarlarda altın üretimi gerçekleştirilmektedir. United States Geological Survey (USGS) verilerine göre Türkiye, altın rezervleri bakımından 11.sırada yer almaktadır. 2000’lerin başından itibaren yıllık üretilen altın miktarı (ton/yıl) zaman zaman bazı düşüşler yaşasa da genel olarak bir artış göstermektedir. Özellikle düşük tenörlü ve ince boyutta serbestleşebilen altın yataklarının işlenebilirliğinde yaşanan gelişmeler nedeniyle Türkiye’de altın üretiminin daha da artacağı öngörülmektedir.

Altın yatakları birincil ve ikincil yataklar olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır. Altının genellikle kuvars damarlarında birikmesi ile birincil yataklar oluşmaktadır [1]. Birincil yatakların bir örneği olan epitermal yataklar mineral içeren yeraltı suları ile çeşitli kayaçların kimyasal tepkimesi sonucu yüzeye yakın bölgelerde oluşmaktadır [2].

Birincil yatakların fiziksel koşullar nedeniyle (rüzgâr, su, sıcaklık) aşınması sonucu ikincil yataklar oluşmaktadır. İkincil yatakların bir örneği olan plaser altın yatakları, ince altın tozlarının veya serbest altın tanelerinin dere kenarlarında birikmesiyle oluşmaktadır [1].

Altın, doğada serbest halde bulunabildiği gibi diğer minerallerle bağlı veya kapanım halinde de bulunabilmektedir. Bu farklı bulunma şekilleri farklı zenginleştirme yöntemine ihtiyacı beraberinde getirmektedir. Etkili bir zenginleştirme işlemine karar verebilmek için altının hangi formda bulunduğu,

hangi minerallerle beraber olduğu ve serbestleşmenin hangi boyutta gerçekleştiği gibi mineralojik bilgilere ihtiyaç vardır.

Altın cevherleri; serbest öğütme altın cevherleri, kompleks yapılı altın cevherleri ve refrakter altın cevherleri olarak üç ana grup altında sınıflandırılmaktadır. Bir başka minerale bağlı şekilde bulunan altın, geleneksel öğütme yöntemleri ile kolayca serbestleşebiliyorsa “serbest öğütme altın cevherleri” olarak isimlendirilmektedir. Zenginleştirme işlemi sırasında reaktif tüketimine veya değerli mineral kaçaklarına sebep olan yan minerallere sahip cevherler ise kompleks yapılı altın cevherleri olarak isimlendirilmektedir. Refrakter altın tanımı ise, geleneksel siyanür liğine dirençli tepki veren durumları kapsamaktadır [3].

Refrakter altın, standart siyanür liğine altın kazanımı açısından düşük tepki (<%80) veren cevher oluşumlarıdır. Altın tanelerinin sülfürlü/oksitli minerallerin kafes yapısında kapanım halinde bulunması, karbonatlı veya siyanür tüketen mineral varlığı gibi durumlar refrakterliğe neden olmaktadır. Bu tarz cevherlerin siyanür liçi ile zenginleştirilmesinden önce bazı ön işlemlere ihtiyaç vardır.

Başlıca altın zenginleştirme yöntemleri; özgül ağırlık farkına göre ayırma, flotasyon ve geleneksel siyanür liçidir. Oldukça eski ve geleneksel bir yöntem olan özgül ağırlık farkına göre ayırma (gravite) yöntemi yüksek özgül ağırlığa sahip altın tanelerinin iri boyutta serbestleştiği durumlar için uygundur. Altın zenginleştirilmesinde yüksek verim sağlayan siyanür liçi ise oldukça yaygın bir yöntemdir. Flotasyon yöntemi özellikle altın içeren sülfürlü minerallerin yüzdürülmesi ile gerçekleştirilmektedir. Genellikle liç öncesi ön zenginleştirme adımı olarak uygulanmaktadır.

Uygulanan zenginleştirme yöntemleri, altın veya altının içinde kapanım olarak bulunduğu mineralin bazı mineralojik ve metalürjik özelliklerinin yanı sıra çevresel ve sosyal durumlar da dikkate alınarak belirlenmektedir. Zenginleştirme yönteminin seçiminde önemli bir yere sahip olan mineralojik bilgiler, cevher yatağının karakterizasyonu ile belirlenmektedir. Bir mineral oluşumunun karakterizasyonu, cevher yatağının varlığının keşfedilmesinden işleyen bir tesis kurulumunda alınan nihai son ürüne kadar kritik bir yere sahiptir. Cevher yatağındaki farklı mineralojik oluşumlar daha iyi tanındıkça karşılaşılabilecek

problemlere çözümler veya yapılması gereken iyileştirmeler de daha hızlı ve güvenilir olmaktadır.

1.1.Çalışmanın Kapsamı

Bu tez kapsamında, Anadolu levhasının orta kısmında, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay hatları arasında bulunan Kırşehir masifi bölgesindeki refrakter altın cevherini işleyecek olan tesisin tasarımına temel oluşturacak mineralojik karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Karakterizasyon çalışmaları ile altının bulunma şekli ve yan minerallerle ilişkisi tespit edilerek uygun zenginleştirme yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonraki aşamada bu çalışmalar doğrultusunda farklı zenginleştirme testleri gerçekleştirilmiştir.

Bu doğrultuda hem cevher yatağının hem de bu tez kapsamında çalışılacak numunelerin mineralojik karakterizasyon çalışmaları Kanada AMTEL'deki ve Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü'ndeki laboratuvarlarda (MTA) gerçekleştirilmiştir. Bunlara ek olarak numunelerin yüzey oksitlenme durumları ve yoğunlukları da incelenmiştir.

Cevher yatağının oksitlenme durumu ve detaylı mineralojik karakterizasyon çalışmaları sonrası cevher yatağı sülfürlü, geçiş ve oksitli olmak üzere üç farklı zona bölünmüştür. Son kaynak kestirim raporuna göre cevher yatağının %83'ü sülfürlü zondan, %10'u oksitli zondan ve %7'si geçiş zonundan oluşmaktadır.

Karakterizasyon çalışmaları sonrası zenginleştirme testleri yapılmıştır. İlk olarak çeşitli analizler sonrası refrakter olduğu belirlenen altının siyanür liçine tepkisini ölçmek için şişe çevirme testleri (bottle-roll test) yapılmıştır. Daha sonra her cevher zonu için farklı koşullarda flotasyon testleri yapılmıştır. Flotasyon çalışmalarının odak noktası cevher yatağının büyük kısmını oluşturan sülfürlü zona ait numunelerde mümkün olan en yüksek altın veriminin elde edildiği koşulları belirlemek ve bu koşulların belirli oranlarda harmanlanan üç zon üzerinde etkisini gözlemlemektir. Aynı zamanda çalışmanın bir diğer amacı literatürde oldukça kısıtlı sayıda araştırma bulunan altın içeren oksitli minerallerin flotasyon deneylerini de gerçekleştirmektir. Bu çalışmaların yanı sıra oksitli zon

için Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında sallantılı masa ile yerçekimi zenginleştirme testi de yapılmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Altının Tarihçesi ve Özellikleri

Orta Çağ'da, o zamanların bilim insanları olarak anılan simyacıların en büyük amaçlarından biri, değeri az olan madenleri parlak altına çevirmektir. Çünkü bu parlak metal, o zamanki toplumlar için zenginlik ve gücün sembolüydü. Gerçekte dünya dışına ait olan altın, çoğu mineral gibi magmadan oluşmamıştır. Uzayda süpernova denilen yıldız patlamaları sonucu oluşmuş ve çeşitli olaylar sonucu Dünya'ya taşınmıştır. Süpernova sonrası oluşan nötronlar, demir grubu elementler tarafından yakalanarak normal şartlar altında bir yıldızın oluşturamayacağı daha ağır elementleri oluşturmuştur. İşte altın bu ağır elementlerden biridir [4]. Dünya'ya gelen altın, jeotermal aktiviteler ile bir maden damarında birikerek yüzyıllardır hem politik hem de ekonomik olaylarda başrolüdür.

Sembolünü Latince parıltı anlamına gelen 'aurum' kelimesinden alan altın; kolay işlenebilir olması, fiziksel/kimyasal olaylara karşı dirençli tavrı ve hem elektriği hem de ısıyı iyi bir şekilde iletebilmesi sebebi ile birçok sektörde kullanılmaktadır [5].

Periyodik cetvelde 1B grubunda yer alan altın bir geçiş metalidir. +1'den +3'e kadar birçok farklı yükseltgenme değerine sahiptir. Saf haldeki altının yoğunluğu 19,3 g/cm³ olup rengi parlak sarıdır. Yumuşaktır ve kolayca şekil verilebilmektedir. Asla kararmaz veya paslanmaz [5]. Bu özelliğinden dolayı eski zamanlarda bir yerden başka bir yere yapılan alışverişlerde para birimi olarak kullanılmıştır. Altın; oksijen, ozon, sülfür ve güçlü diğer asitlere tepki vermemektedir.

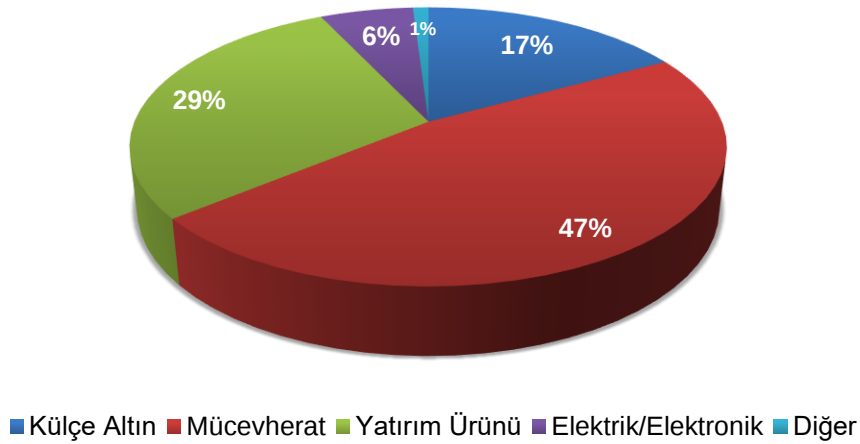
2.2. Altının Ekonomide Yeri ve Üretimi

Altın, keşfedilmesinden günümüze kadar insanların ilgisini çeken kıymetli bir maden olmuştur. Ekonomik bir simge olarak kullanılmadan önce süs eşyalarında ve sanat eserlerinde kullanılmasının yanı sıra eski krallıkların zenginlik ve güç simgesiydi. Daha sonra uzak medeniyetler arası gerçekleştirilen ticari alışverişlerde değişim aracı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Zamanla kâğıt

paraların sabit bir altın miktarına dönüşebileceği ekonomik sistemler kurularak ülkeler arası ticarete daha dengeli bir ekonomik sistem oluşturulmuştur. Ancak savaşların ve ülkelerin çıkarları doğrultusunda bu sistem değişse de altın günümüzde hala ülkelerin ekonomik zenginliklerinin bir göstergesi konumundadır.

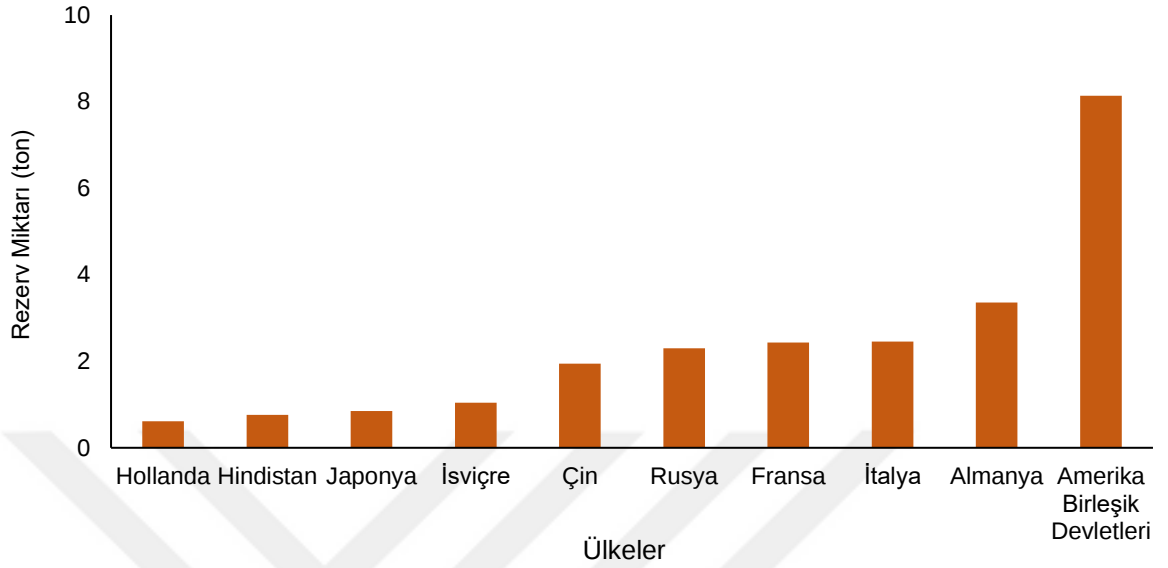
Altının uluslararası alanda ons ölçü birimleriyle ifade edilmektedir (1 troy ons=31,1 gram ve 1 ons=28,35 gram).

Yatırım aracı ve mücevherat olarak kullanılan altın, teknolojinin gelişmesiyle beraber iyi bir iletken olması ve dış koşullara karşı dayanıklılığı sayesinde farklı birçok alanda kullanım alanı bulmuştur. Örneğin, uzay ve havacılık, tıp, savunma sanayi ve elektronik sektörlerde altın kullanımı artmaktadır. Şekil 2.1’de altının kullanım alanlarına göre dağılımı verilmektedir.



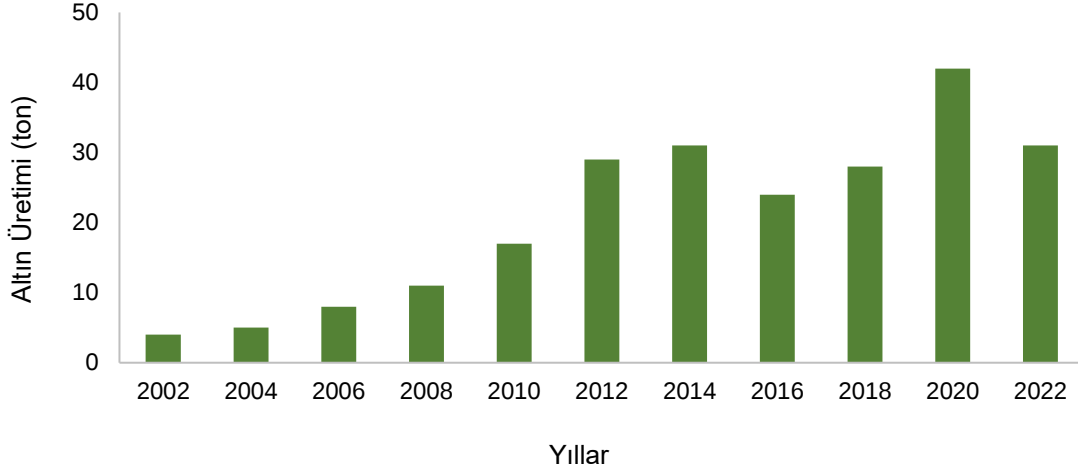
Şekil 2.1. Altının kullanım alanları [5]

USGS verilerinde yıllık çıkartılan altın miktarına (ton) göre en çok rezerve sahip olan ilk 3 ülke Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve İtalya olarak sıralanmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Üretim oranına göre en büyük altın rezervine sahip ilk 10 ülke

Cumhuriyet dönemine ait ilk resmi altın üretimi İzmir-Bergama'daki Ovacık Altın madeninde gerçekleşmiştir. Ülkemizde altın üretimi başlangıçta ortalama yılda 1,4 ton iken yeni açılan altın madenleri ve eski madenlerdeki gerçekleştirilen kapasite artışları 2022 yılında 31 ton üretim miktarına ulaşılmıştır [5]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2022 verilerine göre Türkiye'deki altın üretim miktarları (ton/yıl) Şekil 2.3'te verilmektedir [6].



Şekil 2.3. Türkiye'de yıllara göre altın üretimi

2.3. Altının Doğada Bulunma Şekilleri ve Altın Cevherleri

Altın elementinin, fiziksel ve kimyasal olaylardan etkilenmemesi sebebiyle diğer metallere kıyasla oluşturduğu bileşik sayısı oldukça azdır. Altın doğada nabit, alaşım, sülfürlü ve oksitli mineraller ile bağlı/kapanım (refrakter) halinde bulunmaktadır.

Nabit altın: İçerisinde değişen oranlarda gümüş bulunduran nabit altının parlaklığı, gümüş içeriği (%5-%15) arttıkça azalmaktadır. Nabit altının özgül ağırlığı, beraber bulunduğu diğer minerallerden daima yüksek olduğu için yerçekimi ile zenginleştirme yöntemlerine oldukça elverişlidir [7].

Elektrum: Gümüş oranı %25-%55 arasında değişen Au-Ag alaşımlarına elektrik denmektedir [7]. Elektrumlar, geçmişte bozuk paralarda, takı ve süs eşyalarında sıklıkla kullanılmaktaydı.

Altın Tellür: Bu grup silvanit, kolaverit, krennerit gibi altın içeren tellür minerallerini kapsamaktadır. Genellikle nabit altın veya sülfür mineralleri ile bulunmaktadır [1].

Sülfürlü ve Oksitli Mineraller: Altın diğer mineraller ile bağlı veya kapanım halinde bulunabilmektedir. Bağlı ya da fiziksel kapanım halindeki altın tanelerine, uygun serbestleşme derecesine göre öğütme işlemi ile ulaşmak mümkündür. Ancak submikroskobik (katı solüsyon ve kolloidal) düzeydeki kapanım halindeki altına

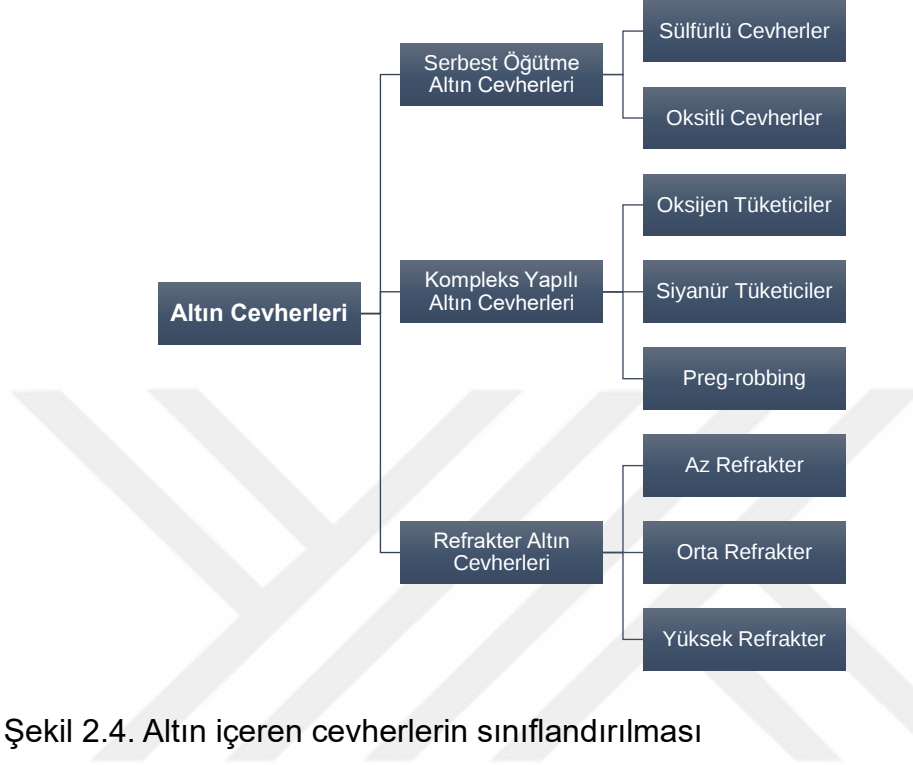
ulaşmak için bazı ön işlemler gerekmektedir.

Mineral şekilleri kübik kristal yapıdadır ve geçiş metali olduğu için bileşiklerinde +1 veya +3 değerliklerini alabilmektedir. Çizelge 2.1’de bazı altın mineralleri verilmektedir [5].

Çizelge 2.1. Altın mineralleri

Mineral Adı	Formül	İçerik
Elektrum	(Au, Ag)	> %20 Ag
Porpezit	(Au, Pd)	% 5-10 Pd
Goldamalgam	(Au, Ag) Hg	
Weishanit	(Au, Ag) ₂ Hg ₃	
Rhodite	(Au, Rh)	% 34-43 Rh
Maldonit	Au ₂ Bi	% 65,5-65,1 Au
Aurostibit	AuSb ₂	% 43,5-50,9 Au
Aurikuprit	Cu ₃ Au	
Kalaverit	(Au, Ag)Te	% 39,2-42,8 Au
Krennerite	(Au, Ag)Te ₂	% 30,7-43,9 Au
Silvanit	(Au, Ag) ₂ Te ₄	% 24,25-29,9 Au
Kostovit	CuAuTe ₃	% 25,2 Au
Montbrayit	(AuSb) ₂ Te ₃	% 38,6-44,3 Au
Auroantimonat	AuSbO ₃	% 12,3 Au

Genel olarak altın içeren cevherler; serbest öğütme cevherleri, kompleks ve refrakter olmak üzere 3 ana başlık altında incelenmektedir [3]. Şekil 2.4'te bu başlıklar ayrıntılı bir şekilde verilmektedir.



Şekil 2.4. Altın içeren cevherlerin sınıflandırılması

Serbest öğütme cevherleri, altının %90'dan fazlasının geleneksel siyanür liç yöntemi ile verimli bir şekilde zenginleştirilebilen cevherlerdir [8]. Bu tarz cevherlerde altın taneleri ya kolay serbestleşmekte ya da direkt olarak serbest halde bulunmaktadır. Bu yüzden kapsamlı bir ön hazırlık süreci gerektirmez. Altın tanelerinin siyanürle temas edebileceği tane boyuna inmek yeterlidir. Ayrıca bu tip altın cevherleri, aşırı öğütmeye gerek duymadan yerçekimi gibi fiziksel yöntemler ile zenginleştirilebilmektedir. Yerçekimi ile zenginleştirme yönteminde minerallerin serbestleşme derecesine bağlı olarak Falcon (özellikle altın için) ve Knelson konsantratörleri (ince malzeme) veya sallantılı masa (iri malzeme) gibi ekipmanlar kullanılmaktadır [3].

Zamanla yüksek tenörlü yatakların sayısı azalırken altına olan talebin yükselmesi ile beraber düşük tenörlü yatakların kullanımı artmıştır. Düşük tenörlü serbest öğütme altın cevherleri için en çok tercih edilen yöntem yığın liçidir. Bu yöntem düşük işletme maliyetlerine sahiptir. Ancak altın verimi genellikle %80'nin altında kalmaktadır [9]. Aynı zamanda yığın liçinde kullanılan siyanür oldukça hassasiyet isteyen bir konudur. Yığının serildiği alanın özel koruyucular ile desteklenmesi ve oldukça toksik olan hidrojen siyanür (HCN) gazının çıkmasını önlemek amacıyla pH kontrolünün dikkatle bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Kompleks altın cevherleri, siyanür tüketiciler, oksijen tüketiciler ve altın adsorplayıcılar (preg-robbing) olmak üzere 3 farklı grupta sınıflandırılmaktadır. Siyanür tüketici altın cevherleri grubunda bazı sülfürlü veya oksitli yan mineraller, ortamdaki reaktiflerle tepkimeye girerek siyanür tüketimine sebep olmaktadır. Bu durum reaktif maliyetini artırırken liç kinetiğini ve altın verimini düşürmektedir. Örneğin cevher içerisinde bakır minerallerinin (kalkozin, kuprit) bulunması bu durumlara sebebiyet vermektedir. Oksijen tüketici altın cevherleri grubunda ise demir içeren sülfürlü (arsenopirit, stibnit) minerallerin varlığı siyanür liç işleminin gerçekleşebilmesi için gerekli bir parametre olan oksijenin aşırı tüketimine sebep olmaktadır [1]. Altın adsorplayıcı altın cevherleri (preg-robbing) doğal olarak karbonlu bileşenleri içeren mineralleri kapsamaktadır. Karbon içeren mineraller, ince boyuttaki altın tanelerini tıpkı aktif karbon gibi yüzeylerine adsorbe ederek altın kaybına neden olmaktadır. Bu durumun önüne geçmek amacıyla karbonlu bileşenler kavurma yöntemi ile pasif hale getirebilmektedir [3].

Refrakter altın, standart siyanür çözeltisine verilen tepkinin yetersiz kaldığı (<%80) cevherlerdir. La Brooy'a [10] göre altının refrakterliği Çizelge 2.2'de de görüldüğü üzere 4 farklı şekilde sınıflandırılmaktadır:

Çizelge 2.2. Altın verimine göre refrakterlik durumu

Altın Verim (%)	Refrakterlik Derecesi
<50	Yüksek refrakter
50-80	Orta refrakter
80-90	Hafif refrakter
>90	Refrakter değil

Refrakterliğin birçok sebebi olabilmektedir. Aşağıda bu nedenler sıralanmaktadır:

- Siyanür liçinde çözünmenin gerçekleşebilmesi için gerekli oksijeni tüketen iyonların varlığı [11],
- Siyanür çözeltisinde zor çözünerek düşük altın verimine neden olan bileşiklerin varlığı [12],
- Altının başka minerallerin yapısında submikrokobik (katı solüsyon veya kolloidal) kapanımlar halinde bulunması ve siyanürlü solüsyonun altına ulaşamaması [10,11,13,14].
- Siyanisitleri oluşturan bazı sülfürlü minerallerin bulunması ve siyanür tüketimine neden olmaları [11].
- Doğal olarak karbon içeren minerallerin bulunması ve bu karbonları ince boyuttaki altın tanelerini yüzeylerine adsorplayarak altın kaybına neden olmaları [15].

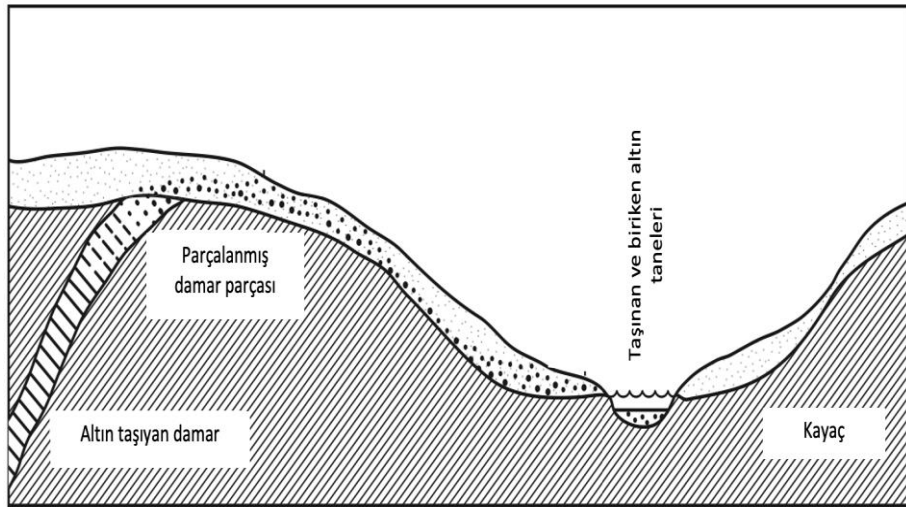
Literatürdeki bu tanımlara göre bu koşullardan bir veya birden fazlası bir cevherde bulunuyorsa refrakterlik söz konusudur. İnce altın tanelerinin sülfürlü veya oksitli diğer minerallerin kristal yapısında kapanım halinde bulunduğu durumlarda yapılan ilk çözüm “ince öğütme” işlemidir. Ancak ince öğütme ile altının fiziksel olarak kapanım halinde olması şartıyla yüksek verim elde edilmektedir. Eğer altın taneleri submikroskobik şekillerde kapanım halindeyse ince öğütme ile refrakterlik bozulamamaktadır. Bu tarz altın cevherleri için bazı ön işlemler gerekmektedir [9]. Bu ön işlemler fiziksel, kimyasal, biyolojik ve termal olarak dört grup altında sınıflandırılmaktadır [3,10].

2.4. Altın Yatakları

Altın yatakları sınıflandırılırken altının oluştuğu sıcaklığı, birliktelik kurduğu diğer elementler, içinde bulunduğu yan kayaçlar ve oluşum mineralojisi dikkate alınmaktadır. Altın yatakları “birincil ve ikincil” olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır [1]. Birincil altın yatakları kendi içerisinde jeodinamik koşullar dikkate alınarak aşağıdaki gibi gruplandırılmaktadır:

- Epitermal altın yatakları
- Orojenik altın yatakları
- Sedimenter yan kayaçlı (Carlin tipi) altın yatakları
- Volkanojenik masif sülfid altın yatakları
- Anorojenik demir oksit (FeOx)-bakır-altın yatakları (Olympic dam tipi)
- Porfiri bakır-altın ve skarn tipi altın yatakları [5].

İkincil yataklar ise uzun yıllar boyunca fiziksel koşullar nedeniyle (rüzgâr, su) birincil yatakların taşınıp birikmesiyle oluşmaktadır (Şekil 2.5). Plaser olarak da bilinen bu grup yataklara örnek olarak Dünya’da büyük altın rezervlerin bulunduğu Güney Afrika’daki Witwatersrand madeni verilebilir. Plaser yataklarda bulunan altın miktarı, cevherlerin oluştuğu ilgili birincil yatağa kıyasla genellikle düşüktür. Ancak plaser yataklardan altın çıkarmanın diğer yataklara kıyasla daha kolay ve düşük maliyetli olması bu tip yatakların ticari bir öneme sahip olmasına neden olmaktadır. Günümüzde plaser yatakların sayısı oldukça azdır [1].



Şekil 2.5. Plaser altın yatağı [1]

3. ALTIN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Bir altın cevherinin zenginleştirme yöntemi seçilirken cevherin mineralojik ve metalürjik yapısı, bulunduğu yerin jeolojik özellikleri ve çevresel/sosyal faktörler göz önüne alınmalıdır. Seçilecek yöntemin cevhere uygun olup olmadığını anlamak için ilk olarak sahip olunan mineralojik yapının tüm detaylar ile ortaya konulması ve özellikle serbestleşme durumunun incelenmesi gerekmektedir. Daha sonra seçilen yöntemin cevher yatağına uygulanabilir olup olmadığı araştırılmalıdır.

Altın cevherlerinin zenginleştirme yöntemleri, altının bulunma durumu, diğer mineraller ile yapmış olduğu birliktelik ve serbestleşme derecesine göre 3 farklı grup altında incelenmektedir. Bu gruplar aşağıdaki gibidir:

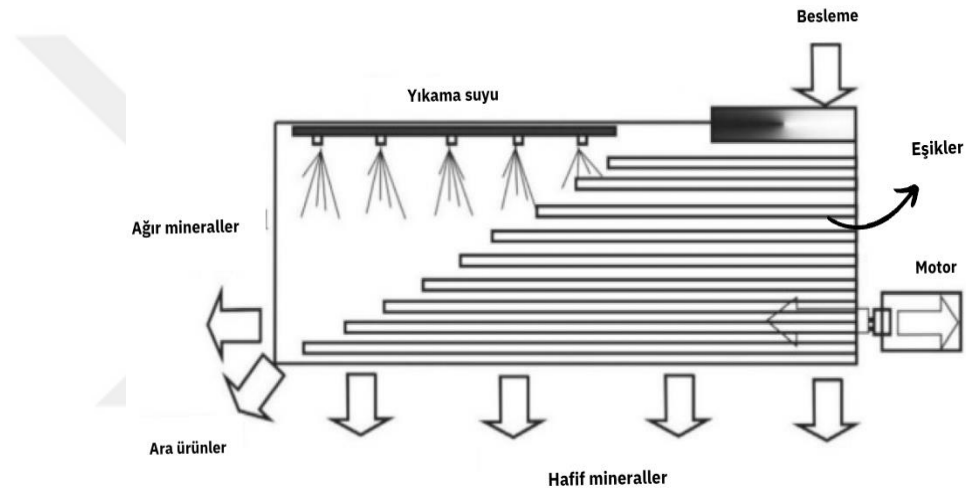
- Yerçekimi (gravite) yöntemi
- Flotasyon yöntemi
- Siyanür ile liç yöntemi

3.1.Yerçekimi (gravite) Yöntemi

Çok eski zamanlarda özellikle dere kenarlarında iri ve serbest halde bulunan altın taneleri, basit bir tavada yıkanarak elde edilmekteydi. Bu şekilde özgül ağırlığı $19,3 \text{ g/cm}^3$ olan altının beraber bulunduğu taşlardan ayırmak oldukça kolaydı. Literatürde “panning” olarak geçen bu yöntemde malzeme ve su basit bir tavada karıştırılmakta ve aşamalı bir şekilde döndürülmektedir. Her bir aşama sonrası altından hafif olan diğer malzemeler tavadan uzaklaştırılarak tavanın dibinde kalan ağır altın taneleri kolayca elde edilmektedir. Altının sahip olduğu yüksek özgül ağırlığından yararlanılan gravite yöntemlerinin doğuşu bu şekilde olmuştur. Özellikle iri boyuttaki serbest altın taneleri ya ön zenginleştirme ürünü ya da nihai konsantre olarak gravite yöntemleri ile zenginleştirilmektedir. Gravite, liç ve flotasyon yöntemlerine kıyasla daha düşük işletme ve yatırım maliyetlerine sahiptir. Ancak bu yöntemin popülaritesi, günümüzde iri boyutta serbestleşebilen ve yüksek tenörlü cevher yataklarının tükenmesinden dolayı azalmaktadır.

Altın tanelerinin gravite ile zenginleştirilmesini etkileyen mineralojik parametreler; tane boyu, serbestleşme derecesi, altın ile bulunduğu diğer minerallerin yoğunluk farkı ve tanelerin şekilleridir. En yaygın kullanılan gravite yöntemleri; jig, sallantılı masa, Knelson ve Falcon konsantratörleri ve spiral ayırıcılardır [14].

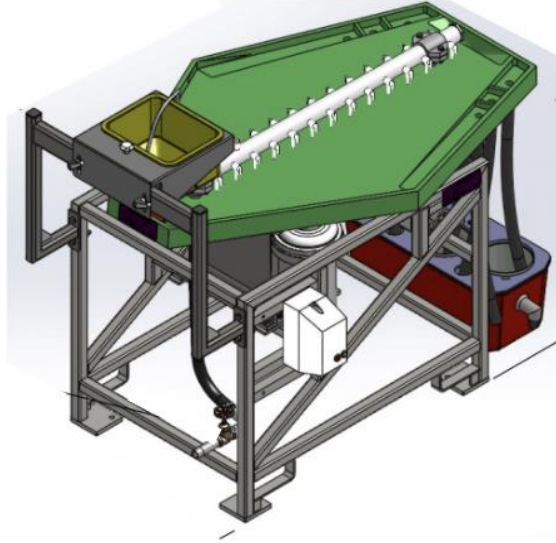
Sallantılı masa testleri, paralel kenar şeklinde üzerinde eşikler olan eğimli bir masanın üzerinde (Şekil 3.1) gerekli titreşim frekansının yaratılması ile gerçekleştirilmektedir. Masa üzerinden yapılan su beslemesi ve titreşim hareketi ile iri taneler masanın beslemeye uzak köşesinden alınırken hafif mineraller yakın yüzeyden alınmaktadır.



Şekil 3.1. Sallantılı masa [16]

Sallantılı masa ile zenginleştirme işlemi; frekans, su debisi, besleme tane boyu, serbestleşme derecesi, eşik yüksekliği, masa eğimi gibi birçok parametreye bağlıdır. Örneğin; iri tane boyutunda besleme yapılırken yüksek eşikli masalarda düşük frekansta ayırım gerçekleştirilmelidir [17].

Altın cevherlerini zenginleştirmek için özel olarak tasarlanan ‘Gemini’ masaların çalışma prensibi diğer sallantılı masalar ile aynıyken masa tipi olarak bazı farklılıklara sahiptir. Uzun beşgen tipinde olan Gemini masalarda (Şekil 3.2), su beslemesi ekipman ortasından yapılmakta ve iri taneler masanın ortasında bulunan kanallardan toplanmaktadır [17].



Şekil 3.2. Gemini masa

3.2. Flotasyon Yöntemi

Minerallerin farklı fizikokimyasal özelliklerinden yararlanılarak yapılan flotasyon işleminde altın eldesi genellikle ya serbest altın ya da altın içeren diğer minerallerin (sülfürlü, baz metal ve platin grubu cevherler) flotasyonunu kapsamaktadır. Diğer minerallerin kafes yapısında bulunan altın, bulunduğu mineraller ile konsantreye alınmaktadır. Bu tarz bir flotasyonda uygulanacak yöntem, altının mineralleşme durumuna ve tenörüne göre seçilmektedir [18]. Bu tarz flotasyonlarda direkt olarak serbest altına etki eden koşullar nedeniyle konsantrede serbest altın taneleri de bulunabilmektedir.

Flotasyon işleminde, hedef mineral yüzeyleri toplayıcı (collector) adı verilen reaktifler yardımıyla suyu sevmeyen (hidrofobik) hale getirilmektedir. Aynı zamanda flotasyon hücrelerine verilen hava ve köpürtücü reaktifi sayesinde ortamda kararlı hava kabarcıkları oluşturulmaktadır. Hidrofobik hale gelen mineraller bu hava kabarcıklarına tutunup hücre içerisinde yukarı doğru taşınarak sistemden uzaklaşmaktadır. Oldukça kompleks bir ortamda gerçekleşen ve birçok parametreye bağlı olan bu yöntem, altın içeren cevherlerde ön zenginleştirme aracı olarak da kullanılabilir. Özellikle refrakter altın yataklarında veya siyanürün olumsuz etkisinden dolayı kullanılamayacak bölgelerde flotasyon sıklıkla tercih edilmektedir. Flotasyon konsantresi bir ön zenginleştirme ürünü olarak sonrasında kavurma, bakteri liçi veya basınçlı

oksidasyon gibi başka bir ön işleme tabii tutularak siyanür liçine uygun hale getirilmektedir. Tüm cevherden ziyade sadece flotasyon konsantre ürünlerine bu pahalı ön işlemlerin uygulanması işletme maliyetlerine olumlu olarak yansımaktadır [19]. Ayrıca siyanür liçinden önce flotasyon yapılması siyanür tüketimine sebep olabilecek diğer minerallerin sistemden uzaklaştırılmasını sağlayarak hem kapasitede rahatlatma sağlayacak hem de reaktif tüketimini azaltmaya yardımcı olacaktır [20].

Bazı durumlarda ise refrakter altın cevherleri, diğer yöntemler ile zenginleştirilemediği, refrakterliğin ortadan kaldırılmasının oldukça maliyetli olduğu veya siyanürün kullanımının kısıtlı/zor olduğu durumlarda flotasyon tek tercih olmaktadır.

Altının sülfürlü mineral flotasyonu ile konsantreye alındığı durumlarda toplam verim serbest altın ve refrakter altın üzerinden hesaplanmaktadır. Flotasyon dinamiğinden farklı etkilenen bu iki tür için işlem sırasında oldukça dikkat edilmelidir.

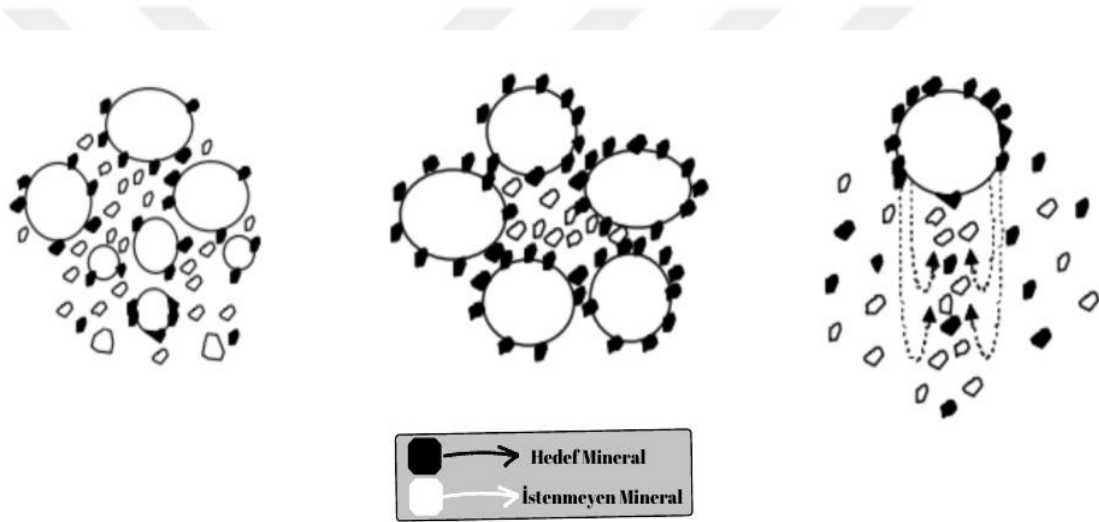
Altın minerallerinin veya altın taşıyan diğer minerallerin yüzebilirliği aşağıdaki parametrelere bağlıdır:

- Serbest altın tane boyu ve şekli
- Nabıt altının gümüş içeriği
- Altın içeren mineral bileşimi
- Kullanılan reaktiflerin cinsi ve dozajı
- Hava kabarcıklarının yüklenme kapasitesi
- Palpın Eh ve pH durumu [14].

Flotasyonda minerallerin köpük zonuna taşınması iki şekilde gerçekleşmektedir;

- Hava kabarcığına tutunarak (true flotation)
- Suyun hareketi ile sürüklenerek (entrainment)

Hem hidrofobik hem de suyu sevmeyen (hidrofilik) ince boyuttaki mineraller için sürüklenme kaçınılmazdır ve konsantre tenörünü etkileyen önemli bir faktördür. Özellikle yüksek tenör istenen temizleme aşamasında köpük zonunu kalınlaştırmak, köpük zonu çıkışına yıkama suyu konileri eklemek gibi çözümler sayesinde sürüklenme ile gelen istenmeyen mineraller köpük zonundan uzaklaştırılmaktadır. Şekil 3.3.'te farklı sürüklenme yolları ile köpük zonuna hareket eden mineral taneleri görülmektedir.



Şekil 3.3. Suyun hareketi ile sürüklenme çeşitleri

Altın flotasyonunda uygulanacak yöntem, altının bulunma şekline göre belirlenmektedir. Örneğin nabit ve elektrik formundaki altının yüzebilirliği en çok tane şekline bağlıdır. Tanelerin plaka şeklinde olması hava kabarcıklarına tutunmalarını zorlaştırmaktadır [21, 22]. Altın tellürler, sadece köpürtücü yardımıyla pH 7-9 arasında kolayca yüzebilmektedir [23, 24, 25]. Submikroskopik olarak sülfürlü minerallerin yapısında bulunan altınlar ise beraber bulunduğu minerallere göre yüzdürülmektedir. Pirit mineralinin yüzebilirliği diksantojen form ile sağlanmaktadır. Diksantojen yapı pirit yüzeyinin hidrofobikliğini arttırmaktadır [26]. Bu tarz altın cevherlerinin flotasyonu Batı Avustralya'daki bazı madenlerde

(Paddington, Harbour Lights, Three Mile Hill) pH 7.0–7.2'de gerçekleştirilmektedir [27].

Serbest altın doğal pH'larda az miktar toplayıcı ile yüzdürülebilmektedir [28]. Serbest altının yüzdürülmesi de diksantojen form ile sağlanmaktadır [29]. Bazı çalışmalar altının yüzmeye başladığı potansiyel değerlerinin diksantojen oluşum potansiyeline yakın olduğu göstermiştir [30]. Tiyol toplayıcıların zincir uzunlukları arttıkça köpük ile mineralin temas açısı da artmaktadır. Böylece mineral yüzeyinin hidrofobikliği de artmaktadır. Bu yüzden serbest altının yüzdürülmesi için uzun zincirli ksantatlar tercih edilmektedir [26,28]. Aynı zamanda uzun zincirli toplayıcılar düşük potansiyellerde diksantojen oluşturmaktadır [31].

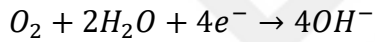
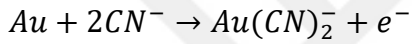
Sülfürlü minerallerin flotasyonunda çoğunlukla tiyol tipi toplayıcılar tercih edilmektedir [32]. Çoğu flotasyon tesisinde tek tip toplayıcı kullanılmamaktadır. Onun yerine toplayıcıların sinerjik etkisinden yararlanılmaktadır [26,28]. Bu sayede tenör ve verim de daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Örneğin, aynı fonksiyonel gruba ait farklı ksantatların veya farklı fonksiyonel gruba ait diğer toplayıcıların (ditiyofosfatlar, ditiokarbamatlar) karışımları ile sinerjik etki yaratılarak tenörde ve verimde iyileşme sağlanmaktadır [32]. Ditiyofosfatlar flotasyon verimini arttırmak için ksantatlar ile beraber ikincil kollektör olarak kullanılmaktadır [28,33,34]. Ditiyofosfatlar, sülfürlü mineraller için oldukça seçimli bir flotasyon sağlamaktadır [26,35].

Merkaptobenzotiyazol tipi toplayıcılar altın ve altın taşıyan minerallerin flotasyonunda oldukça önemli tiyol tipi toplayıcılardır [36]. Asitli ortamlarda altın ve altın taşıyan piritin yüzdürülmesi için tercih edilmektedir [27]. Bu tip toplayıcılar ince kristal yapıya sahiptir bu yüzden su içerisinde çözünmezler. Ancak alkali çözeltiler ile kolaylıkla çözünebilmektedir [37].

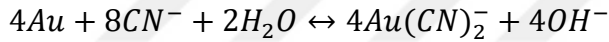
3.3. Siyanür ile Liç Yöntemi

Liç işlemi minerallerin çözünürlük farklarından yararlanılarak yapılmaktadır. Bu işlemde, uygun bir kimyasal ile hazırlanan çözücü solüsyonunda altın seçimli olarak çözündürülmektedir. Daha sonra altın, bu doygun çözeltilen çinko ile çöktürme veya aktif karbon ile adsorplama gibi yöntemlerle geri kazanılmaktadır.

Siyanür liçi ile altın kazanımının tarihçesi 1800'lerde başlayan çalışmalara dayanmaktadır. Sadece sınırlı sayıda çözücü madde, altın çözündürmede kullanılabilecek yeterlilikte kararlılığa sahip kompleksleri oluşturmaktadır. Siyanür hem düşük maliyetli hem de altın/gümüşe karşı oldukça seçimlidir. John Stewart MacArthur, 1887 yılında ilk kez siyanürü altın cevherlerinde uygulamıştır [20]. İlk uygulamadan yıllar sonra siyanür çözeltisinde altının çözünmesinin elektrokimyasal olarak gerçekleştiği keşfedilmiştir [38]. Bu durum, çözelti içerisinde katot/anot bölgelerinin oluştuğunu göstermektedir. Bu redoks dengesinin sağlanabilmesi için katot görevi görececek bir elemana ihtiyaç vardır. Sisteme verilen oksijen, bu görevi üstlenerek altın yüzeyindeki elektronları toplamaktadır. Altın liçi sırasında gerçekleşen katodik/anodik yarı-tepkimeler aşağıdaki eşitliklerde verilmektedir [39].



Klasik Elsner tepkimesi ise aşağıdaki eşitlikte verilmektedir:



Liç yöntemleri; cevher yatağının bulunduğu konum ve tenör bilgisi, altının mineralojik yapısı, beraber bulunduğu diğer mineraller, serbestleşme derecesi gibi faktörlere bağlı olarak seçilmektedir. Liç yöntemleri; yığın liçi, yoğun (şiddetli) liç, süzme (vat) liç, yerinde liçleme ve karıştırmalı tank liçi olmak üzere gruplandırılmaktadır [1]. Refrakter altının, geleneksel liç yöntemi ile zenginleştirilebilmesi için ilk olarak kapalı altın tanelerinin kafes yapısından kurtarılması gerekmektedir. Bu sayede altın taneleri siyanür ile temas ederek çözünme işlemi gerçekleşmektedir. Refrakterliğin giderilmesi için uygulanan ön işlemler termal, biyolojik, fiziksel, kimyasal ve basınçlı oksidasyon olmak üzere beş ana gruba ayrılmaktadır [10].

Termal ön işlemler kavurma ve piroliz olmak üzere iki farklı yöntem ile gerçekleştirilmektedir. Kavurma yönteminin en büyük sorunu işlem sonrası oluşan kükürt dioksit (SO₂) gazının oluşmasıdır. Bu atık gazın doğru koşullarda toplanıp uzaklaştırılması oldukça pahalıdır. Kavurma işleminde sülfürlü

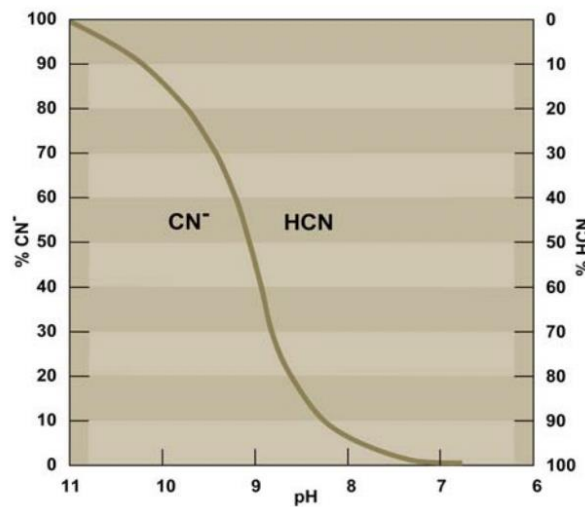
mineraller, oksitli minerallere dönüştürülmektedir. Kavurmaya göre daha maliyetli olan piroliz yönteminde ise, yüksek sıcaklıklarda sülfürlü mineraller reaksiyon ürünlerine dönüştürülmektedir [3,40].

Biyolojik ön işlemlerde (biyooksidasyon) ferro oksidant bakteriler kullanılarak sülfür mineralleri oksitlenmektedir. Bu yöntem büyük rezervlere sahip düşük tenörlü refrakter altın cevherlerine uygulanmakla birlikte uzun etkileşim süresi ve canlı organizmaları canlı tutmak gibi bazı zorluklara sahiptir [41].

Fiziksel ön işlemlerde, cevher aşırı ince öğütülerek serbestleşmesi sağlanmaktadır. Ancak gerekli serbestleşme için tane boyu küçüldükçe enerji tüketiminin artarak tesislerdeki maliyeti olumsuz yönde etkileyeceği unutulmamalıdır.

Kimyasal ön işlemlerde yapılan temel işlem, asidik ortamlarda sülfürlü kristal yapının bozularak altının ortaya çıkarılmasıdır [3].

Çoğu liç tesisi pH 10 ile 11 arasında çalışmaktadır. Bunun sebebi oldukça zehirli ve patlayıcı olan HCN gazı oluşumunu engellemektir. Bu molekülün oluşmasındaki en önemli parametre pH'tır. pH değerinin 8 ve 8'den düşük olduğu durumlarda ortamdaki H^+ iyonunun miktarı artmaktadır (Şekil 3.4). Bu durum oluşacak HCN miktarını da artırmaktadır. Bu yüzden siyanür ile çalışılan tesislerde pH değerlerinin sürekli ölçülmesi ve 10,5'ten yüksekte tutulması gerekmektedir [42].



Şekil 3.4. Siyanür ve pH ilişkisi [42]

3.4. Refrakter Altın Cevherleri İçin Uygulama Örnekleri

Batı Afrika, Gana'daki bir altın madeninde bulunan sülfürlü refrakter altın cevherinin farklı pH ve bakır sülfat (CuSO_4) dozajlarında, sodyum izobütil ksantat (SIPX) toplayıcısı kullanılarak yapılan flotasyon testlerinde altın verimleri incelenmiştir. Cevherin, ana mineralinin kuvars (%56) temel sülfür minerallerinin ise pirit ve arsenopirit olduğu ve altının (Au) bu mineraller matrisleri içerisinde bulunduğu belirlenmiştir. İlk olarak farklı pH'larda (5–5.5, 8–8.5 ve 10–10.5) bakır aktivasyonu olmaksızın altın cevheri için toplayıcı (200 g/t SIPX) adsorpsiyon durumu incelenmiştir. Test sonuçlarına göre asidik ortamda, flotasyon kinetiğinin daha hızlı olduğu gözlenmiştir. Alkali ortamda gözlenen düşük adsorpsiyonun, pirit ve arsenopirit yüzeyine toplayıcı adsorplanmasının gerçekleşmesi için gerekli diksantojen oluşumunun kararsız yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek pH'da, adsorpsiyon azalmaktadır. Bunun nedeni alkali ortamda OH^- ile SIPX rekabet etmesidir. Oksidasyon ürünleri (arsenik oksitler ve ferrik hidroksit) doğası gereği hidrofildir ve cevherde bulunan sülfürlü mineraller ile toplayıcı etkileşimi için bir bariyer görevi görmektedir [43,44].

Daha sonra bakır aktivasyonun, pH ve SIPX adsorpsiyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yine aynı pH'larda bakır aktivasyonundan sonra sülfürlü refrakter altın cevheri için kinetik çalışmalar yapılmıştır. Maksimum adsorplanmanın 8–8.5 pH aralığında gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır. Au veriminin ise 8–8.5, 10–10.5 ve 5–5.5 pH aralığında sırasıyla %91, %85 ve %43 olarak kaydedilmiştir. Bilindiği üzere flotasyon verimi, adsorpsiyon durumu ile ilgilidir. Asidik ortamda arsenopirit ve pirit için gözlenen düşük verimler, pulp içerisinde bakır iyonlarının ksantat iyonlarıyla beraber çökmesi ile ilgili olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma sonucunda, sülfürlü refrakter altın cevherinin asidik veya bazik ortamlara göre doğal pH'ta (8-8.5) daha iyi yüzdüğü ve bakır aktivasyon sonrası en iyi sonuçların doğal pH'ta (8-8.5) meydana geldiği saptanmıştır [45].

Teague vd. [21] yaptığı bir çalışmada ise hem serbest altın hem de refrakter altın içeren Stawell Central cevherine ait flotasyon veriminin kimyasal ve fiziksel bazı parametrelerden nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Bu parametreler, CuSO_4 ekleme sırası, ön havalandırma durumu (oksijen ve azot), galvanik etkileşimler, toplayıcıların sinerjik etkisi ve palp sıcaklığıdır. Çalışma sırasında Au veriminin yanı sıra yapısında altın bulunduran sülfürlü minerallerin (refrakter pirit ve pirotit) verimleri de incelenmiştir. Çünkü refrakter altının flotasyon ile geri kazanım verimi beraber bulunduğu sülfürlü bileşenlerin verimleri ile ilişkili olduğu literatür tarafından kabul edilmektedir [46].

Çalışma sonrası birlikte bulunan refrakter ve serbest altının flotasyon davranımlarının farklı olduğu ifade edilmiştir. Ancak, serbest altının daha çok tane boyutu, şekli, köpük stabilitesi gibi koşullardan etkilendiği belirtilmiştir. Hatta refrakter ve serbest altının gerçek flotasyonla kazanımları arasında da ters bir orantı olduğu iddia edilmiştir. Serbest altının daha çok su ile taşınma mekanizmasıyla (entrainment) kazanıldığı belirtilmiştir.

Bakır sülfatın potasyum amil ksantattan (KAX) önce eklendiği durumdaki pirit verimi (%90,7) sonra eklendiği durumdaki pirit verimine (%69) göre daha yüksek değere sahiptir. Ancak Au verimleri bu durumun tam tersi bir eğilim göstermiştir. CuSO_4 aktivasyonundan önce KAX eklendiği durumda Au verimi %81,3 iken; CuSO_4 aktivasyonundan sonra KAX eklendiği durumda Au verimi %74,5 olmaktadır. Bunun sebebi olarak CuSO_4 aktivasyonu ile oluşan güçlü hidrofobik Cu-X bileşikleriyle sülfürlü minerallerin hava kabarcıklarına fazla miktarda tutunarak serbest altının tutunma şansının azalması ve sürüklenme ile kazanımın düşmesi gösterilebilir. Bu durum toplayıcıların flotasyon verimi üzerine etkisinde çözünürlük ve dayanıklılık konusunun oldukça önemli olduğunu göstermektedir [47].

Ön havalandırmanın etkisi incelendiğinde ise, oksijen ile yapılan ön havalandırmanın, ön havalandırma yapılmamış duruma göre pirit verimini artırırken altın verimini düşürdüğü; azot ile yapılan ön havalandırma da ise pirit verimini artırırken altın verimini değıştirmediği gözlenmiştir.

Toplayıcıların sinerjik etkisi incelenmesi amacıyla KAX ve tritiyokarbonat tipi toplayıcı (GX) kullanılarak dört ayrı test yapılmıştır. Önce KAX ve GX ayrı ayrı 50 g/t olarak daha sonra ise 25-25 g/t olacak şekilde beraber kullanılarak gözlem yapılmıştır. Testler sonunda en iyi pirit veriminin önce GX sonra KAX kullanılan durumda elde edildiği görölmüştür (%69,4).

Galvanik etkileşimin etkisini görmek için seramik değirmende öğütme sırasında değirmene farklı miktarlarda demir tozu eklenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde demir tozu eklemenin pirotit, pirit ve serbest altının verimleri üzerinde olumlu etki yarattığı görölmüştür. Bu durum, yüksek miktarda metalik demir tozu eklemesiyle köpük stabilitesindeki artışa ve muhtemelen daha büyük hava kabarcıklarının oluşumuna ve dolayısıyla Au veriminin artmasına bağlanmıştır.

Son olarak palp sıcaklığının (15°C, 25°C ve 35°C) flotasyon verimine etkisi incelendiğinde ise, palp sıcaklığı arttıkça pirit verimi artarken serbest altın verimi azalmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda palp viskozitesi düşer böylece sülfürlü minerallerin kabarcık yüzeyine tutunmaları artar. Aynı zamanda düşük viskozite suyun köpük zonundan palp zonuna hareket etmesini sağlayarak sürüklenme ile gelen istenmeyen minerallerin tekrar palp zonuna götürür. Böylece daha temiz bir konsantre elde edilir. Sonuç olarak palp sıcaklığının değışmesi serbest ve refrakter altın verimini farklı etkilemektedir [21].

4. REFRAKTER ALTININ MİNERALOJİK KARAKTERİZASYON YÖNTEMLERİ

Mineraloji; minerallerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini, kristal yapısını, oluşum şekillerini ve serbestleşme durumlarını inceleyen bir bilim dalıdır. Proses mineralojisi ise, yeni bir tesis tasarımı veya halihazırda işleyen tesislerin performanslarının ölçülerek gerekli optimizasyonların yapılmasında mineralojinin etkisinin detaylı bir şekilde incelenmesidir [48].

Mineralojik bir oluşumun keşfinden nihai konsantre üretimine kadar tüm madencilik aşamalarında meydana gelen sorunlara üretilecek çözümler veya yapılacak tüm iyileştirmeler ancak mineralojik bir karakterizasyon ile gerçekleştirilebilir.

Cevher hazırlama süreçlerinde performans değerlendirmesi, çoğunlukla kimyasal analiz verileri ile yapılmaktadır. Ancak bu veriler süreçlerin devamlılığında yeterli olmayacaktır. Çünkü bir cevher yatağındaki mineralojik oluşumlar kompleks yapıdadır; birbirinden farklı özellikler taşımaktadırlar. Bu durum tesislerin verim-tenör değerlerinde sapmalara neden olmakla beraber bazı kapasite sorunlarına da yol açmaktadır. Bu yüzden bir tesisten elde edilen verim değerlerinin kalitesi ve güvenilirliği ancak kimyasal analiz verilerine ek olarak mineralojik analiz verilerinden sağlanabilir.

Bir cevher yatağını oluşturan hem değerli hem de değersiz (gang) mineralleri karakterize etmek; madencilik üretim yöntemi, tesis tasarımı ve performans iyileştirmeleri konularında oldukça önemlidir. Cevher yatağındaki mineralojik oluşumlarına, minerallerin tane büyüklüklerine ve serbestleşmelerine bağlı olarak uygun akım şeması çizilmektedir [49]. Ayrıca işleyen bir tesiste değerli mineralin/metalin ürünlere dağılımının, atıkta değerli mineral kaçaklarının veya konsantrelerde görülen gang mineralleri ile yaşanan kirliliğin belirlenmesi ile gerekli optimizasyon çalışmaları yapılmaktadır [50].

Minerallerin serbestleşme derecelerinin belirlenmesi, uygulanacak zenginleştirme yönteminin seçilmesinde büyük rol oynamaktadır. Aynı zamanda minerallerin oluşum şekillerinin, dokusal özelliklerinin, içerdiği penaltı (çevre

üzerinde zararlı etkisi olduğu bilinen metaller) veya bonus (kâr sağlayan metaller) elementlerinin belirlenmesi zenginleştirme süreçleri için oldukça önemlidir.

Sağlıklı bir mineralojik analizde en önemli iki şey; numunenin temsiliyetinin sağlanması ve dar tane boyu aralığında çalışmaktır. Numuneler alınırken veya hazırlanırken yapılacak tüm hatalar yanlış sonuçlara ulaşılmasına neden olmaktadır.

Cevher yatağından veya işleyen bir tesisteki akışlardan alınan temsili örneklerin ilk olarak elek analizlerinin ve madde dengliği çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Daha sonra numuneler XRD (X-ray diffraction), optik/elektron mikroskop analizleri ve kimyasal analizler için uygun tane boyutunda hazırlanmaları gerekmektedir. Hazırlanan numunelerin görüntü analiz sistemleri ile,

- Minerallerin miktarları
- Sahip olunan minerallerin tane büyüklükleri ve şekil özellikleri
- Serbestleşme durumları
- Metallerin mineraller içindeki dağılımı gibi sonuçlar elde edilmektedir [48].

Genel olarak karakterizasyon işlemlerinde altın üç farklı formda bulunmaktadır; mikroskobik (görünür) altın, submikroskobik altın ve yüzeye bağlı altın (surface gold) [8,51]. Görünür altın optik veya elektron mikroskobu ile belirlenebilen altındır. Cevher içerisinde hem serbest hem de diğer mineraller ile fiziksel olarak ilişkili şekilde bulunmaktadır. Yüzeye bağlı altın ise, mineralleşme veya metalürjik prosesler sırasında tane yüzeyine adsorplanan altın parçacıklarıdır. Yüzey altını, optik veya elektron mikroskobunda görüntülenememektedir. Submikroskobik altın ise katı solüsyon ve koloidal olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Katı çözelti, pirit ve arsenopirit gibi sülfürlü minerallerinin kristal yapısında atomik olarak dağılmış altını ifade etmektedir. Özellikle pirit kristal yapısında önemli miktarlarda altın içerebilmesinden dolayı ana taşıyıcı haline gelmiştir [8,14]. Submikroskobik altına örnek olarak Carlin tipi altın yatakları (Goldstrike) ve bazı epitermal altın yatakları (Güney Amerika) örnek verilebilir [8].

Kolloidal altın terimi, optik veya geleneksel taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile belirlenemeyen çok ince boyuttaki altın kümelenmeleridir. Bu tip altın tanelerinin boyutu 0,005 ile 0,5 μm arasındadır. Kolloidal altın çoğunlukla küreseldir ve sadece sülfürlü değil aynı zamanda piritin oksitlendiği ikincil demir mineralleri ile kil minerallerinin içerisinde de bulunabilmektedir. Kolloidal altın tanelerinin analizi, yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskobu (TEM) gerçekleştirilmektedir [14].

Altının özellikle pirit ve arsenopirit gibi sülfürlü minerallerin yapısında ince tane boyutlarında katı solüsyon şekilde bulunması refrakterliğin en büyük nedenlerinden biridir. Bu tip refrakter altın cevherlerine aşağıdaki madenler örnek verilebilir:

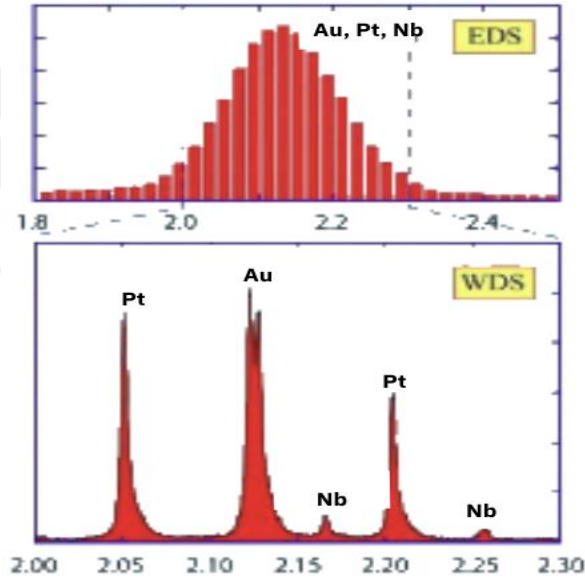
- Gana'da bulunan Bogosu ve Sansu
- Amerika'da bulunan Three Mile Hill
- Yeni Zelanda'da bulunan Macraes Flat
- Batı Avustralya'da bulunan Gold Spec
- Papua Yeni Gine – Porgera
- Güney Afrika – Fairview [52].

Refrakter altın karakterizasyonunda mikro analitik yöntemler geliştirilmiştir [49,53]. Mikro analiz, çok az miktarda veya çok küçük tane boyutundaki malzemelerin yapısal özelliklerinin incelenmesi ve nicel olarak tanımlanmasını sağlayan bir yöntemdir. Refrakter altın cevherlerinin karakterizasyon işlemlerinde kullanılan mikro analiz yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Elektron mikroprob analizörü (EPMA),
- İkincil iyon kütle spektrometresi (SIMS)
- Parçacık indüksiyonlu X-ışını analizörü (PIXE)
- Yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskobu (HR-TEM)
- Lazer iyonlaşması kütle spektrometresi (TOF-LIMS)
- Lazer mikroproblar
- X-ışınları mikrofloresansı (SXRF) [8,14,51,53].

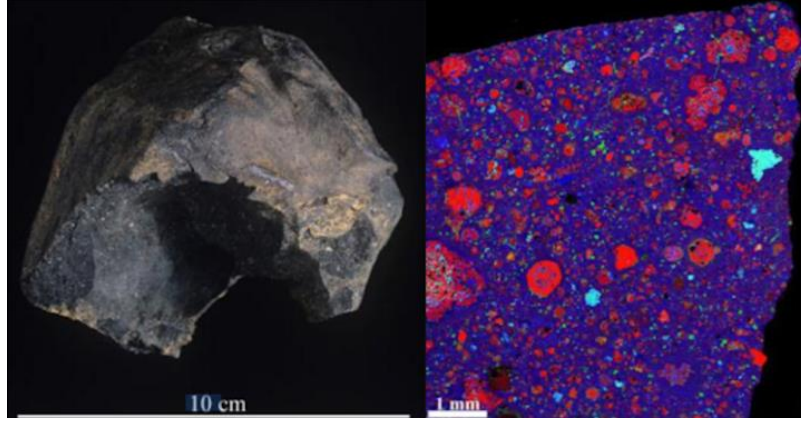
4.1.EMPA

EMPA, SEM ve dalga boyu dağılımlı spektrometrenin (WDS) birlikte kullanıldığı yüksek çözünürlüklü görüntü elde etmeye yarayan bir mikropob yöntemidir. EMPA'nın en önemli özelliği çok küçük boyutlu örneklerde WDS ile tam kantitatif elementel analiz yapabilmesidir. Numune yüzeyinden yansıyan X-ışınlarını belirlemek için WDS yöntemi kullanılmaktadır. WDS hafif elementlere veya küçük boyuttaki tanelere karşı olan hassasiyeti ve yüksek çözünürlüklü görüntü kalitesiyle önemli bir sistemdir. WDS yöntemi ile, farklı dalga boylarındaki X-ışınları belirlenirken X-ışını kırınımını kullanılmaktadır. WDS, belirlenen sadece bir element için de X-ışınlarını sayabilmektedir. Bu özelliğinden dolayı enerji dağılımlı spektrometreden (EDS) daha net sonuçlar ortaya koymaktadır. Şekil 4.1'de WDS ve EDS analizleri arasındaki hassasiyet farkları görülmektedir [51].



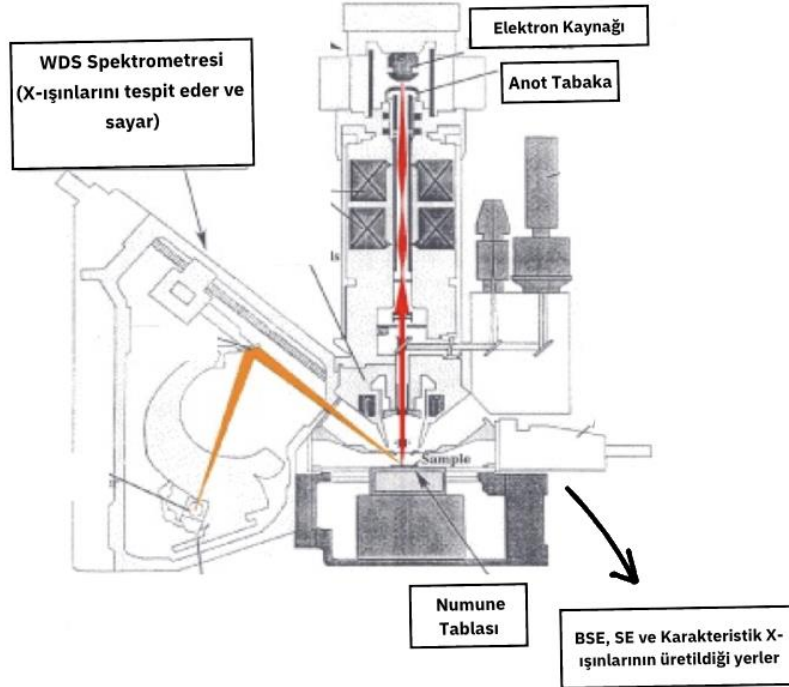
Şekil 4.1. WDS ve EDS farkı [54]

İnce boyuttaki tanelerin (5-10 μm) element analizlerinde WDS ve EDS birlikte kullanılmaktadır [51]. Aynı zamanda EMPA analiz sisteminde X-ışını haritalanması da yapılabilir (Şekil 4.2) [8].



Şekil 4.2. X-ışını element haritası (kırmızı: magnezyum, kalsiyum: yeşil, alüminyum: mavi) [54]

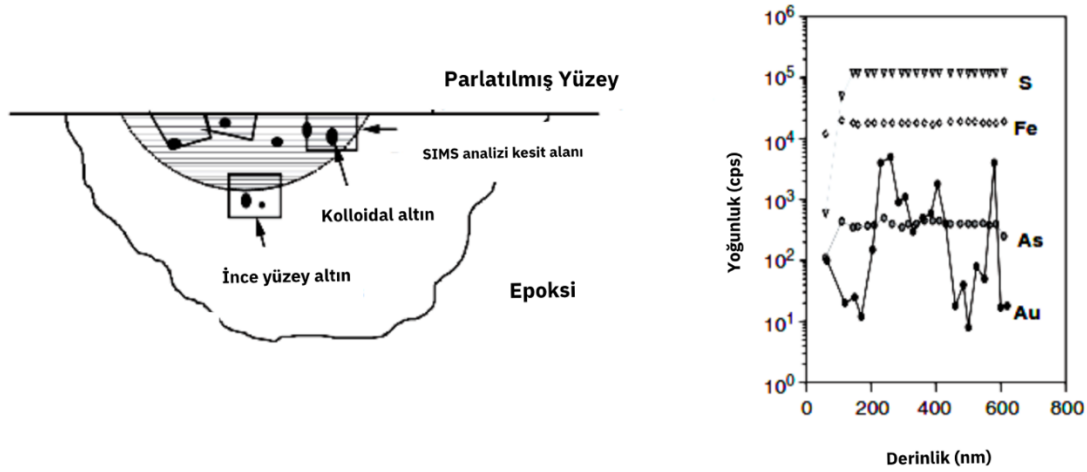
EMPA sistemi, yukarıdan aşağıya sırasıyla şu şekilde oluşmaktadır; bir elektron tabancası, elektronları numune yüzeyine doğru hızlandıracak bir anot, elektron demetini odaklayacak elektromanyetik lens, ikincil elektron (SE) ile geri saçınımlı elektron (BSE) dedektörleri ve dalga boyu ile enerji yayılımı spektrometreleri (WDS) (Şekil 4.3) [55].



Şekil 4.3. EMPA analiz sistemi [55]

4.2. SIMS

SIMS, hassas analiz tekniği ve yüksek çözünürlüklü haritalama özellikleriyle refrakter altın karakterizasyonda kullanılan en önemli mikro ışın analiz yöntemidir. SIMS'te numunenin yüzeyine odaklanmış birincil iyon ışınları gönderildikten sonra ortaya çıkan ikincil iyonlar, kütle spektrometresinde analiz edilmektedir [60]. Periyodik tablodaki tüm elementleri (düşük yoğunluktaki elementler dahil) tespit edebilmesinin yanı sıra birçok elementin izotoplarını da ayırt edebilmektedir [8,53]. Çalışma sırasında minerallerin derin katmanlarını başarılı bir şekilde analiz edebilme özelliği ile diğer tüm mikro analiz yöntemlerinden ayrılmaktadır (Şekil 4.4) [14].



Şekil 4.4. SIMS analizi [14]

Bu yöntemle iz elementlerin milyarda bir (ppb) seviyesindeki analizleri mümkün olabilmektedir. Örneğin, silikat minerallerinin içerisindeki nadir toprak elementleri ve sülfürlü minerallerin içerisinde bulunan Au ve Ag gibi elementler başarılı bir şekilde analiz edilmektedir [56]. SIMS yöntemi, EMPA yöntemine kıyasla daha fazla ölçüm duyarlılığına sahiptir. Bu yüzden oldukça ince tane boyutlarında özellikle sülfür, arsenik veya FeOx'ler ile beraber bulunan refrakter altın cevherlerinin karakterizasyonunda sıklıkla kullanılmaktadır [57].

4.4.HR-TEM

HR-TEM sisteminde, SEM'den farklı olarak TEM kullanılmaktadır. TEM, numune içinden geçirilen elektronların toplanarak numune içeriği hakkında bilgi elde etmeye yarayan bir elektron mikroskopudur. SEM'den farklı olarak kristal yapı hakkında da bilgi verebilmektedir. Bu yüzden HR-TEM, numunelerin atomik yapısının doğrudan görüntülenmesine izin veren özel bir görüntüleme moduna sahiptir. Bu yöntem genellikle kolloidal boyuttaki (~50 nm) altın tanelerini belirlemek için kullanılmaktadır [14].

4.5.TOF-LIMS

Lazer iyonlaşması kütle spektrometresi (TOF-LIMS), bu teknikte diğer lazer mikroproblardan farklı olarak bir yerine iki ayrı lazer ünitesi kullanılmaktadır. Numune üzerine 4-10 nanosaniye kadar bir süreyle lazer uygulanır ve yüksüz parçacıklardan oluşan plazma bulutu oluşturulur. Bu yüksüz parçacıklar, numune yüzeyine paralel olarak yönlendirilmiş ikinci bir lazer ışınıyla iyonlaştırılır. Bu iyonlaşma sonrası yüksüz parçacıklar, dış yörüngelerinden bir elektron kaybederek katyonlar oluşturur. Oluşan iyonlar kütle spektrometresinde okunarak analiz gerçekleştirilir. TOF-LIMS ile minerallerin derinlik profillerinin yanı sıra yüzey özellikleri hakkında da bilgi alınabilmektedir. Bu yüzden özellikle flotasyon tesis kontrol ve optimizasyon çalışmalarında kullanılmaktadır [60]. Diğer mikro ışın tekniklerinden farklı olarak, kaba parçacıkları analiz edebilir. Ayrıca karbonlu madde üzerinde adsorbe edilmiş altın türlerinin tanımlanması için de kullanılabilmektedir (Şekil 4.6) [8,14].



Şekil 4.6. TOF-LIMS analiz sistemi

4.6.Lazer Mikroproblar

Lazer mikroprob yöntemlerinde, lazer ışınları kullanılarak numune üzerinde bir termal enerji yaratılıp yüzeyden katı, sıvı ve gaz halinde küçük parçacıkların kopması sağlanmaktadır. Koparılan parçacıklar bir argon gazı ile atomik emisyon spektrometresi (ICP) kütle spektrometresine aktarılması sonucu analiz gerçekleştirilmektedir. İz elementlerin kantitatif analizleri, silikat minerallerinde nadir toprak elementlerinin belirlenmesi, radyojenik izotop oranlarının saptanması gibi durumlarda kullanılmaktadır [56].

4.7.XRMF

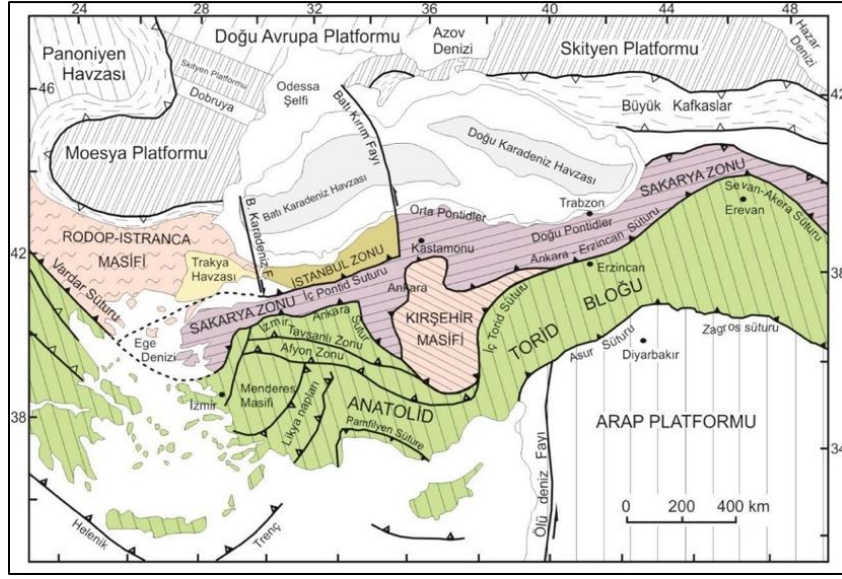
XRMF yöntemi, X-ışını floresansın (XRF) analiz tekniğini içermektedir. XRF, karakteristik X-ışını floresansın ölçümü ile elementlerin kalitatif ve kantitatif ölçümlerini sağlamaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile klasik XRF yöntemine göre daha derin bölgelerde yüksek hassasiyet ile çalışma imkânı bulunmuştur. Bu teknik, analiz sırasında numunelere zarar vermediği için özellikler kıymetli maddelerin analizlerinde kullanılmaktadır [56].

5. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında cevher yatağından temsili olarak seçilen numuneler için karakterizasyon çalışmaları Kanada'da bulunan AMTEL ve MTA'da bulunan analiz laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda Demir Export Merkez Laboratuvarında ve Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında fiziksel ve kimyasal karakterizasyon işlemleri yapılmıştır. Karakterizasyon işlemleri sonrası oksitli zon için sallantılı masa testi ve tüm saha zonları için şişe çevirme testleri (bottle-roll test) yapılmıştır. Daha sonra her üç zon için flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen örneklerin kimyasal analizleri Demir Export Merkez Analiz Laboratuvarında yapılmış, analizlerin doğruluğunu teyit etme amacıyla bazı örnekler akredite bir dış laboratuvarda tekrar analiz edilmiştir. Flotasyon testlerinde optimum deney koşulu belirlenerek mineralojik karakterizasyon sonrası üç zona bölünen (sülfürlü-geçiş-oksitli) cevher yatağına ait numuneler harmanlanmış ve harman olarak tesise beslenmesi durumundaki metalurjik performansı tenör/verim açısından incelenmiştir. Son olarak temizleme testleri de yapılarak nihai tenör/verim bilgisi ortaya konmuştur.

5.1.Ruhsat Alanı ve Karot Bilgileri

Numune alanı, Anadolu Levhasının orta kesiminde yer alan Kırşehir Masifinin önemli bir bölümünü kapsamaktadır. Bu masif (Şekil 5.1) kuzeyde Kuzey Anadolu Fay Zonu ve doğuda Doğu Anadolu Fay Zonu arasındaki alanı tanımlamaktadır.



Şekil 5.1. Kırşehir Masifi

Ruhsat sahasında Kırşehir Masifi'ne ait metamorfik kayalar ile bunları kesen siyenit porfiri ve subvolkanik damar kayaları gözlenmektedir. Metamorfik kayalar, kuvars bant ve damarları içermektedir. Metamorfik kayalar, hidrotermal alterasyona maruz kalarak silisleşmiş, limonitleşmiş, hematitleşmiş ve breşleşmiştir. Alterasyon geometrisi damar şeklinde olup, damarın merkezinde silisleşme hakimdir. Altere zon içinde silisleşmiş kesimlerde gözlenen kuvars damarları içerisinde sülfürlü içerikler (pirit, arsenopirit, bizmut) mevcuttur. Sülfür içeren kuvars damarcıkları yüzeyde oksitlenmişlerdir. Sülfürler genellikle hematit ve limonite dönüşmüştür.

Cevher sahasında kuvars damarları ve altın değerleri arasında doğrudan bağlantı bulunmuştur. Kapsamlı "Altın Davranımının İncelenmesi (Gold Department)" raporu neticesinde cevher yatağı yapısal özellikleri bakımından oksitli, geçiş ve sülfürlü olarak isimlendirilen üç ana tipe ayrılmıştır. Zonları temsil eden karot örneklerine ait görseller Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Zonlara ait karot görüntüleri a) oksitli zona ait karotlar b) geçiş zonuna ait karotlar c) sülfürlü zona ait karotlar

Bu sınıflandırma yapılırken, minerallerin oksidasyon durumu ve hem sülfürlü hem de ikincil demir mineral miktarları dikkate alınmıştır. Yüzeyden derine doğru oksitli seviyelerden sülfürlü seviyelere kademeli geçişin yaşandığı ruhsat sahasında, mineralojik ve metalürjik çalışmalar için seçilen numuneler, oksidasyon modeline (oksitli zon, geçiş zonu ve sülfürlü zonu) uygun olarak seçilmiştir.

5.2. Numune Hazırlama

Sahadan temsili olarak alınan numuneler metalürjik testler ve mineralojik karakterizasyon çalışmaları için Demir Export Proses Laboratuvarına gönderilmiştir. Ağırlığı 80 kg olan tüvenan cevher burada kurutulup tartılmıştır. Karot şeklinde gelen tüvenan cevher; çeneli ve merdaneli kırıcılar kullanılarak -2 mm tane boyuna kırılıp harmanlanmış, karakterizasyon ve cevher zenginleştirme çalışmalarında kullanılmak üzere 1kg'lık temsili numunelere bölünmüştür. Seçilen numunelere ait derinlik ve tenör bilgileri Çizelge 5.1'de verilmektedir.

Kimyasal analiz, EDTA testi gibi daha ince tane boyuna ihtiyaç duyulan analizler için halkalı değirmen kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Numunelere ait derinlik ve tenör bilgisi

Oksitli Zon	Başlangıç (m)	Bitiş (m)	Au (ppm)
KBC 39	108,4	111,5	2,66
KBC 40	71,4	72,7	0,77
KBC 162	24,0	26,7	0,49
1,49			
Geçiş Zonu	Başlangıç (m)	Bitiş (m)	Au (ppm)
KBC 02	46,4	53,5	1,10
KBC 19	19,8	23,0	0,44
KBC 32	49,0	53,0	6,27
KBC 41	55,6	58,6	1,23
KBC 184	87,9	94,4	0,52
1,75			
Sülfürlü Zon	Başlangıç (m)	Bitiş (m)	Au (ppm)
KBC 80	141,0	151,0	0,89
KBC 102	118,7	122,0	1,98
KBC 104	122,8	126,1	1,00
1,13			

5.3.Karakterizasyon Çalışmaları

Zonların tanımlanmasından sonra yapılan tüm karakterizasyon ve metalürjik çalışmalar bu üç zon için ayrı olarak gerçekleştirilmiştir.

5.3.1.Fiziksel Karakterizasyon

Fiziksel karakterizasyon çalışmaları kapsamında numunelerin yüzey oksidasyon (EDTA, etilen diamin tetraasetik asit) ve özgül ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Özgül ağırlık değerleri TS EN 1097-7 standardına [61] uygun olarak piknometre ile ölçülmüştür. EDTA testi ise Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. EDTA testi sonrası katı ve sıvı malzemenin analizi Atomik Absorpsiyon Spektrometresinde (AAS) gerçekleştirilmiştir.

5.3.2.Kimyasal Karakterizasyon

Cevher yatağında üç farklı zon tanımlandığı için her zonun kimyasal yapısında farklılık olup olmadığının belirlenmesi hem besleme hem de zenginleştirme testleri sonucunda elde edilen ürünlerin değerlendirilmesi aşamasında önemlidir. Bu yüzden kimyasal analiz ile; her zon için tüvenan cevherin kimyasal içeriği incelenmiştir. Ayrıca liç sonrası liçlenmiş katı ve altın içeren siyanürlü çözeltinin, sallantılı masa ile flotasyon sonrası elde edilen konsantre ve atık numunelerinin

kimyasal içerikleri belirlenerek üç zonun metalurjik performansları tenör/verim açısından incelenmiştir. Kimyasal analizler, Demir Export Merkez Analiz Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Tüm baz metaller, ICP yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Silis ölçümleri X-ışınları floresansında (XRF) yapılırken altın değerleri ateş analizi (fire assay) yöntemi ile belirlenmiştir.

5.3.3.Mineralojik Karakterizasyon

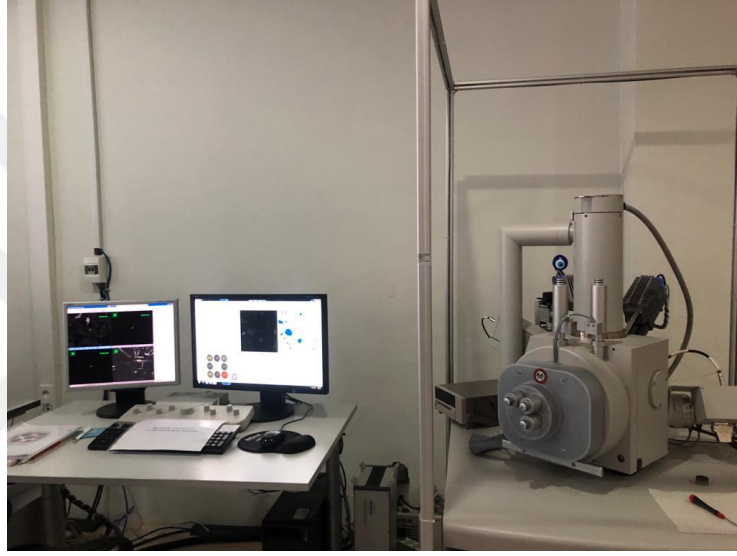
Cevher yatağının modal mineralojisi, mineral serbestleşme derecesi ve diğer mineraller ile bağlılık durumunun belirlenmesi için ilk olarak sekiz adet numune (KT1-KT8) altın davranımı kapsamlı incelenmiştir. Gold Deportment olarak tanımlanan bu inceleme, bir cevher yatağında bulunan altının doğası ve değişkenliği hakkında kapsamlı bir karakterizasyon çalışmaları için fiziksel, kimyasal ve mineralojik tüm analizlerin birleşimidir [60]. Oldukça kapsamlı mineralojik bilgiler sunan Gold Deportment hem optik mikroskop hem de mikro ışın analitik yöntemlerini (QemScan, XRD, SEM, SIMS, TOF-SIMS vb.) içermektedir. Bu veriler ile altının tüm formları, taşıyıcı mineralleri ve altın kazanımını etkileyecek mineralojik faktörler bu incelemede tanımlanabilmektedir [62].

Bu kapsamda numuneler p₈₀'i 120-130 µm olacak şekilde öğütülmüştür. Altın dağılımının belirlendiği bu çalışmada, genel mineralojiyi belirlemek için kantitatif XRD, altının bulunma şekli, tane boyu ve mineral birlikteliklerin tanımlanması için SEM/EDX ve SIMS yöntemleri kullanılmıştır.

Cevher yatağının genel mineralojik karakterizasyonun yapılmasının ardından metalurjik çalışmalar için kullanılacak numunelerin de mineralojik karakterizasyonu yapılmıştır. Bu amaçla hazırlanan numunelerin modal mineraloji, serbestleşme/bağıllık analizi ve altının diğer minerallerle birlikte bulunma durumunun belirlenmesi için MLA yöntemi kullanılmıştır. MLA analizi, MTA'da bulunan FEI MLA 650 cihazında (Şekil 5.3) gerçekleştirilmiştir. Burada modal mineraloji, XRD, SEM ve EDS analizleri her bir zon için ayrı ayrı yapılmıştır. MLA analizi için numuneler Retsch marka titreşimli elek makinesinde Tyler elek serisine uygun olarak seçilmiş elekler ile yaşı elenmiştir. Eleme işleminden sonra her elek için elek üstü ve elek altı fraksiyonları 80°C'de etüvde kurutulmuş ve

tartılmıştır. Daha önceki çalışmalar baz alınarak belirlenen iki farklı fraksiyonda (-106+53 μm ve -38+20 μm) hazırlanan altı adet numuneye MLA analizi yapılmıştır.

MLA analizi kapsamında, tüm parçacıklardan BSE görüntüleri alınarak cevherde saptanan tüm minerallerin yüzde dağılımları (modal analiz), altın ve altının beraber bulunduğu sülfürlü/oksitli minerallerin serbestleşmesi ve bağlılık durumları incelenmiştir. Modal mineraloji numunelerin içerdiği minerallerin türünü ve miktarlarını ifade etmektedir.



Şekil 5.3. MLA cihazı

5.4. Zenginleştirme Çalışmaları

Zenginleştirme çalışmaları kapsamında; flotasyon ve şişe çevirme testleri Demir Export Merkez Proses Laboratuvarında, sallantılı masa testi ise 500x1200 boyutlarına sahip Super Duty marka sallantılı masada Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında yapılmıştır. Flotasyon testleri Denver tipi flotasyon makinesinde ve şişe çevirme testleri ise Liya marka üç katlı ve kauçuk kaplamalı şişe döndürücüde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmaların ilk aşamasında, mineralojik testlere göre refrakter olarak tanımlanan yatağın refrakterliğini kanıtlamak ve cevher yatağının geleneksel siyanür liçine olan yatkinliğinin incelemek amacıyla 'şişe çevirme' testleri yapılmıştır.

Daha sonra yüksek özgül ağırlığa sahip altın için sıklıkla tercih edilen yerçekimi ile zenginleştirme yöntemi olan 'sallantılı masa' testi oksitli zon için uygulanmıştır.

Cevher yatağının büyük bir kısmını sülfürlü zonun oluşturması ve altının pirit mineralleri ile bağlı veya kapanım halinde bulmasından dolayı zenginleştirme çalışmalarına flotasyon testleri ile devam edilmiştir. Test programı olarak her bir zon için ayrı ayrı flotasyon testleri yapılmıştır. Bu testlerde farklı tipte toplayıcılar tek başına ve sinerjik etki yaratmak amacıyla birlikte eklenerek altının flotasyon davranımı kinetik olarak incelenmiştir. Sonraki aşamada, verim/tenör açısından en iyi sonucu veren toplayıcılar kullanılarak zonların uygun miktarlarda harmanlanmasıyla oluşturulan örneklerle flotasyon testleri yapılmıştır.

5.4.1. Şişe Çevirme Testleri

Bu test kapsamında cevher yatağını temsil edecek 48 adet karot numunesi alınıp hazırlanmıştır. Seçilen numuneler, cevherleşmenin (sülfürlü, geçiş ve oksitli) değişkenliğini temsil edecek şekilde seçilerek Demir Export Proses Laboratuvarına sevk edilmiştir. Karot numuneleri tane boyu p80: 1,7 mm olacak şekilde çeneli ve merdaneli kırıcılar yardımıyla kırılıp, elenmiştir. Temsili olarak bölündükten sonra 500 gram olacak şekilde hazırlanmıştır. Daha sonra 2,5 litrelik amber cam şişelere konan numuneler, 1g/L derişimde sodyum siyanür (NaCN) ve 750 mL saf su atmosferik şartlar altında 120 saat döndürülmüştür. Test boyunca gerekli oksijen atmosferik hava ile sağlanmış, dışarıdan herhangi bir

hava ilavesi yapılmamıştır. Şekil 5.4'te döndürülen amber şişeler gösterilmektedir. Test boyunca liç kinetiğini ve siyanür ile etkileşimi etkileyen palp pH'sı ve çözelti içerisindeki çözünmüş oksijen miktarı periyodik olarak ölçülmüş ve değerler daima ideal sınırlar içinde tutulmuştur (pH >10,5 – 11,0; Çözünmüş Oksijen > 4 mg/L).

Aynı zamanda farklı zamanlarda şişelerden alınan solüsyon örneklerinin bir kısmı ile standart titrasyon testi ile tüketilen siyanür içeriği hesaplanmış, kalan kısmı Demir Export Merkez Analiz Laboratuvarına ne kadar altının çözündüğünün belirlenmesi amacıyla gönderilmiştir.



Şekil 5.4. Şişe çevirme test düzeneği

5.4.2.Sallantılı Masa Testi

Oksitli cevher numunesi ile flotasyon yöntemine alternatif olarak 'sallantılı masa' testi (Şekil 5.5) gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 10 kg numune -500 μ m'ye öğütülmüş dekantasyon ile şlamı atılarak -38 μ m boyundaki taneler, sallantılı masa beslemesinden ayrılmıştır.



Şekil 5.5. Oksitli zon sallantılı masa testi

5.4.3. Flotasyon Testleri

Flotasyon testleri öncesinde öğütme işlemi %60 katı yoğunluğunda 1 kg cevher kullanılarak çubuklu değirmende yapılmıştır. Flotasyon testlerinde ise 2.5L'lik Denver tipi flotasyon makinesi kullanılmış, 1500 rpm dönüş hızı ve yaklaşık %30 katı yoğunluğunda çalışılmıştır. Öğütme aşamasında bastırıcı/dağıtıcı olarak 2 kg/t sodyum silikat (Na_2SiO_3) kullanırken köpürtücü olarak MIBC (metil izobütillil karbinol) tercih edilmiştir. Flotasyon sonrası konsantre ve atık numuneleri Demir Export Merkez Analiz Laboratuvarına iletilmiştir.

Flotasyon testlerine başlamadan önce özellikle altının piritle birlikte bulunduğu bilgisine dayanarak güçlü bir toplayıcı olan KAX ile ön testler yapılmıştır. Bu testler kapsamında pH'nın ve CuSO_4 kullanımının etkisi incelenmiştir. Sülfürlü zon flotasyon testlerinde numuneler mineralojik analiz sonuçları dikkate alınarak 20 dakika (p80: 50,3 μm); geçiş zonu için 25 dakika (p80: 42,3 μm) ve oksitli zon için 20 dakika (p80: 43,4 μm) öğütülmüştür. Ön testlerden sonra yapılan flotasyon testleri için ise öğütme kalibrasyonu tekrarlanmış farklı dakikalarda öğütmeler yapılarak p80 değerleri karşılaştırılmıştır.

Yapılan bu ön testlerden elde edilen veriler sonucunda kullanılması uygun görülen farklı toplayıcılar eşliğinde bir flotasyon çalışma programı hazırlanmıştır. Flotasyon testleri sırasında kullanılan toplayıcılar demir sülfür, FeOx ve Au için yaygın olarak kullanılanlar arasından seçilmiştir [35,37]. FeOx 'lerin yüzdürülmesi

ters ve direkt olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Ters flotasyonda istenmeyen mineraller uygun reaktifler ile yüzdürülüp köpüğe alınarak FeOx'ler hücre içerisinde bırakılmaktadır [63]. Toplayıcı olarak hem anyonik hem de katyonik tip toplayıcılar kullanılabilir. Hangi tip toplayıcı kullanılacağına yüzdürülecek mineralin cinsi ve yüzey yüküne göre karar verilmektedir [64]. Anyonik toplayıcılar için petrol bazlı sülfonatlar, yağ asitleri ve hidroksamatlar tercih edilmektedir [35,63]. Sülfonatlar özellikle demir içeren minerallerin asidik koşullarda yüzdürüldüğü durumlarda kullanılmaktadır [35].

Bu kapsamda zonlar için incelenen toplayıcı tipleri aşağıda sıralanmıştır:

- KAX (potasyum amil ksantat)
- Aero 407 promoter (merkaptobenzotiyozol ve ditiyofosfat formülasyonu)
- XD-702 promoter (formülize edilmiş ditiyokarbamat)
- Aero 8045 (Ditiyofosfat formülasyonu)
- Aero Maxgold 900 (modifiye ditiyokarbamat)
- Aerofloat MX-505 (ditiyofosfat)
- Aero 825 (petrolyum sülfonat)

Farklı toplayıcılar ile yapılan flotasyon testlerinin koşulları Çizelge 5.2'de özetlenmektedir:

Çizelge 5.2. Tüm zonlar için flotasyon koşulları

Zon Adı	Toplayıcı Dozajı (g/t)	Toplayıcı Ekleme Durumu	Dönüş Hızı (rpm)	Hava Hızı (L/dk)
Sülfürlü	250	Kademeli	1500	3,5
Geçiş	300	Kademeli	1700	3,5
Oksitli	500	Tek seferde	1500	2,0

Bir sonraki aşamada Au verimini iyileştirmek adına bazı toplayıcılar birlikte kullanılarak sinerjik etkileri incelenmiştir. En iyi sonucu veren toplayıcılar belirlendikten sonra zonlar rezerv oranlarına göre harmanlanarak (paçal) yeni flotasyon testleri yapılmıştır. Paçal1 sülfürlü ve geçiş zonunun harmanlanması, Paçal2 ise her üç zonun harmanlanması ile oluşturulmuştur.

6.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1.Karakterizasyon Çalışmalarının Sonuçları

Bu kapsamda zonların incelenen fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri ayrı başlıklar halinde aşağıda açıklanmıştır.

6.1.1.Fiziksel ve Kimyasal Karakterizasyon

Yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 6.1'de verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, genel olarak tüm zonların Au içeriğinin oldukça düşük olduğu görülmekle birlikte sülfürlü zonun Au tenörünün diğer zonlardan daha yüksek olduğu ve geçiş ile oksit zonlarına ait Au tenörlerinin birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Sülfürlü zonda 10,4 g/t kadar Ag içeriği de tespit edilirken Cu, Zn, Pb ve Ni değerlerinin oldukça düşük olduğu da gözlenmiştir. Diğer zonlara göre sülfürlü zondaki yüksek S değeri mineralojik analizle belirlenen özellikle pirit mineralinin varlığını işaret etmektedir.

Çizelge 6.1. Zonların kimyasal analiz sonuçları

Zon Adı	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Sb (ppm)	Ni (ppm)	Fe (%)	S (%)
Sülfürlü	1,13	10,4	2894	235	1430	911	343	24	5,73	5,77
Geçiş	0,71	3,5	2329	61	202	91	49	12	3,71	1,79
Oksitli	0,76	1,7	3584	66	347	208	1534	15	4,94	0,22

Flotasyon testlerinde besleme yüzde katı miktarının doğru hesaplanabilmesi için her üç zona ait tüvanan cevherin özgül ağırlıkları piknometre testleri ile belirlenmiştir. Yapılan tekrarlı testler sonucunda belirlenen özgül ağırlık değerleri;

- Sülfürlü zon için 2,7
- Geçiş zonu için 2,7 ve
- Oksitli zon için 2,6 olarak hesaplanmıştır.

Her üç zona ait tüvanan cevherin yüzey oksitlenme durumlarını incelemek amacıyla EDTA testleri yapılmıştır. EDTA testi sonucunda sülfürlü zon Es_Fe değeri 0,80 mg/g, geçiş zonunda 0,84 mg/g ve oksitli zonda 0,60 mg/g olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Fe minerallerinin yüzeysel oksitlenmeye maruz kalmadığının bir göstergesidir.

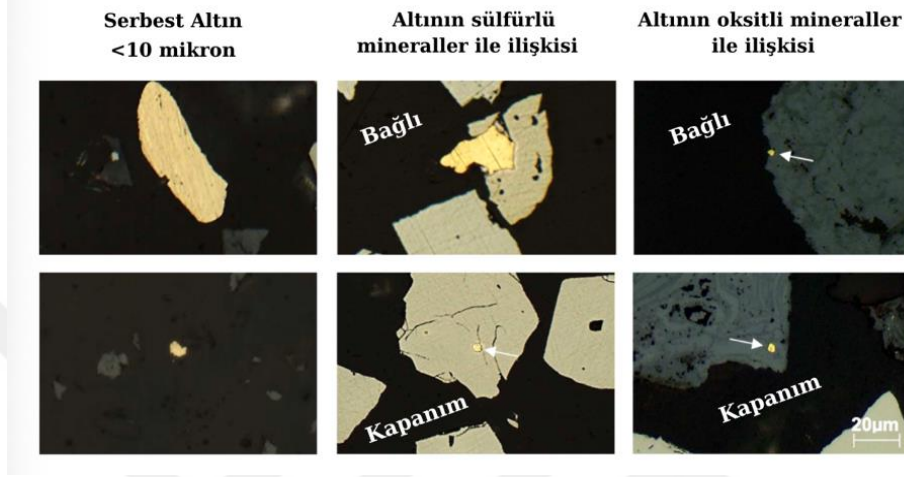
6.1.2. Mineralojik Karakterizasyon

Mineralojik karakterizasyon kapsamında yapılan Gold Department çalışmasında, numuneler FeOx ve sülfür içeriklerine göre sülfürlü (KT2, KT3 ve KT6), geçiş (KT1, KT4 ve KT7) ve oksitli (KT5 ve KT8) cevherler olmak üzere sınıflandırılmıştır. Çizelge 6.2’de verilen modal mineraloji verilerine göre her üç zonda da kuvars mineralinin en yüksek yüzdeye sahip olduğu gözlenmektedir. Sülfürlü zon numunelerinde pirit baskınken oksitli zon minerallerinde götit baskın mineraldir. Geçiş zon numunelerinde ise hem pirit hem de götit miktarlarının yakın olması mineralojik analiz ve oksidasyon sınıflandırmasının çelişmediğini göstermektedir.

Çizelge 6.2. Cevher yatağını temsil eden karotların modal mineralojisi

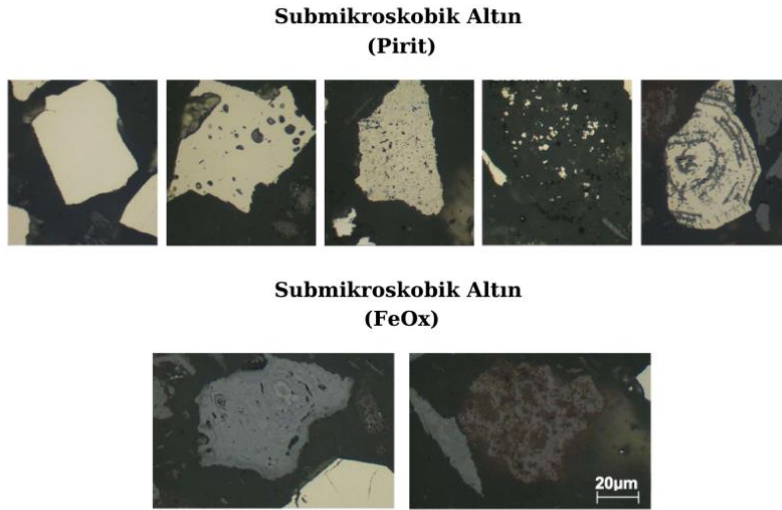
Mineral	KT-1	KT-2	KT-3	KT-4	KT-5	KT-6	KT-7	KT-8
Kuvars	35,0	39,4	42,0	62,0	36,0	38,3	30,6	34,0
K-Feldspat	30,8	29,7	18,4	5,5	26,4	30,3	25,0	19,7
Na-Feldspat	3,9	1,7	0,9	0,4	1,5	1,3	9,8	3,4
İllit	13,2	11,5	14,4	10,9	14,7	10,9	17,9	19,9
Biyotit	2,7	1,2	1,0	2,1	2,9	1,0	2,2	4,4
Kaolinit	7,6	3,7	9,3	4,9	13,8	12,4	7,7	8,0
Klorit	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	3,5
Rutil	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
Barit	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2
Götit	3,1	1,2	0,0	4,5	3,5	0,1	3,2	5,6
Pirit	2,7	11,0	12,8	9,1	0,3	2,0	1,0	0,0
Arsenopirit	0,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0
Galen	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Sfalerit	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Augite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,9	0,0
Toplam	100	100	100	100	100	100	100	100

Kanada’da yapılan Gold Deportment raporuna göre, altının nabit ve submikroskopik olarak bulunduğu belirtilmiştir. Genel olarak altının tane boyu 1-420 µm gibi çok geniş bir tane boyu aralığında değişmektedir. Nabit altın tanelerinin hem serbest olduğu hem de sülfür ve FeOx ile ilişkili olduğu gözlenmiştir. Şekil 6.1’de nabit altının bulunma durumları verilmektedir.



Şekil 6.1. Nabit altının serbestleşmesi ve diğer minerallerle bağıllık durumu

Submikroskopik altın ise pirit ile arsenopirit içinde katı çözelti, FeOx içinde ise kolloidal mikro kapanımlar halinde bulunmaktadır. Özellikle kapanım şeklinde FeOx mineralleriyle birlikte bulunan altının, resimlerden de görüleceği üzere sadece birkaç mikron boyutunda olduğu belirlenmiştir. Şekil 6.2’de hem sülfürlü hem de oksitli mineraller içerisindeki submikroskopik altın görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 6.2. Submikroskopik altının diğer minerallerle durumu

“Gold Deportment” çalışmalarında, cevher numunelerinin flotasyon ve liç yöntemlerine uygunlukları da incelenmiştir. Flotasyondaki altın veriminin, 10 µm’den iri tane boylarındaki serbest sülfürlü minerallere ve serbest altına bağlı olduğu düşünülmektedir. Cevherin siyanür liçine uygunluğu ise üç sınıf altında incelenmiştir. Bu sınıflar; kolayca siyanürleyebilir (serbest ve bağlı altın taneleri), öğütüldükten sonra siyanürlenebilir (ince öğütmeden sonra siyanürleyebilir altın taneleri) ve refrakter (doğrudan siyanürleme ile kazanılamayan altın) şeklindedir. Bu rapora göre daha önce benzer cevher yataklarından elde edilen sonuçlardan yararlanılarak farklı zenginleştirme yöntemleri için öngörülen verimler Çizelge 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Zonlara ait öngörülen zenginleştirme verimleri

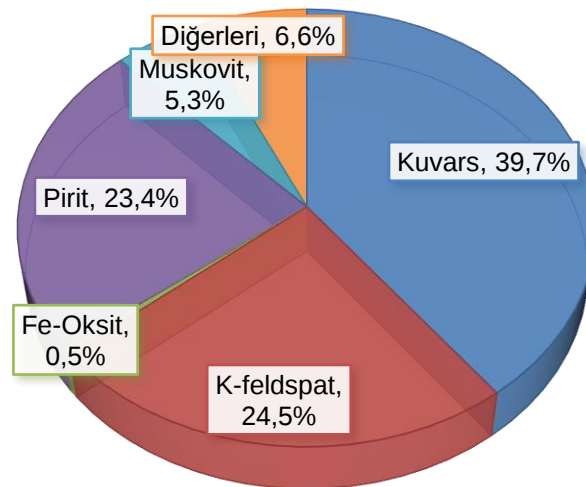
Zenginleştirme Yöntemi	Sülfürlü			Geçiş			Oksitli	
	KT-2	KT-3	KT-6	KT-1	KT-4	KT-7	KT-5	KT-8
Flotasyon	%96	%92	%93	%85	%82	%77	%54	%50
Liç	%70	%41	%82	%69	%44	%67	%90	%84

Bu tez kapsamında çalışılan numuneler AMTEL’de yapılan mineralojik analizden daha sonraki bir dönemde elde edildiği için testlerde kullanılan numunelerin güncel mineralojik karakterizasyonu da yapılmıştır. Bu anlamda zenginleştirme testlerinin kapsamının güncel mineralojik verilere dayandırılması amaçlanmıştır. Testlerde kullanılan numunelerin karakterizasyonu için yapılan MLA çalışmasında, minerallerin modal mineralojisi, altın ve diğer minerallerin serbestleşme derecesi ve altın-mineral birliktelikleri incelenmiştir. Modal mineralojiye göre, her zon içerisinde majör olarak kuvars ve feldspat minerallerinin bulunduğu belirlenmiştir. Sülfürlü ve geçiş zonlarına ait sülfürlü mineral içerikleri incelendiğinde, pirit mineralinin baskın olarak bulunduğu görülmektedir. Oksitli zonda ise sülfürlü minerallerin oksidasyonu sonrası oluşan ikincil demir mineralleri gözlenmiştir.

Zenginleştirme testlerinde kullanılan numunelere ait minerallerin fraksiyonel bazda dağılımı sülfürlü, geçiş ve oksitli zonda olmak üzere sırasıyla Çizelgeler 6.4, 6.5 ve 6.6'da verilmektedir. Bu çizelgelere göre sülfürlü zonun hem iri hem de ince fraksiyonunda kuvars, feldspat ve pirit baskındır. Geçiş zonunda kuvars, feldspat, Fe-oksitler, muskovit ve pirit baskın olarak görülmektedir. Oksitli zonda ise kuvars, feldspat ve Fe-oksitler baskındır. Bu sonuçlar Gold Department sonucu gibi mineralojik analizlerin ve jeolojik gözlemlerin tutarlılığını kanıtlamaktadır. Tüm fraksiyonlardaki genel bileşimi gösteren ortalama modal mineraloji bilgileri ise Şekil 6.3, 6.4 ve 6.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 6.4. Sülfürlü zona ait modal mineraloji

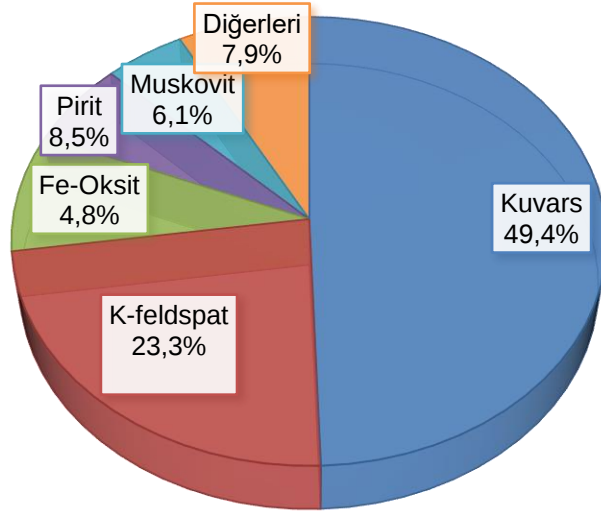
Sülfürlü Zon	Dağılım (%)	
	-106+53 μ m	-53+20 μ m
Kuvars	43,1	36,3
K-feldspat	25,6	23,4
Albit	2,3	2,7
Pirit	19,3	27,5
Arsenopirit	0,4	1,0
Kaolinit	0,6	0,6
Fe-oksit	0,4	0,7
Muskovit	5,9	4,7
Biyotit	0,2	0,3
Rutil	0,1	0,1
Barit	0,0	0,2
Dolomit	1,2	1,2
Apatit	0,1	0,2
Sfalerit	0,2	0,2
Galen	0,1	0,1
Diğerleri	0,6	0,7
Toplam	100	100



Şekil 6.3. Sülfürlü zonun tüm fraksiyonlardaki genel modal mineralojisi

Çizelge 6.5. Geçiş zonuna ait modal mineraloji

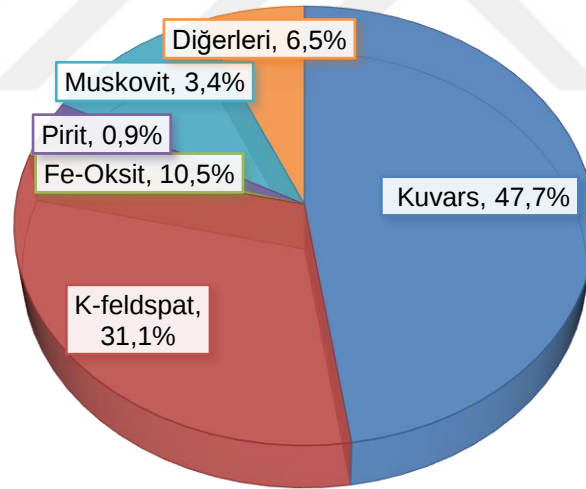
Geçiş Zonu	Dağılım (%)	
	-106+53 μm	-53+20 μm
Kuvars	51,2	47,6
K-feldspat	21,7	24,8
Albit	2,2	0,0
Pirit	7,3	9,7
Arsenopirit	0,7	1,1
Kaolinit	1,3	1,3
Fe-oksit	5,7	4,0
Muskovit	6,8	5,4
Biyotit	1,9	2,2
Rutil	0,1	0,1
Barit	0,2	0,2
Plajiyoklaz	0,6	2,8
Apatit	0,1	0,2
Zirkon	0,0	0,1
Kalkopirit	0,0	0,0
Diğerleri	0,3	0,4
Toplam	100	100



Şekil 6.4. Geçiş zonunun tüm fraksiyonlardaki genel modal mineralojisi

Çizelge 6.6. Oksitli zona ait modal mineraloji

Oksitli Zon	Dağılım (%)	
	-106+53 μ m	-53+20 μ m
Kuars	48,8	46,6
K-feldspat	29,7	32,4
Albit	1,5	1,5
Pirit	0,5	1,3
Arsenopirit	0,0	0,1
Kaolinit	1,4	1,1
Fe-oksit	10,4	10,6
Muskovit	3,7	3,0
Biyotit	1,0	0,9
Rutil	0,1	0,3
Barit	0,1	0,2
Sb_Fe Oksit	0,9	1,5
Jarosit	0,2	0,3
Klorit	0,8	0,0
Sb_Mn_Fe Oksit	0,1	0,0
Diğerleri	0,5	0,5
Toplam	100	100

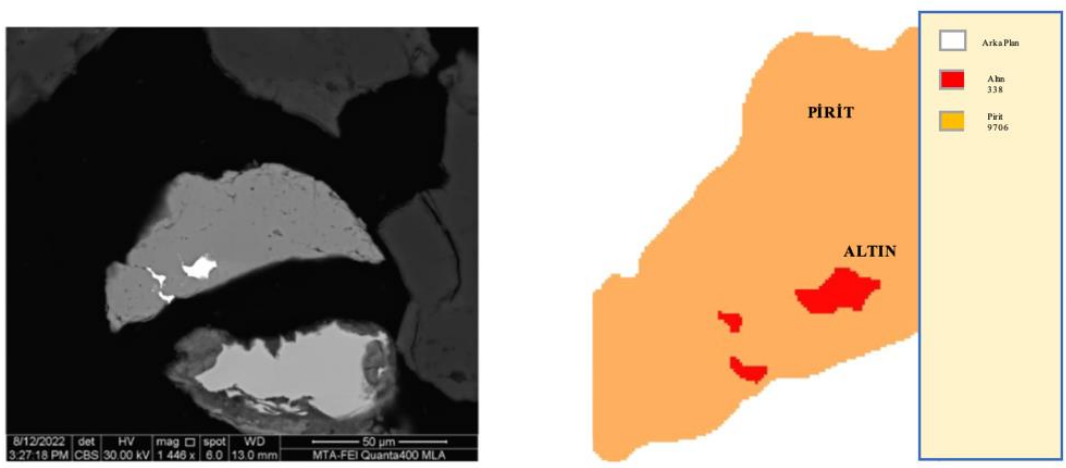


Şekil 6.5. Oksit zonunun tüm fraksiyonlardaki genel modal mineralojisi

MLA analizinde tüm zonlarda tespit edilen altın tanelerinin sayısı Çizelge 6.7’de verilmiştir. Kimyasal analiz sonuçlarına göre altın varlığından söz edilirken MLA analizinde altın tanelerinin eser miktarda görülmesi bu numunelerin refrakterliğine işaret etmektedir. Ayrıca MLA’de görülen altınların tamamının pirit ile bağlı olduğu görülmektedir. Şekil 6.6’da geçiş zonunda saptanan altın-pirit bağlı tanelerine ait bir örnek sunulmaktadır.

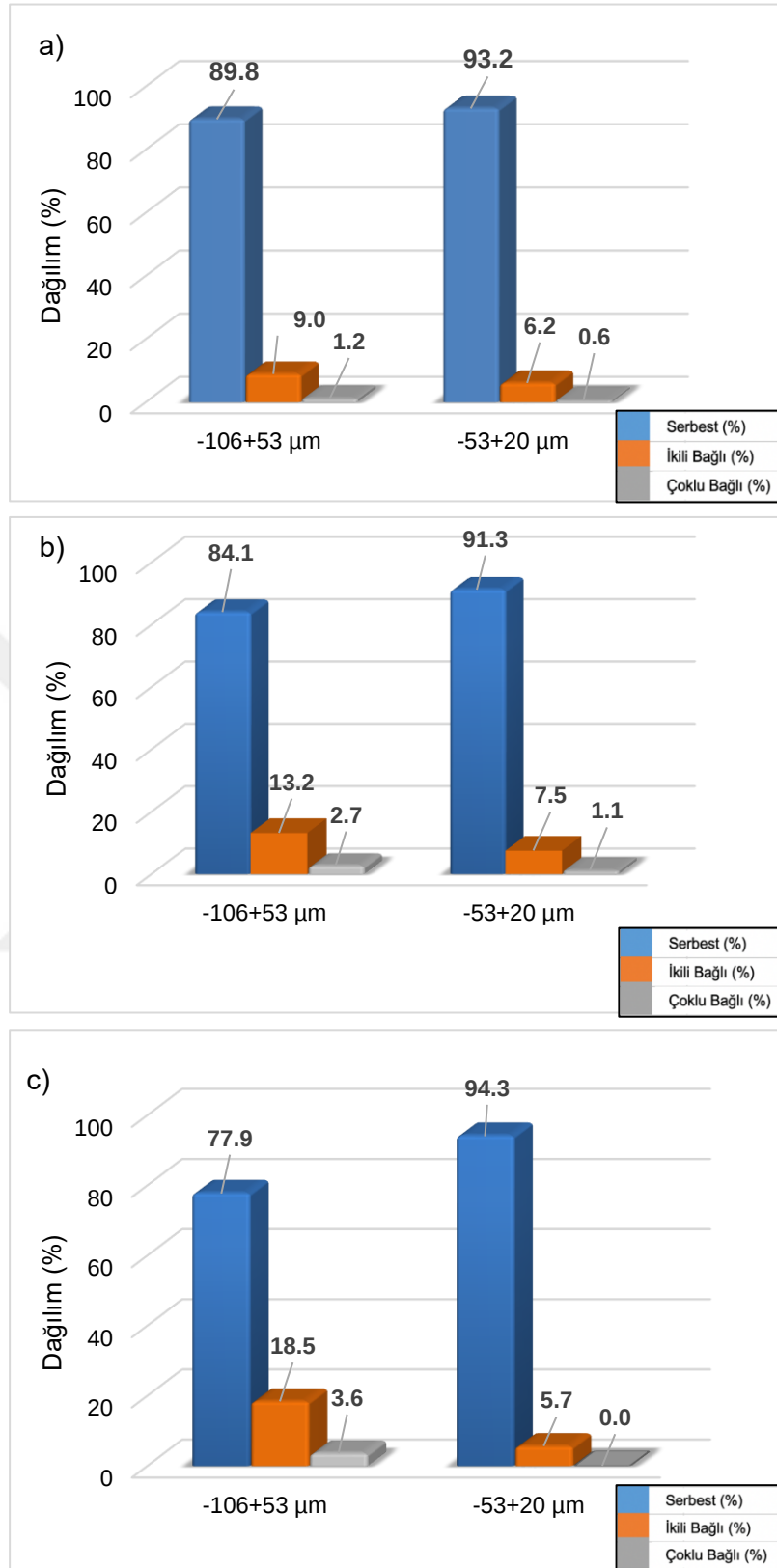
Çizelge 6.7. Tüm zonlarda saptanan altın tane sayısı

Zon Adı	Tane Boyu Fraksiyonu	Au İçeren Tane Sayısı
Geçiş Zonu	-106+53 μm	3
	-53+20 μm	1
Oksitli Zonu	-106+53 μm	0
	-53+20 μm	0
Sülfürlü Zonu	-106+53 μm	0
	-53+20 μm	2



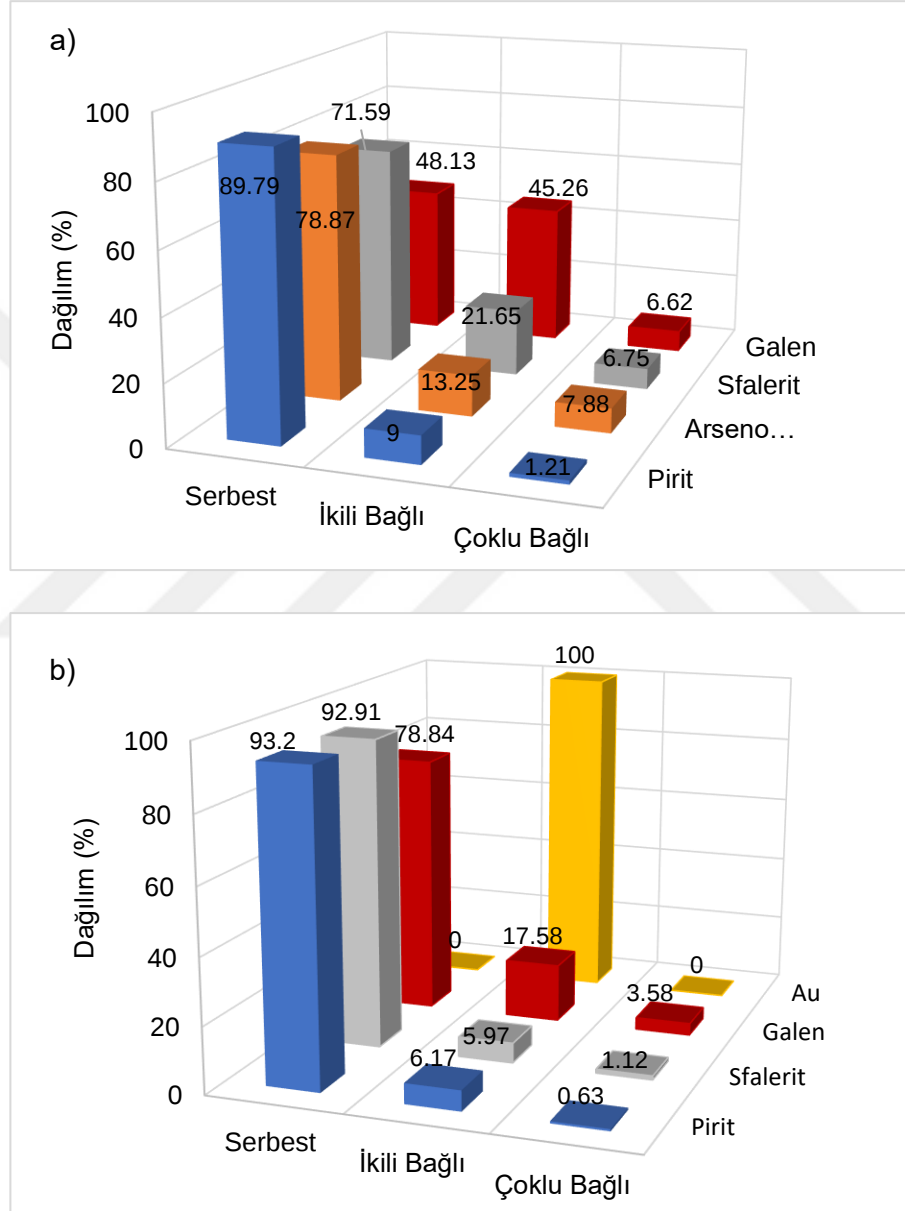
Şekil 6.6. Geçiş zonundaki pirit-altın birlikteliği

Cevher yatağına ait kaynak kestirim raporundaki bilgilere göre bu cevher yatağının büyük bir kısmının “sülfürlü zondan” oluştuğu bilinmektedir. Altın tanelerinin ise özellikle pirit ile bağlı/kapanım olarak bulunduğu yapılan mineralojik karakterizasyon çalışmaları sonucu belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında, pirit hedef mineral olarak kabul edilerek piritin tüm zonlar içerisindeki serbestleşme durumu incelenmiştir. Ayrıca MLA analiz sonucunda, altının sadece sülfürlü ve geçiş zonlarında görüldüğü, görülen altının da %100 pirit ile ikili bağ yaptığı belirlenmiştir. Şekil 6.7’de her zon için piritin iki farklı fraksiyondaki serbest/bağıllık durumları verilmektedir. Serbestleşme analizine göre pirit -106+53 μm fraksiyonunda tüm zonlarda %77’nin üzerinde bir serbestleşmeye sahiptir. Daha ince fraksiyon olan -53+20 μm ’da ise bu değer %91’in üzerinde çıkmaktadır.



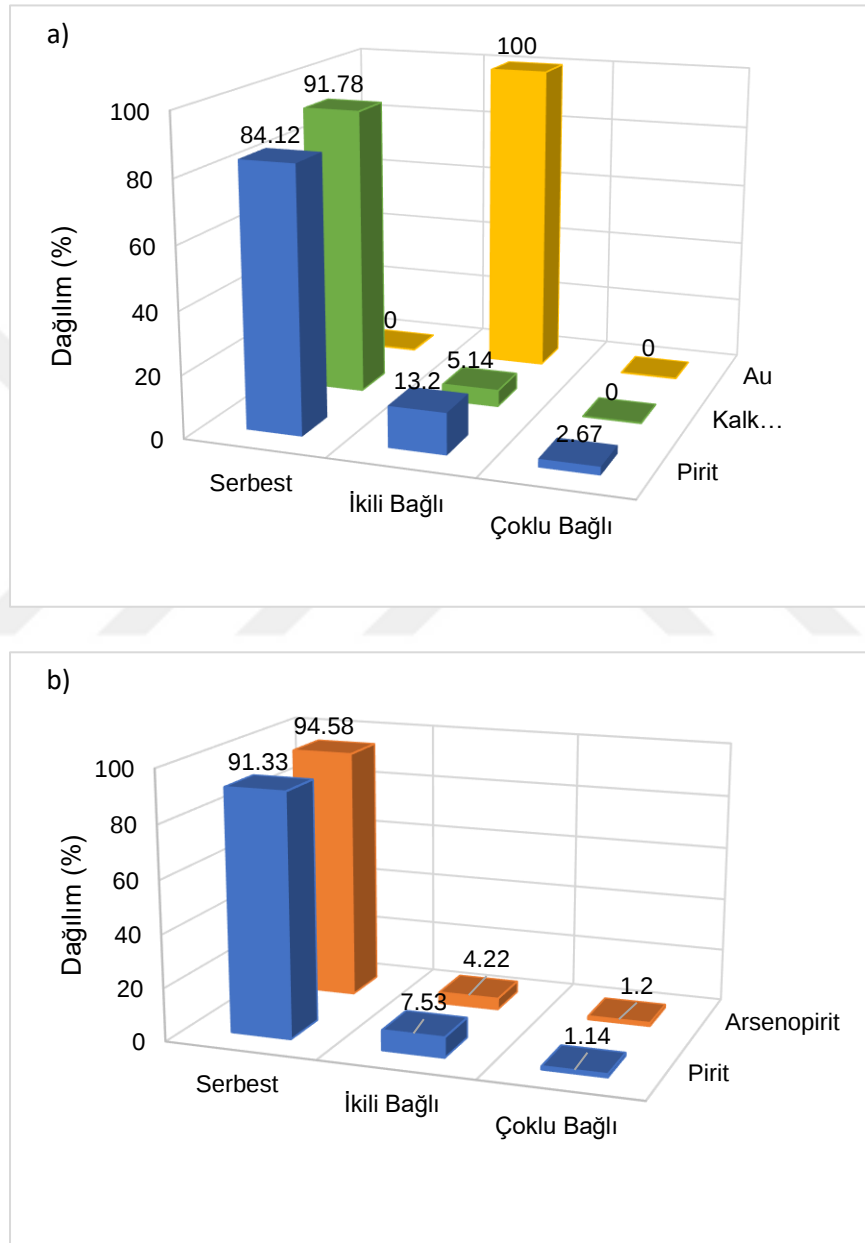
Şekil 6.7. Her zondaki pirit mineralinin serbestleşme ve bağıllık durumu a) sülfürlü zon b) geçiş zonu c) oksitli zon

Sülfürlü zona ait sülfürlü minerallerin (pirit, arsenopirit, sfalerit ve galen) serbestleşme durumu incelendiğinde, her iki fraksiyonda da (106+53 μm ve -53+20 μm) %70'in üzerinde serbestleşme olduğu Şekil 6.8'de görülmektedir. Sülfürlü zonun sadece ince fraksiyonunda (-53+20 μm) görülen altının ise %100 oranında ikili bağlı olduğu formda olduğu belirlenmiştir.



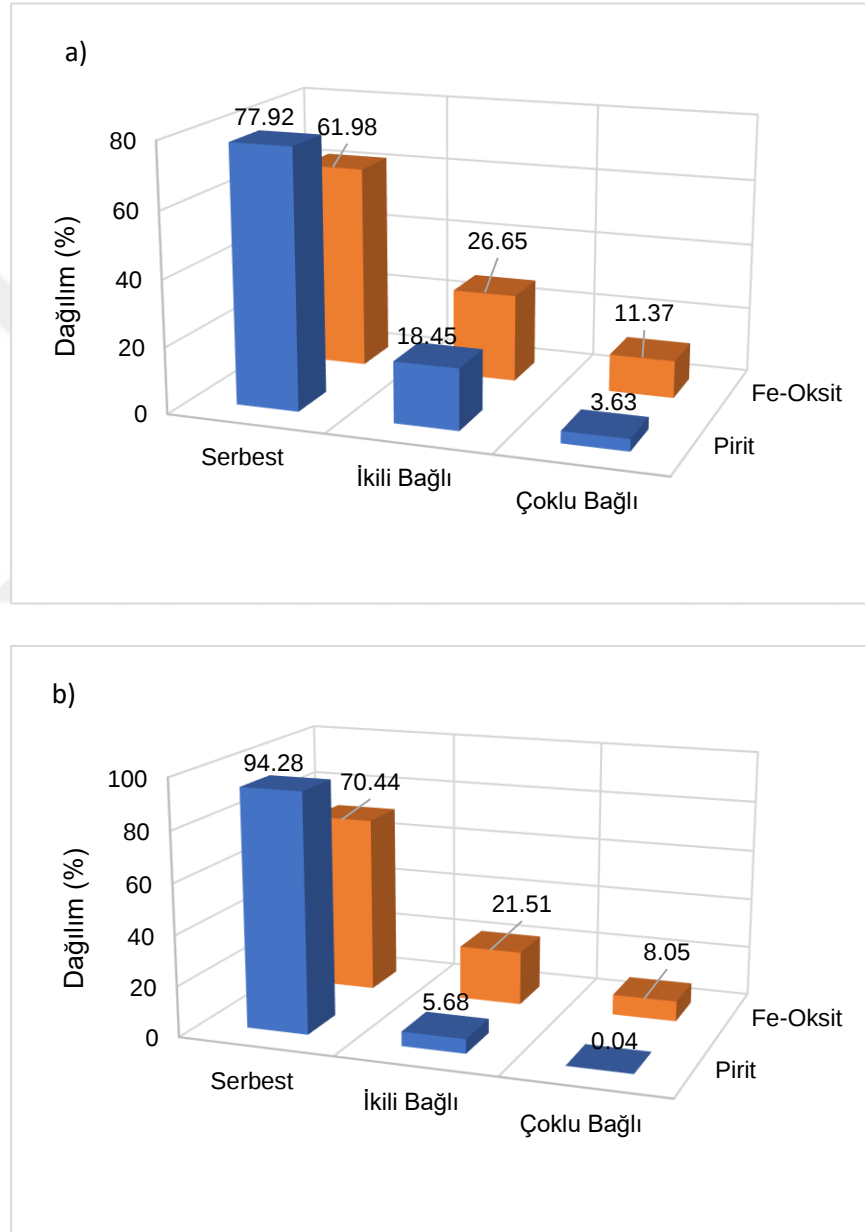
Şekil 6.8. Sülfürlü zon fraksiyonlarındaki minerallerin serbestleşme durumu a) 106+53 fraksiyonu b) -53+20 fraksiyonu

Geçiş zonuna ait sülfürlü minerallerin (pirit ve kalkopirit) serbestleşme durumu incelendiğinde, her iki fraksiyonda da %80'in üzerinde serbestleşme olduğu, -53 μm 'da bu oranın %91'in üzerine çıktığı Şekil 6.9'da görülmektedir. Geçiş zonunun sadece iri fraksiyonunda görülen altının ise %100 oranında ikili bağlı olduğu saptanmıştır.



Şekil 6.9. Geçiş zonu fraksiyonlarındaki minerallerin serbestleşme durumu a) 106+53 fraksiyonu b) -53+20 fraksiyonu

Oksitli zona ait pirit ve FeOx'lerin serbestleşme durumu incelendiğinde, her iki fraksiyonda da piritin, FeOx'lere kıyasla daha çok serbestleştiği görülmektedir. Ancak Şekil 6.5'te verilen ortalama modal mineraloji verilerine göre pirit mineralinin miktarı sadece %0,9'dur. FeOx miktarı ise %10,5 kadardır. FeOx'lerin iri fraksiyonda serbestleşme derecesi %60'larda kalırken ince fraksiyonda bu değer %70'lere yükselmektedir (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. Oksitli zon fraksiyonlarındaki minerallerin serbestleşme durumu a) 106+53 fraksiyonu b) -53+20 fraksiyonu

Altınla ilişkili pirit, FeOx gibi minerallerin serbestleşme durumlarının yanı sıra hangi minerallerle ikili ve çoklu bağlı durumda oldukları da MLA analizi kapsamında incelenmiştir. Çizelge 6.8’de piritin tüm zonlardaki minerallerle bağlılık durumu özetlenmektedir. Özellikle sülfürlü zonda daha yüksek olmakla birlikte diğer zonlarda da yüksek oranda serbestleşme gösteren pirit daha çok kuvars, FeOx ve K-feldspatla ikili bağlı halde bulunmaktadır.

MLA analizinde az sayıda sayılabilen altın tanelerinin bağlılık durumları incelendiğinde sülfürlü ve geçiş zonunun her ikisinde de altının sadece pirit minerali ile bulunduğu ve tane alanının sadece $0 < x < 15$ kısmındaki serbestleşme sınıfında olduğu saptanmıştır (Çizelge 6.9). Bu anlamda özellikle flotasyonda piritin konsantrede kazanılması altın verimi açısından önem arz etmektedir.

Kimyasal analiz sonucunda oksitli zonda altın tespit edilmesine rağmen MLA analizinde altın tanelerine rastlanmamıştır. Ancak, AMTEL’de yapılan analizlerde oksitli zonda altının submikroskobik formda ve genelde FeOx’ler ile bulunduğu rapor edilmiştir (Şekil 6.2). Buna göre, MLA analizinde belirlenen FeOx’lerin muhtemelen altın içerdiği düşünülerek bağlılık durumları da incelenmiştir. Çizelge 6.10’da verilen sonuçlardan FeOx’lerin piritte göre daha az serbestleşme gösterdiği, kuvars, Sb-oksit, K-feldspat gibi minerallerle hem ikili hem de çoklu bağlı tane formunda olup daha kompleks bir mineraloji sergilediği görülmektedir.

Çizelge 6.8. Piritin tüm zonlardaki ikili ve çoklu bağlılık durumu

Fraksiyon, µm		İkili Bağlı (%)							Çoklu Bağlı (%)	Toplam
		Serbest	Kuvars	Galen	K-Feldspat	Arsenopirit	Muskovit	Diğerleri		
Sülfürlü Zon	-106+53	89,79	4,67	0,15	1,89	0,56	0,82	0,91	1,21	100
	-53+20	93,20	3,02	0,30	0,71	0,47	0,36	1,31	0,63	100
Geçiş Zonu	-106+53	Serbest	Kuvars	Fe-Oksit	K-Feldspat	Arsenopirit	Au	Diğerleri		
	-53+20	84,12	6,72	1,75	0,95	0,36	0,05	3,38	2,67	100
Oksitli Zon	-106+53	91,33	3,26	1,15	0,88	0,56	0,00	1,68	1,14	100
	-53+20	Serbest	Kuvars	Fe-Oksit	K-Feldspat	Arsenopirit	Jarosit	Diğerleri		
	-106+53	77,92	6,30	8,60	2,47	0,74	0,00	0,34	3,63	100
	-53+20	94,28	0,49	0,96	0,09	0,65	3,01	0,48	0,04	100

Çizelge 6.9. Altının tüm zonlardaki ikili ve çoklu bağlılık durumu

Fraksiyon, µm		Serbest	İkili Bağlı (%)	Çoklu Bağlı (%)	Toplam
			Pirit		
Sülfürlü Zonu	-53+20	0	100	0	100
	-106+53	0	100	0	100

Çizelge 6.10. Fe-oksitin oksitli zondaki ikili ve çoklu bağlılık durumu

Fraksiyon, µm		Serbest	İkili Bağlı (%)					Çoklu Bağlı (%)	Toplam
			Kuvars	Sb Fe Oksit	K-Feldspat	Muskovit	Kaolinit		
Oksitli Zonu	-106+53	61,98	10,31	2,15	6,68	1,84	1,52	4,15	11,37
	-53+20	70,44	5,51	5,04	5,70	1,11	1,16	3,00	8,05

6.2. Zenginleştirme Testlerinin Sonuçları

Zenginleştirme testleri kapsamında yapılan şişe çevirme, sallantılı masa ve çoğunlukla flotasyon testlerinin sonuçları aşağıda belirtilen başlıklar altında verilmektedir.

6.2.1. Şişe Çevirme Testleri

Cevher yatağını temsil eden 48 adet karot numunelerine uygulanan bu testte zonlardaki altın içeriğinin refrakterlik durumunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Numuneler yatağın farklı derinliklerden ve lokasyonlarından alınmıştır. Yaklaşık üç ay süren şişe çevirme testleri sonrası her üç zonun liç verimlerinin oldukça değişkenlik gösterdiği ve bu değişkenliğin özellikle derinlikle herhangi bir ilişkisinin bulunmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 6.11'de oksitli zona ait farklı derinlik ve lokasyonlardan alınan 9 adet numunenin şişe çevirme test sonuçları verilmektedir. Siyanür liçi sonucunda liç verimleri %9 ile %79,6 arasında değişmekte olup, ortalama verim ise %56,5 olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 6.11. Oksitli zona ait şişe çevirme test sonuçları

Zon	Başlangıç (m)	Bitiş (m)	Besleme Tenörü (g/t)	Liç Verimi (%)
Oksitli	65,5	69,5	0,36	9,0
	14	16,8	0,45	18,6
	28,5	30,5	0,62	24,0
	37,8	49,7	0,53	56,8
	1,9	4,2	0,84	65,3
	9,3	11,3	0,83	70,0
	18,5	23,5	0,24	72,5
	24,5	29,5	0,6	76,5
	22,1	33,8	0,87	79,6

Çizelge 6.12’de sülfürlü zona ait farklı derinlik ve lokasyonlardan alınan 32 adet numunenin şişe çevirme test sonuçları verilmektedir. Siyanür liçi sonucunda liç verimleri %8,6 ile %72,6 arasında değişmekte olup, ortalama verim ise %38,3 olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 6.12. Sülfürlü zona ait şişe çevirme test sonuçları

Zon Adı	Başlangıç (m)	Bitiş (m)	Besleme Tenörü (g/t)	Liç Verimi (%)
Sülfürlü	285,5	288,5	0,57	8,6
	113	129	0,41	10,1
	55,6	62,4	0,43	11,5
	100	106,4	0,55	11,5
	77,8	103,8	0,41	11,8
	258,3	263,4	0,62	13,9
	119,8	123,5	0,67	14,2
	137,8	147,4	0,44	14,7
	76,1	82,2	0,19	16,9
	252	260	0,40	17,1
	211,6	219	0,58	17,7
	122,3	127,2	0,64	17,8
	215,4	224,4	0,45	18,5
	173,4	181,2	0,48	18,7
	230,7	238,7	0,45	22,5
	146,1	160,1	0,59	23,7
	145	150,1	0,36	25,1
	117	126,1	0,62	26,1
	196,4	212,6	0,44	26,8
	91,1	109,1	0,76	29,5
	168	179	0,45	33,6
	258,9	268,9	0,58	36,3
	170,2	176	0,74	43,1
	159	165,4	0,59	45,6
	191	208,3	1,22	56,7
	177,9	180,9	1,30	57,0
	130,3	135,5	1,00	58,3
	212	221,8	1,31	64,1
	213,5	216,5	0,73	64,5
	152,1	166,2	0,85	67,1
	176	203,6	1,14	68,4
	183	188	0,59	72,8

Çizelge 6.13'te geçiş zonuna ait farklı derinlik ve lokasyonlardan alınan 7 adet numunenin şişe çevirme test sonuçları verilmektedir. Siyanür liçi sonucunda liç verimleri %10,6 ile %74 arasında değişmekte olup, ortalama verim ise %39,6 olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 6.13. Geçiş zonuna ait şişe çevirme test sonuçları

Zon	Başlangıç (m)	Bitiş (m)	Besleme Tenörü (g/t)	Liç Verimi (%)
Geçiş	70,7	75,8	0,53	10,6
	44,2	56	0,31	14,0
	129,7	137,8	1,51	39,2
	102,3	112,4	1,11	47,6
	70,1	72,7	0,38	55,3
	115,6	128,4	0,43	58,0
	75,3	79,5	0,04	74,0

Mineralojik analizler sonucu cevher içerisinde siyanisit veya 'preg-robbing' durumuna neden olacak karbonlu yapıların bulunmadığı bilinmektedir. Bu sebeple numunelerin düşük siyanür tüketimi ve düşük/orta altın çözünme verimleri göz önüne alındığında bu cevher yatağı "refrakter" olarak kategorize edilmektedir.

6.2.2.Sallantılı Masa Testi

Altın içerikli FeOx'lerin yerçekimi zenginleştirme ile kazanılabileceği düşüncesiyle oksitli zona yapılan sallantılı masa deneyi sonuçları Çizelge 6.14'te verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde sallantılı masa konsantresinin Au tenörü 25,9 g/t; Au verimi ise %52,7 olduğu görülmektedir. Her ne kadar bu testte kullanılan beslemenin Au içeriği ortalamaya göre yüksek olsa da verim istenen değere ulaşmamaktadır. Malzemenin %33 kadarı şlam boyutunda 1,4 g/t Au tenörü ve %20,9 Au verimiyle atılmaktadır. Bu da submikroskobik boyda bulunan altının şlam fraksiyonu ile kaybedildiğini göstermektedir. Bu sonuçlara göre her ne kadar konsantre tenörü ~26 g/t'a yükseltirse de görece düşük verim ve şlamda kaybedilen fraksiyon göz önüne alındığında yerçekimiyle zenginleştirme testi tek başına yeterli bir sonuç vermemektedir.

Altının serbest derecesi ve beraber bulunduğu diğer minerallerin yoğunlukları yerçekimi ile zenginleştirmede oldukça önemlidir. Çoğu mineral altından daha hafiftir. Eğer altın taneleri yeterince serbest bırakılmamışsa hafif mineraller ile beraber atıkta veya şlam yoluyla kaybedilmektedir [1].

Çizelge 6.14. Oksitli zonun sallantılı masa testi sonucu

Sallantılı Masa Testi	Ağırlık, %	Au, g/t	As, %	S, %	Verim, %		
					Au	As	S
Temsili numune (-500 µm)	100	2,1	0,3	0,3	100	100	100
Şlam	32,7	1,4	0,4	0,4	20,9	54,7	42,8
Besleme	67,3	2,5	2,7	0,3	79,1	67,3	57,2
Konsantre	4,3	25,9	0,04	1,0	52,7	0,1	14,2
Ara ürün	45,8	0,9	3,9	0,2	20	48,5	30,4
Atık	17,2	0,7	0,2	0,2	6,3	1,6	12,6

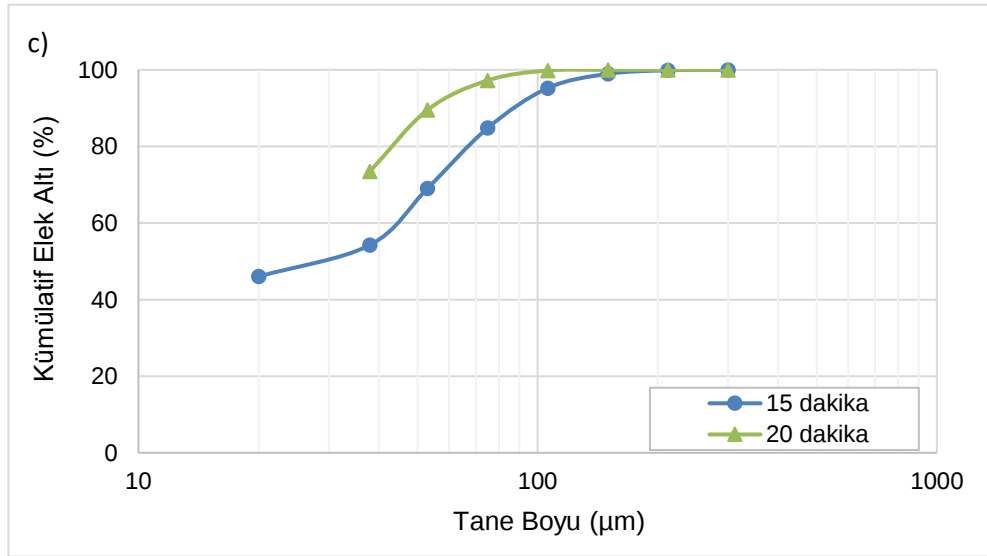
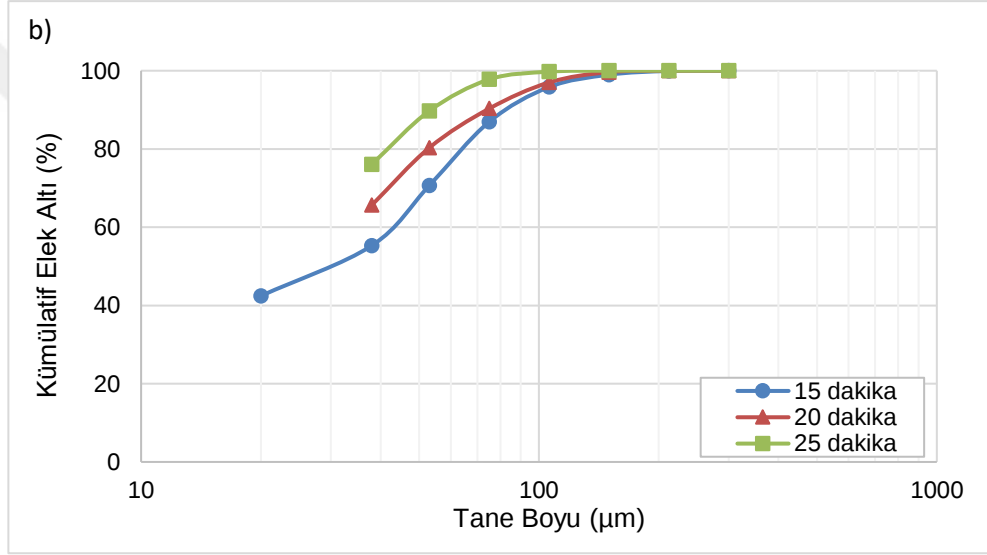
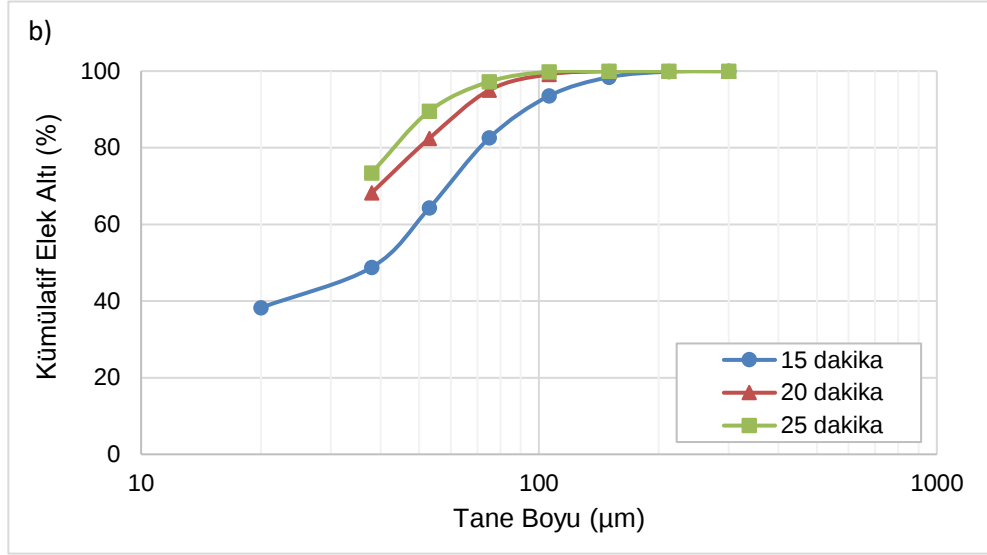
6.2.3. Flotasyon Testleri

Flotasyon testleri kapsamında, Gold Department çalışmasından elde edilen mineralojik bilgiler kullanılarak cevherlerin flotasyon davranımını anlayabilmek amacıyla önce ön testler yapılmıştır. Daha sonra MLA analiz sonuçları gözetilerek flotasyon koşulları detaylandırılmıştır. Her teste ilişkin flotasyon deney koşulları EKLER kısmında verilmiştir.

6.2.3.1. Ön Testler

Ön testler kapsamında ilk olarak öğütme kalibrasyonu yapılmıştır. Sülfürlü ve geçiş zonları sırasıyla 15, 20 ve 25 dakika süreyle öğütülmüştür. Oksit zon ise 15 ve 20 dakika süreyle öğütülmüştür. Şekil 6.11’de her zon için tane boyu dağılımları verilmektedir.

Sülfürlü mineraller için canlandırıcı olarak kullanılan CuSO_4 etkisini incelemek amacıyla bakır sülfatlı/bakır sülfatsız iki adet test yapılmıştır. CuSO_4 ilavesinin piritin flotasyon verimini artırdığı dolayısıyla altın verimini de etkilediği bilinmektedir [56,64,65]. CuSO_4 ilaveli testin koşullandırma aşamasında 250 g/t CuSO_4 ilave edilmiştir. Test sonuçlarına göre CuSO_4 ilavesinin olmadığı koşulda altın verimi daha yüksek olmaktadır (Çizelge 6.15). Yapılan daha önceki çalışmalarda yüksek miktar CuSO_4 kullanımının flotasyon verimini azaltarak Au flotasyonunu olumsuz etkilediği görülmüştür [22,47,67,68,69,70]. Cu miktarının artması hava kabarcığı ile mineral arasındaki temas açısını arttırmaktadır. Bunun sonucunda hava kabarcıkları birleşerek çökme eğilimi göstermektedir [70]. Bir başka çalışmada ise Cu miktarının artması ile sürüklemenin (entrainment) de artarak refrakter altının sürüklenme ile köpük zonuna geleceği böylece altın taşıyan sülfürlü minerallerin hava kabarcığına tutunma olasılıklarının azalacağı belirtilmiştir [21, 47]. Bu çalışmada ise CuSO_4 eklemenin olumlu bir etki yaratmamasının nedeni olarak mineral yüzeylerinde oksitli bir yapının olmaması gösterilebilir. EDTA sonuçlarında da önemli bir oranda oksitlenmeye rastlanmamıştır.



Şekil 6.11. Öğütme kalibrasyon a) sülfürlü zon b) geçiş zonu c) oksitli zon

Çizelge 6.15. CuSO₄ ilavesinin flotasyon verimine etkisi

Flotasyon Koşulu	Au Verim (%)
CuSO ₄ ilavesi var	94,5
CuSO ₄ ilavesi yok	97,0

Palp pH'sının flotasyona ve özellikle altın verimine etkisini incelemek için hem asidik (pH: ~6) hem de alkali (pH ~9) değerlerinde iki test yapılmış, sonuçları Çizelge 6.16'da verilmiştir. Buna göre özellikle altın kazanımı için alkali pH'da çalışılması gerektiği belirlenmiştir. Ksantatlar asidik pH'ta daha kararsızdır ve bu nedenle asit devrelerinde verimi olumsuz yönde etkilemektedir [35]. Owusu [45], ksantat ile farklı pH'larda (5-5.5, 8-8.5 ve 10-10.5) yaptığı bir çalışmada sırasıyla %43, %91 ve %85 Au verimleri elde etmiştir. Tıpkı bu tez çalışmasındaki gibi pH ~8'da en iyi sonucu alırken asidik pH'ta oldukça düşük bir verim elde etmiştir [45].

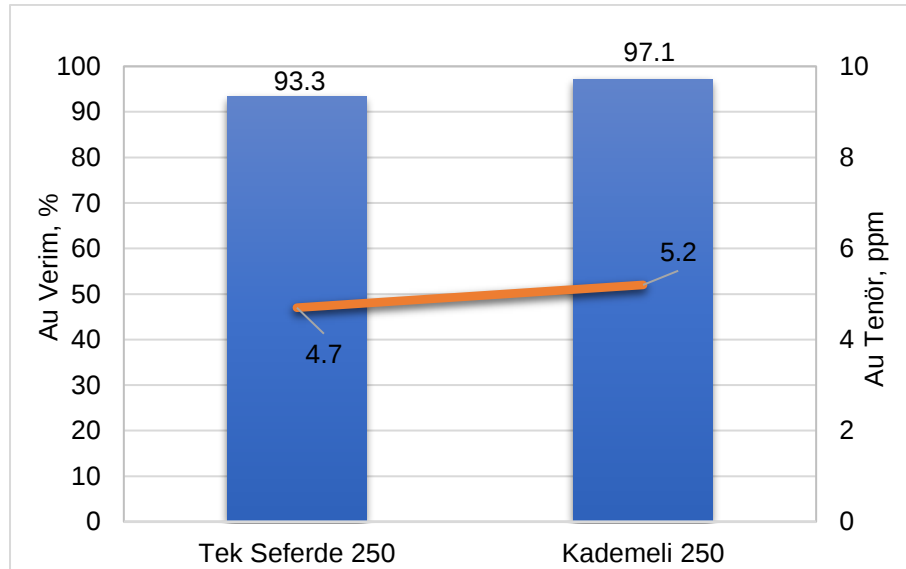
Çizelge 6.16. Asidik ve alkali pH'nın flotasyon verimine etkisi

Flotasyon Koşulu	Au Verim (%)
Asidik pH	36,6
Alkali pH	97,0

6.2.3.2. Sülfürlü Zon

Sülfürlü zon flotasyon çalışmaları kapsamında ilk olarak güçlü bir toplayıcı olan KAX ile farklı dozajlarda (200 ve 250 g/t) kinetik testler yapılmıştır. Sülfürlü zona yapılan mineralojik analizlerde serbestleşme değerinin 53 μm 'den daha ince boylarda arttığı görülmüştür. Bu sonuç göz önüne alınarak numuneler p80: -53 μm olacak şekilde flotasyon testleri öncesinde 20 dakika öğütülmüştür. Her 2 dakika boyunca 15 saniyede bir köpük sıyrılarak konsantre alınmış toplam 10 dakika boyunca kinetik flotasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda 200 g/t KAX kullanıldığı durumda birikimli konsantrenin Au verimi %93, Au tenörü 5,3 g/t olarak hesaplanmıştır. KAX miktarının artması ile Au verimi %97,1'e yükselirken Au tenörü 5,2 g/t olarak fazla bir değişikliğe uğramamıştır. Bu nedenle diğer testler için toplayıcı miktarının 250 g/t olarak kullanılması uygun görülmüştür.

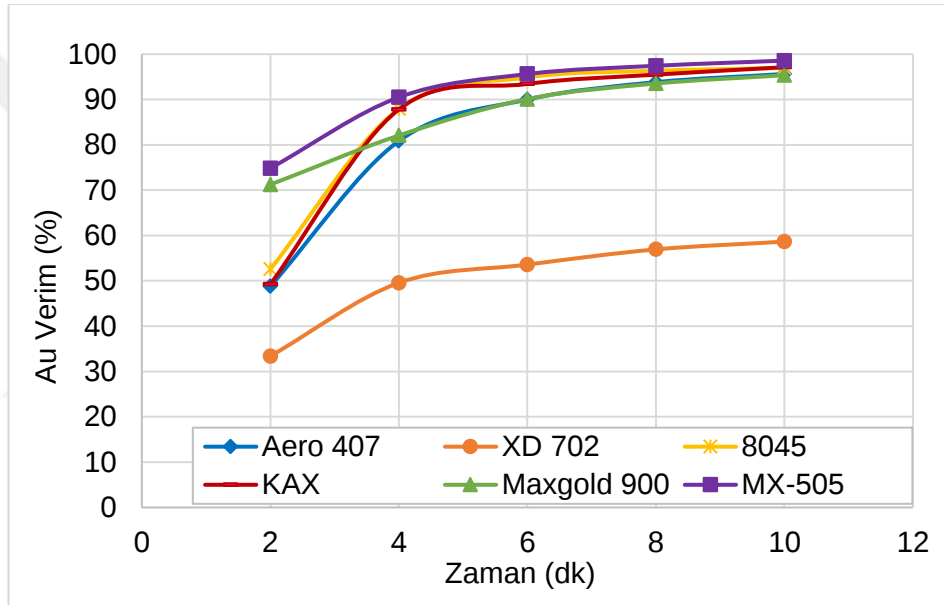
Toplayıcının flotasyon hücrelerine tek seferde ya da kademeli olarak eklendiğinde Au verim ve tenörünün nasıl değiştiği de incelenmiştir. Şekil 6.12'de verilen grafikte, toplayıcının aynı dozajda kademeli olarak eklendiğinde aynı flotasyon süresinde daha iyi bir performans gösterdiği kaydedilmiş, bundan sonraki testlerde de toplayıcıların kademeli olarak eklenmesine karar verilmiştir.



Şekil 6.12. Toplayıcı dozajının tek seferde ya da kademeli eklenmesinin etkisi

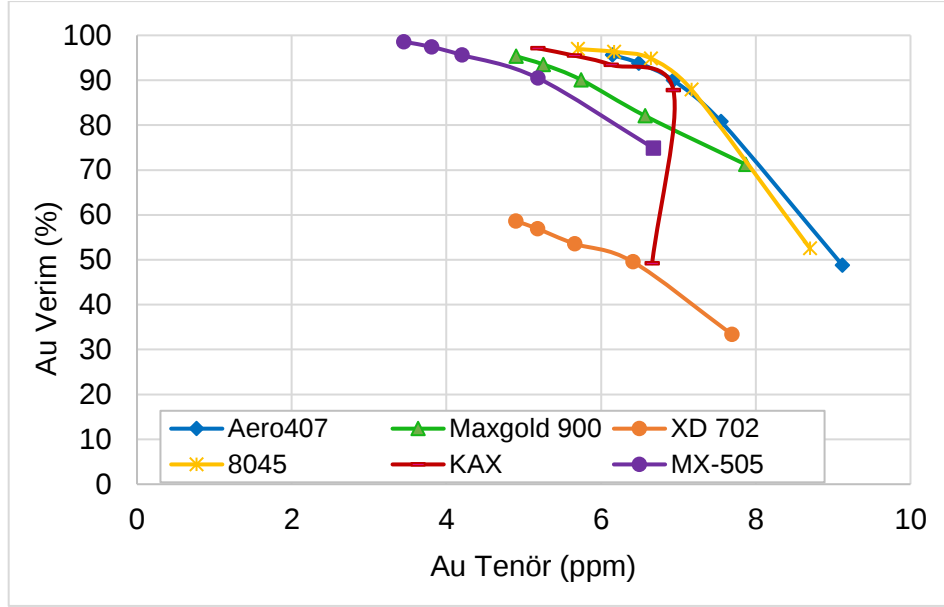
Toplayıcı miktarının sülfürlü zon için 250 g/t olarak kullanımına karar verilmesinin ardından altın ve pirit flotasyonunda verimli sonuçlar verdiği bilinen beş farklı toplayıcı eşliğinde kinetik testler yapılmıştır.

Seçilen toplayıcılar ile yapılan kinetik testler KAX ile yapılan kinetik test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Zamana karşı Au verim grafiği (Şekil 6.13) incelendiğinde en yüksek verim (%98,6) MX-505 ile en düşük verim ise (%60) XD-702 toplayıcısı ile elde edilmiştir. KAX, Aero 8045 ve Aero 407'nin flotasyon davranımı özellikle ilk dakikalardaki konsantreler gözetildiğinde benzer olduğu ancak birikimli konsantrede KAX ve Aero 8045'in %97 oranında verim değerine ulaştığı görülmüştür.



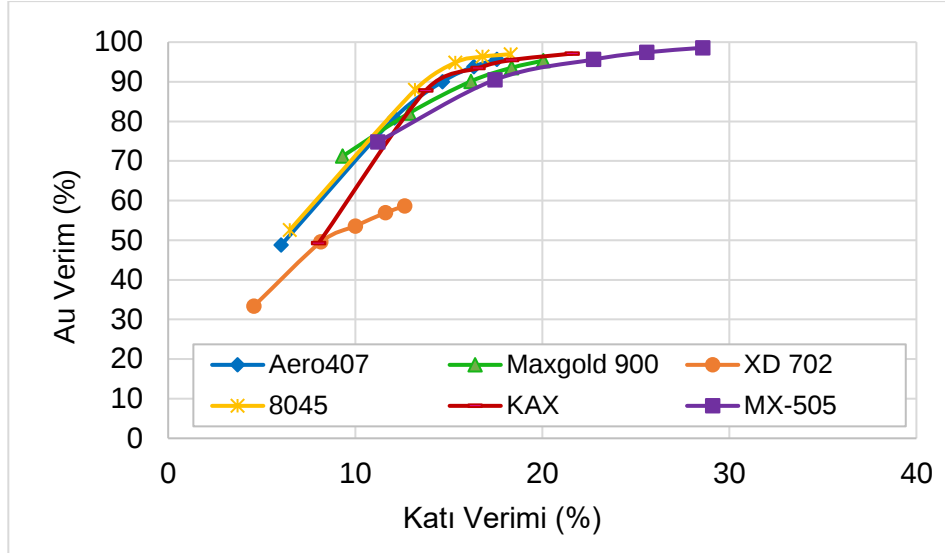
Şekil 6.13. Sülfürlü zon için farklı toplayıcılar kullanıldığında Au verim ve zaman ilişkisi

Şekil 6.14'te farklı toplayıcıların Au verim ve Au tenör grafiğindeki karşılaştırması gösterilmektedir. Aero 8045 ve Aero 407'nin diğer toplayıcı tiplerine göre daha seçimli olduğu birikimli konsantrede Au tenörünün sırasıyla 5,7 g/t ve 6,1 g/t değerlerine yükseldiği görülmektedir.



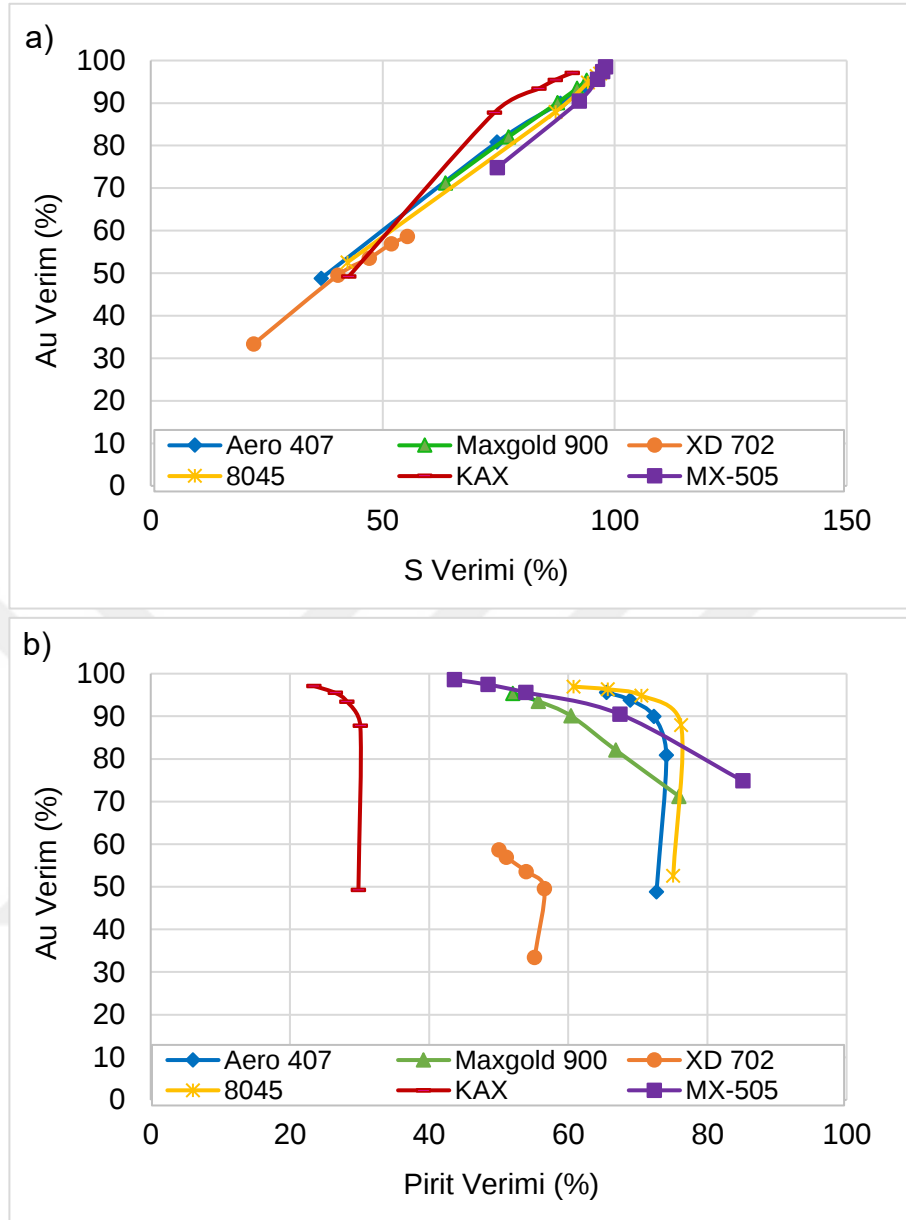
Şekil 6.14. Sülfürlü zon için farklı toplayıcılar kullanıldığında Au verim ve altın tenör ilişkisi

Konsantreye gelen katı veriminin en yüksek olduğu test ise MX-505'in kullanıldığı çalışmadır (Şekil 6.15). MX-505 kullanıldığında en yüksek Au verimi kaydedilmiştir, ancak katı veriminin yükselmesi aynı zamanda piritten başka minerallerin de konsantreye kazanıldığını ve dolayısıyla konsantrenin kirlendiği anlamına gelmektedir. Şekil 6.14'te Au verim-Au tenör grafiğinde de görüldüğü üzere birikimli konsantrenin tenörü MX-505 kullanıldığında 3,4 g/t'a kadar düşmektedir. Buna göre yüksek katı veriminde Au verimi de artmakta ancak Au tenörü azalmaktadır. Benzer yüksek Au verimleri düşük katı verimleri ile Aero 8045 ve Aero 407 toplayıcılarıyla ulaşıldığı görülmektedir.



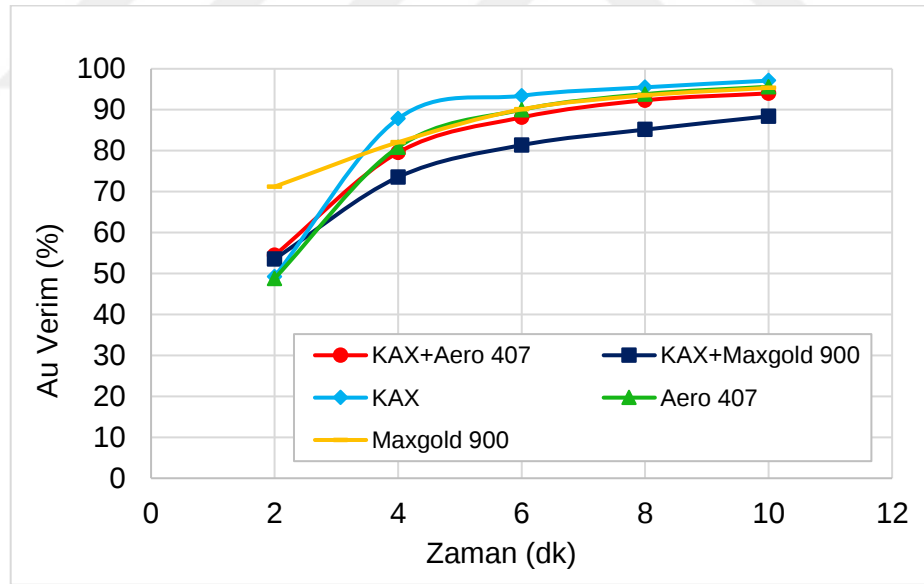
Şekil 6.15. Sülfürlü zon için farklı toplayıcılar kullanıldığında katı verim ve Au verim ilişkisi

Şekil 6.16'da farklı toplayıcılar kullanıldığı durumdaki Au ve sülfür (S) ile Au ve pirit mineralinin verim ilişkileri sunulmaktadır. Bu grafikler incelendiğinde altının sülfür ile hareket ettiği gözlenmektedir (Şekil 6.16a). Mineralojik analiz sonuçlarına göre altın pirit ile bağlıdır. Mineralojik analiz bulgusunu destekleyen bu verilere göre hangi toplayıcı ile ne kadar piritin konsantreye geldiği de grafikleştirilmiştir (Şekil 6.16b). Buna göre Au içeren hedef mineral piritin konsantrede alınmasında yine Aero 407 ve Aero 8045 toplayıcılarının daha etkin olduğu görülmektedir.

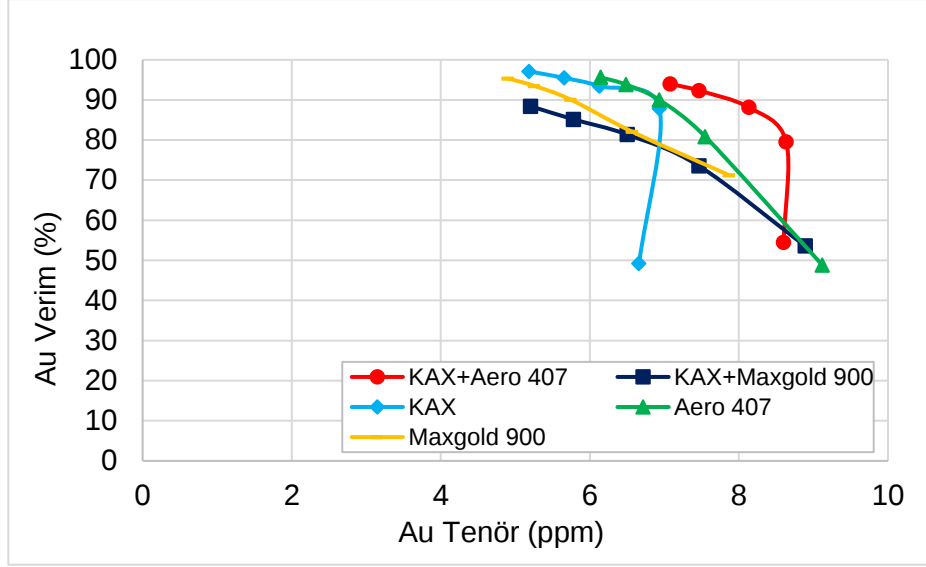


Şekil 6.16. Sülfürlü zon için farklı toplayıcılar kullanıldığında (a) Au-S ve (b) Au-pirit ilişkisi

Tek başına denenen toplayıcı testlerinden sonraki aşamada toplayıcıların birlikte kullanılmasının Au veriminde bir sinerjik etki yaratıp yaratmadığı incelenmiştir. Bu kapsamda birlikte kullanılacak toplayıcı tiplerinin görece ucuz maliyetli ve güçlünün yanında selektif türde bir ikinci toplayıcı olması tercih edilmiştir. Aero 8045 tek başına oldukça yeterli sonuçlar vermektedir. Bu nedenle toplayıcı karışımlarında KAX'ın yanına Aero 407 ve Maxgold 900 toplayıcıları eklenerek testlere devam edilmiştir. İlk testte KAX (125 g/t) + Aero 407 (125 g/t) kullanırken diğer testte KAX (125 g/t) + Maxgold 900 (125 g/t) toplayıcıları kullanılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, KAX+Aero 407 karışımı için aynı sürede birikimli konsantride %94 Au verimine ulaşılırken KAX+Maxgold 900 karışımında bu değer %88.4'te kalmaktadır (Şekil 6.17). Au tenör açısından da yine KAX+Aero 407 karışımı daha iyi sonuç vermektedir (Şekil 6.18). Aynı zamanda Aero 407 ve KAX'ın ayrı ayrı kullandığı testler ile bu kollektörlerin beraber kullanıldığı testler karşılaştırıldığında sinerjik etki ile beraber Au tenöründe en yüksek tenör değerinin alındığı (7,1 g/t) belirlenmiştir.

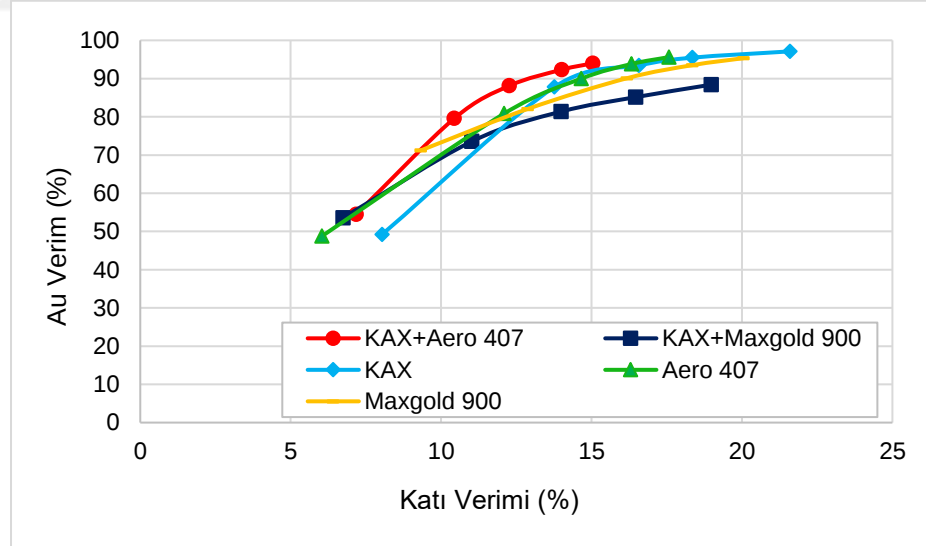


Şekil 6.17. Sülfürlü zon için toplayıcı karışımının Au verim ve zaman ilişkisi



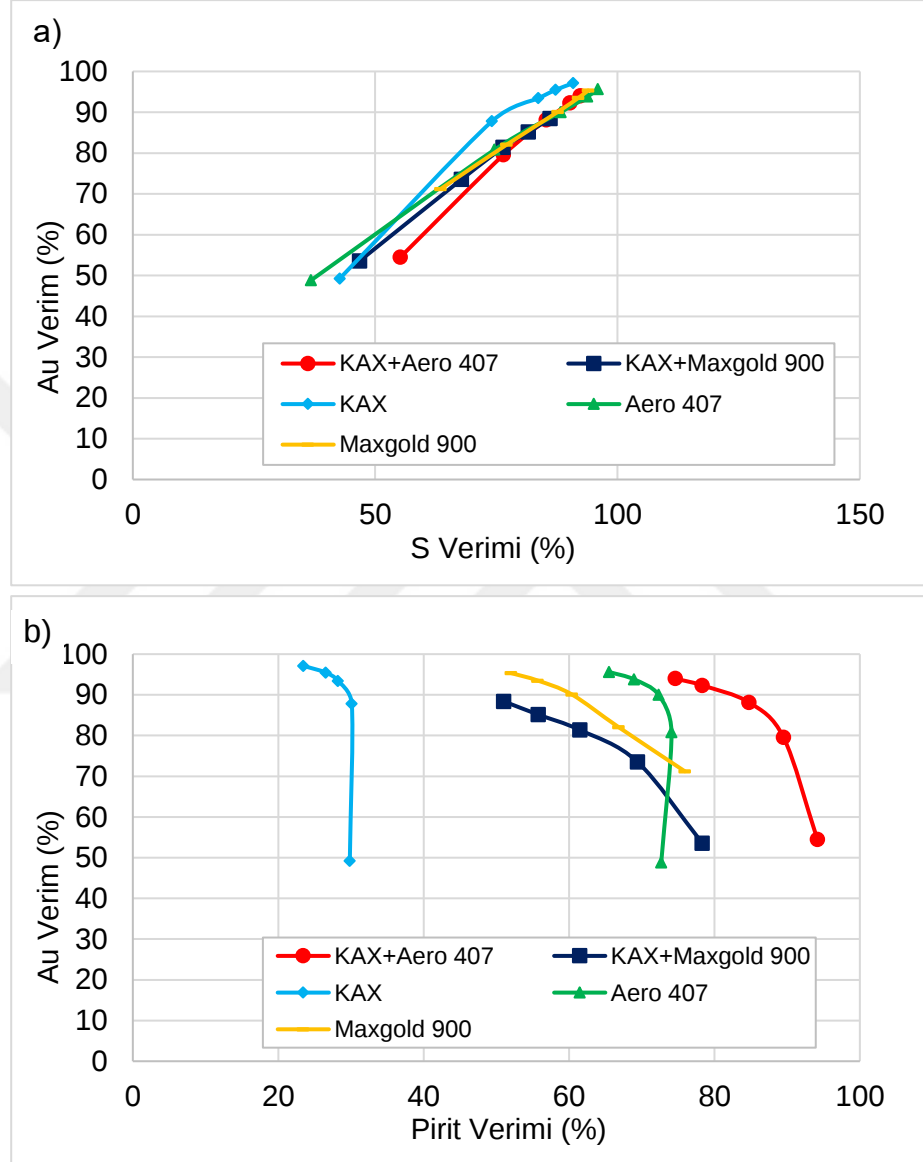
Şekil 6.18. Sulfürlü zon için toplayıcı karışımının Au verim ve Au tenör ilişkisi

Katı verim ile Au verim ilişkisini gösteren grafikte (Şekil 6.19) KAX+Maxgold 900 karışımının daha yüksek katı verimi sağladığı ancak buna rağmen Au verimini KAX+Aero 407 kadar arttırmadığı da görülmektedir.



Şekil 6.19. Sulfürlü zon için toplayıcı karışımının katı verim ve Au verim ilişkisi

Toplayıcı karışımları için sülfür ve pirit veriminin Au verimi ile karşılaştırması Şekil 6.20'de verilmektedir. Diğer grafiklerde olduğu gibi altının sülfür ile hareket ettiği (Şekil 6.20a) ve piritte daha seçimli olan karışımın KAX+Aero 407 (Şekil 6.20b) olduğu görülmektedir.

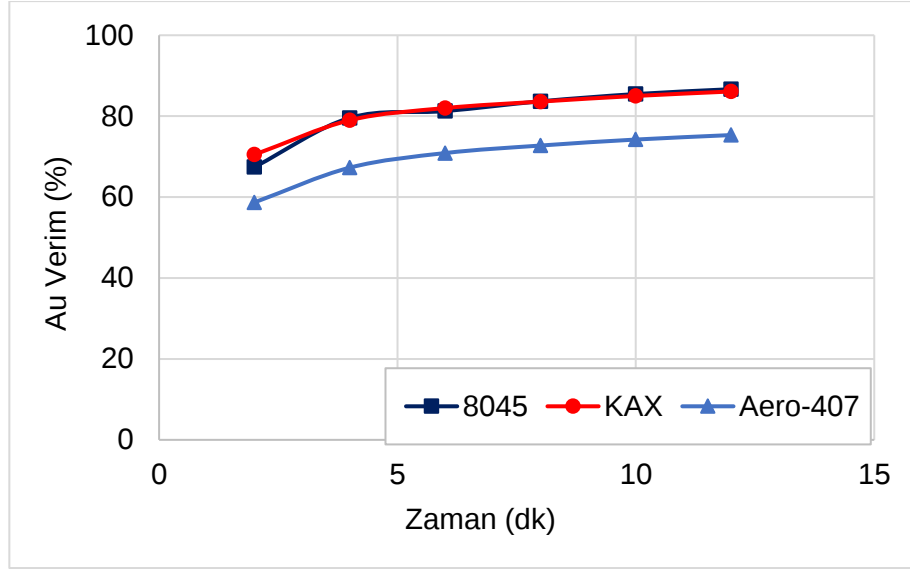


Şekil 6.20. Sülfürlü zon için toplayıcı karışımı kullanıldığında (a) Au-S ve (b) Au-pirit ilişkisi

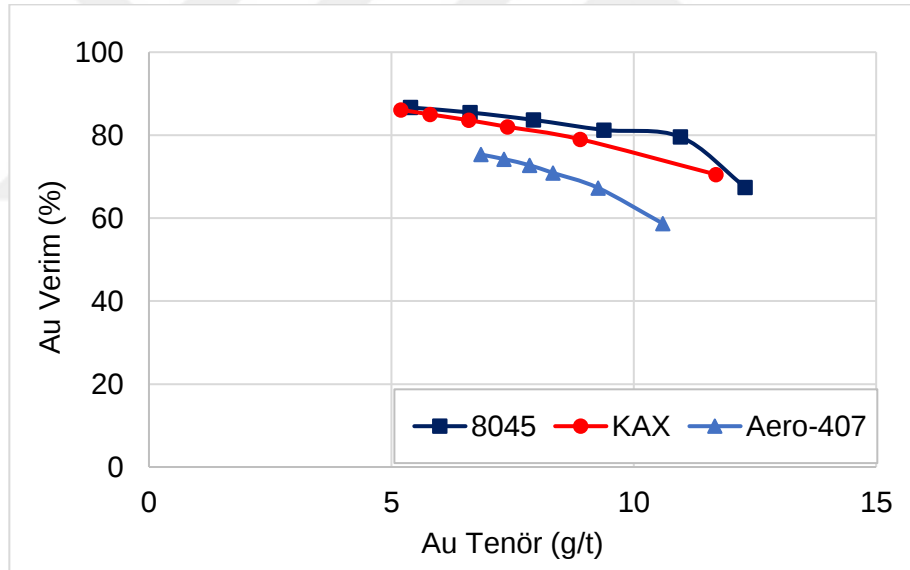
6.2.3.3. Geçiş Zonu

Geçiş zonunun flotasyon çalışmaları kapsamında daha önce sülfürlü zon için karar verilen KAX dozajında (250 g/t) bir flotasyon testi yapılmıştır. Mineralojik ve kimyasal analiz sonuçlarına göre geçiş zonunun sülfürlü zona göre hem Au içeriği az hem de Au içeren piritin serbestleşmesi az olup bağlı tane sayısı daha fazladır. Bu verilere göre ve altının submikroskobik formda olması nedeniyle numune yine paslanmaz çelik çubuklu değirmende p80 değeri yaklaşık -42,3 µm olacak şekilde 25 dakika öğütülmüştür. KAX'ın 250 g/t kademeli eklendiği bu test sonucunda birikimli konsantride Au verimi %77,4 ve Au tenörü ise 3,3 g/t olarak kaydedilmiştir. Daha ince tane boyuna inilmesine rağmen verim ve tenörde düşük değerler elde edilmesinin toplayıcı dozajı ile ilgili olup olmadığı ikinci bir test koşulunda denenmiş, KAX dozajı yine kademli olarak 300 g/t değerinde eklenmiştir. KAX dozajını artırmanın flotasyonun ilk dakikalarından itibaren yüzme kinetiğini artırdığını ve Au verimini %86.1'e yükselttiği görülmüştür. KAX miktarının artması ile verimin yanı sıra Au tenöründe de yükselme kaydedilmiş birikimli konsantride Au tenörü 5,2 g/t olarak kaydedilmiştir. Bu nedenle, sülfürlü zona göre daha az miktarda pirit içeren geçiş zonunun diğer testleri için toplayıcı miktarının 300 g/t olarak kullanılması uygun görülmüştür.

Geçiş zonu için toplayıcı miktarının 300 g/t olarak kullanımına karar verilmesinin ardından sülfürlü zon için denenen ve verim-tenör açısından en olumlu sonuçların alındığı Aero 8045 ve Aero 407 toplayıcılarıyla kinetik testler yapılmıştır. Sonuçlar verim açısından incelendiğinde KAX ve Aero 8045 toplayıcılarının benzer sonuçlar verdiği gözlenmiştir (Şekil 6.21). Aero 407 toplayıcısı kullanıldığında ise birikimli konsantride en yüksek tenör sonucu (6,9 g/t) elde edilmiştir (Şekil 6.22).

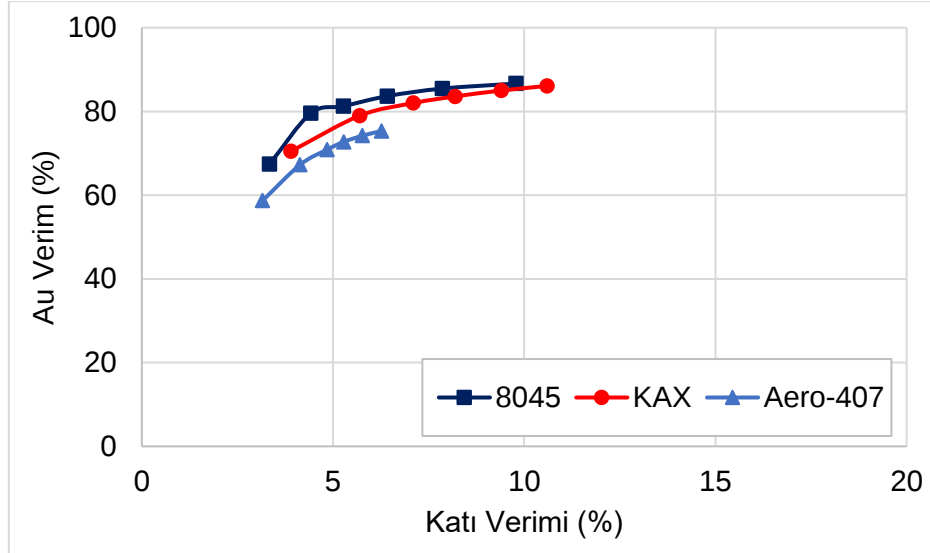


Şekil 6.21. Geçiş zonu için farklı toplayıcılar kullanıldığında Au verim ve zaman ilişkisi



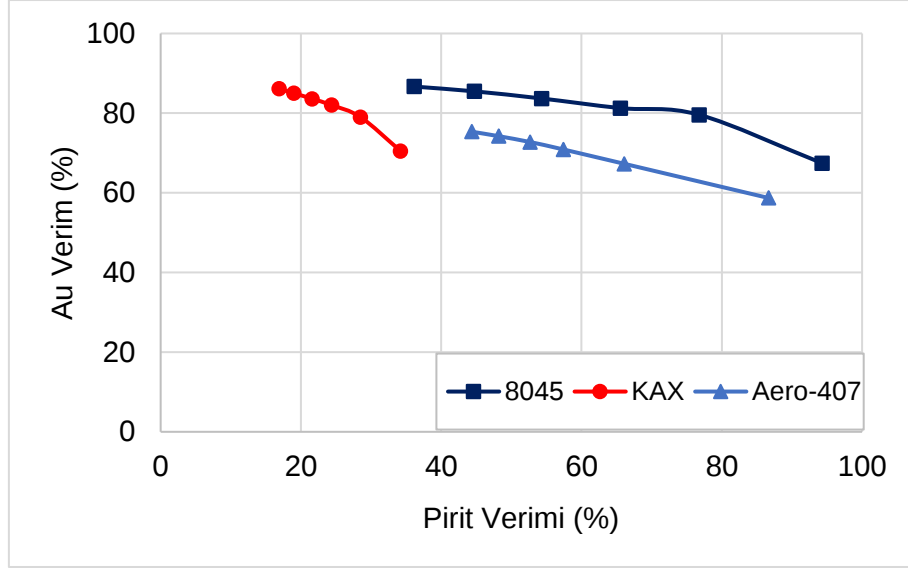
Şekil 6.22. Geçiş zonu için farklı toplayıcılar kullanıldığında Au verim ve tenör ilişkisi

Şekil 6.23'te katı verim ve Au ilişkisi verilmektedir. Aero 8045 toplayıcısının Au verimi açısından daha olumlu sonuçlar verdiği bu grafiklerden de görülmektedir. En yüksek tenör (6,9 g/t) en az katı verime neden olan Aero 407 ile elde edilmiştir.



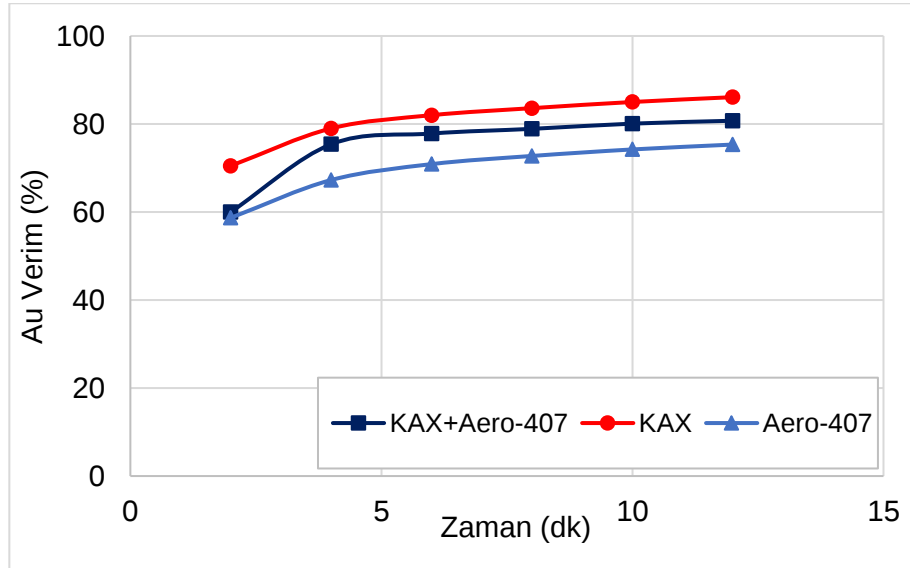
Şekil 6.23. Geçiş zonu için farklı toplayıcılar kullanıldığında katı verim ve Au verim ilişkisi

Şekil 6.24'te, bu üç toplayıcının pirit verimine karşı Au verimi ilişkisi gösterilmektedir. Aero 8045 toplayıcısının KAX ile karşılaştırıldığında aynı Au verim değerinde Au içeren pirit tanelerini daha iyi konsantride topladığı görülmektedir.



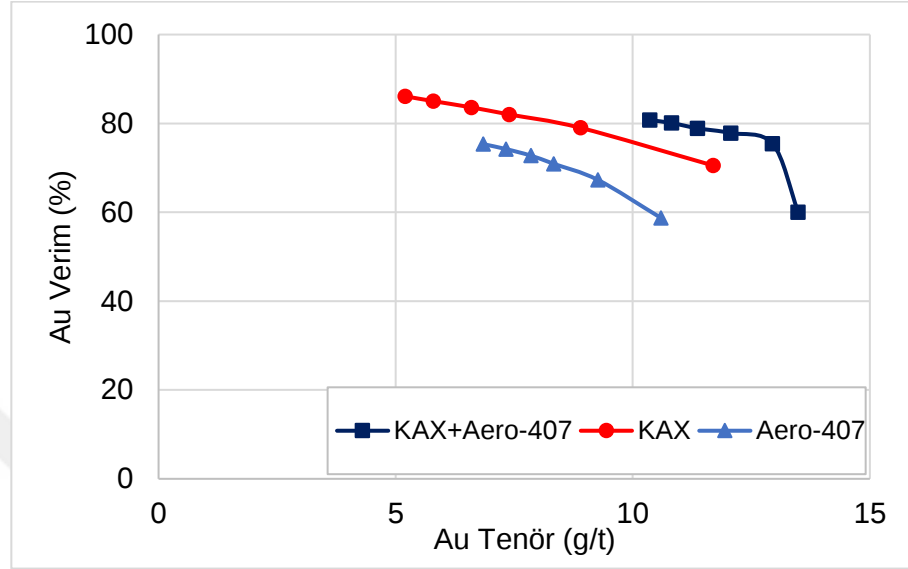
Şekil 6.24. Geçiş zonu için farklı toplayıcılar kullanıldığında Au-pirit ilişkisi

Sülfürlü zon için denenen toplayıcı karışımlarında en olumlu sonucun KAX+Aero 407 karışımı ile elde edilmesi üzerine, geçiş zonu numunesi için de aynı yaklaşımla flotasyon testi yapılmıştır. Test sonuçları incelendiğinde KAX+Aero 407 beraber kullandığı testin Au verim değeri %80,7, Au tenör değeri ise 10,4 g/t yükselmiştir (Şekil 6.25). Özellikle sonuçları Au tenörü açısından bu iki toplayıcının ayrı ayrı kullanıldıkları duruma göre daha iyi bir tenörde konsantre elde edilmiş ancak verimde arada bir değerde kaldığı görülmüştür.

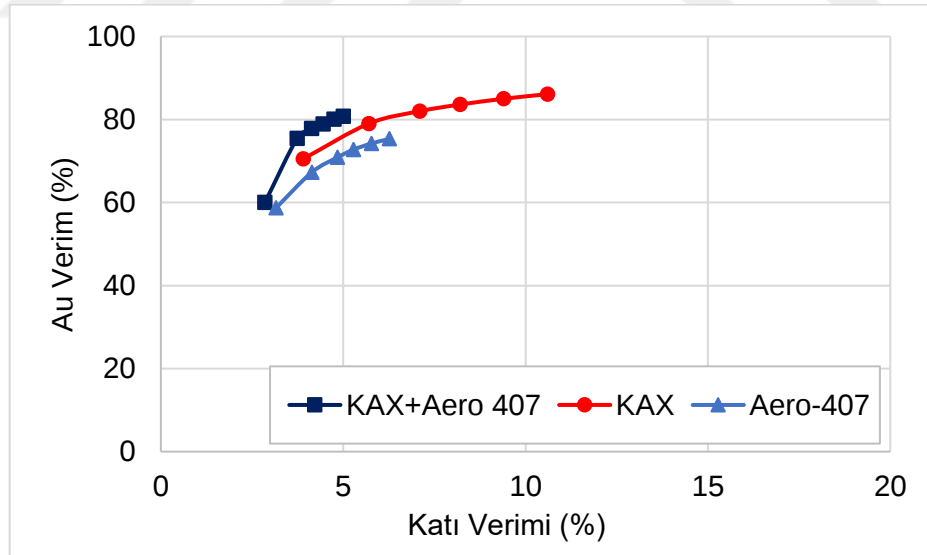


Şekil 6.25. Geçiş zonu için toplayıcı karışımının Au verim ve zaman ilişkisi

Au verim-Au tenör ve katı verim-Au verim ilişkileri grafikleri sırasıyla Şekil 6.26 ve Şekil 6.27'de verilmektedir. Özellikle Aero 407 kullanımının etkisi seçimli olarak Au içeren pirit tanelerini konsantrede topladığı Şekil 6.27'deki düşük katı veriminden de anlaşılmaktadır.



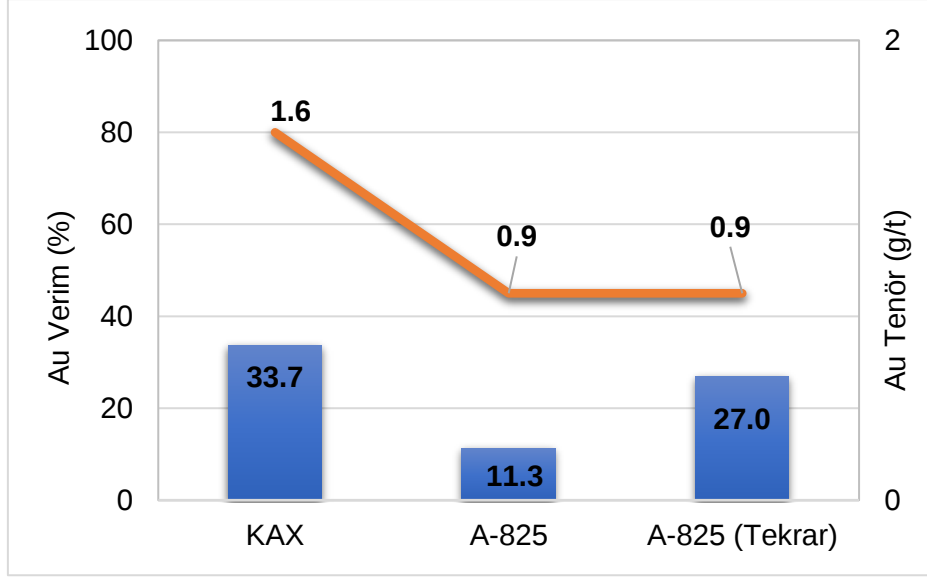
Şekil 6.26. Geçiş zonu için toplayıcı karışımının Au verim ve Au tenör ilişkisi



Şekil 6.27. Geçiş zonu için toplayıcı karışımının katı verim ve Au verim ilişkisi

6.2.3.4. Oksitli Zon

Mineralojik ve kimyasal analiz sonuçlarına göre oksitli zon içerisinde S ve Au içeriği az olup sülfürlü mineral eser miktardadır. Kanada'da yapılan mineralojik analiz sonuçlarına göre az da olsa saptanan Au taneleri FeOx mineralleri ile beraber görünmektedir. Bu verilere göre ve altının submikroskobik formda olması nedeniyle numune yine paslanmaz çelik çubuklu değirmende p80 değeri yaklaşık -43 µm olacak şekilde 20 dakika öğütülmüştür. Oksit zonunun, sülfürlü ve geçiş zonlarıyla paçal yapılması durumunda sülfürlü mineral flotasyonuna nasıl tepki vereceği hakkında fikir edinebilmek için deneme amaçlı bir test yapılmış, KAX 250 g/t kademeli olarak eklenerek birikimli konsantrede Au verimi %33,7 ve Au tenörü ise 1,6 g/t olarak kaydedilmiştir. Daha sonraki aşamada ise altının FeOx mineralleriyle bağlı olduğu bilgisine dayanarak bu mineralleri yüzdürme amaçlanmıştır. FeOx mineral flotasyonunda yaygın olarak kullanılan petrol bazlı sülfonat tipi toplayıcı olan A-825 asidik ortamda denenmiştir [40,67]. İlk testte 500 g/t kadar A-825 toplayıcısı 20 dakika boyunca koşullandırılmış, pH 4.5-5 aralığında 10 dakika boyunca flotasyon yapılmıştır. Test sonucunda her ne kadar katı verimi numunede bulunan FeOx minerallerinin verimiyle örtüşse de, Au verimi %11,3 değerinde kalmıştır. Beslemede 0,67 g/t Au tenörü konsantrede ancak 0,9 g/t değerine yükselmiştir. Bu başarısız denemeden sonra, koşullandırma işlemi daha yüksek katı oranında (~%50) tekrar edilerek pH 5.0-5.5 aralığında flotasyon yapılmıştır. A-825 toplayıcısı 500 g/t dozajında kullanılmıştır. Şekil 6.28'de oksitli zon için yapılan flotasyon testlerine ait verim ve tenör değerleri karşılaştırılmaktadır.



Şekil 6.28. Oksitli zon flotasyon test sonuçları (KAX ve Aero 825)

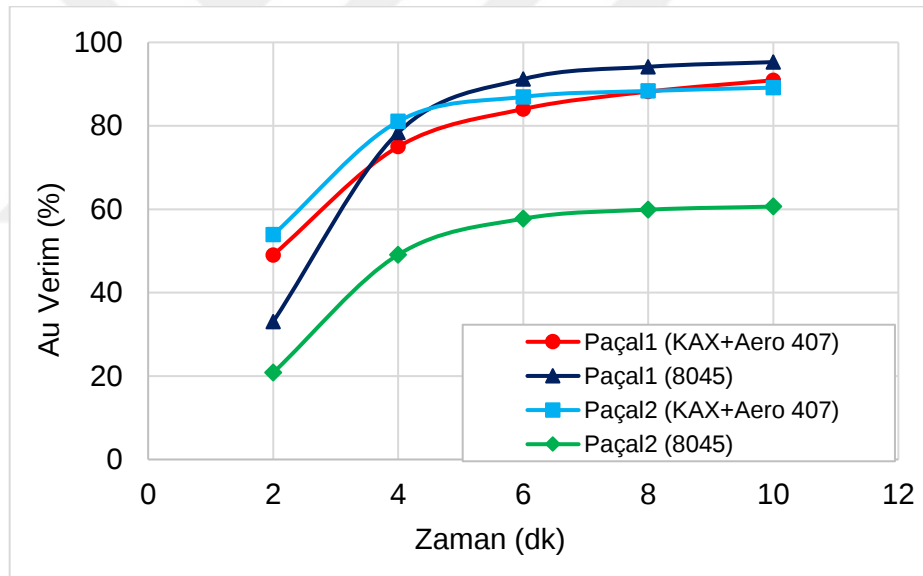
Yukarıdaki şekil incelendiğinde sülfürlü mineral flotasyonu sonrası düşük kalan verim-tenör değerlerinin yükselmesi amacıyla yapılan oksitli mineral flotasyonunda da düşük verim ve tenör değerleri elde edilmiştir. Aero 825 ile yüksek katı oranında koşullandırma yapılan test ile Aero 825'in bir önceki test sonuçları karşılaştırıldığında tenör de herhangi bir değişikliğin yaşanmadığı ancak verim de %27 oranında bir artışın yaşandığı görülmektedir. Buna neden olan şeyin katı veriminde yaşanan artış olduğu (%8,6'dan %22,2) düşünülmektedir. Elde edilen bu sonuçlardan; KAX ile elde edilen daha yüksek verim ve tenörün, altının sadece FeOx mineralleriyle birlikte bulunmadığı için yüksek olabileceği ya da Aero825 dozajının yeterli gelmediği için tüm FeOx mineral tanelerini konsantrede toplayamadığı yorumları yapılabilir. Özellikle bu zon için submikroskobik boyda bulunan altının EMPA ya da lazer ablasyon yöntemleriyle daha detaylı karakterize edilmesi önerilebilir.

6.2.3.5. Paçal Numuneler

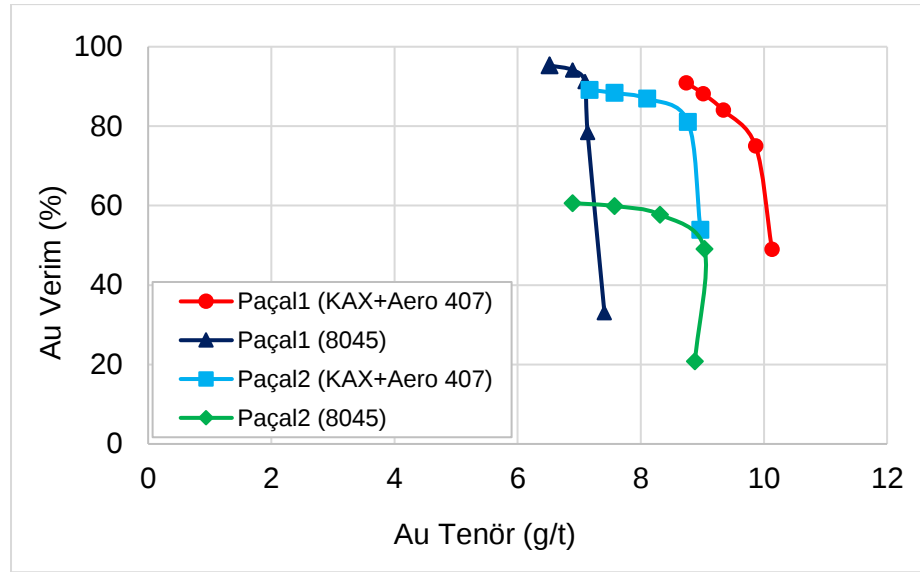
Cevher yatağında tanımlanan bu üç zonun birlikte tesiste işlenmesi durumunda nasıl bir flotasyon davranımı göstereceği her zon için yapılan flotasyon testlerinin ardından araştırılmıştır. Bu kapsamda sülfürlü, geçiş ve oksitli olarak tanımlanan zonların cevher yatağına ait son kaynak kestirim raporunda belirtildiği rezerv miktarı oranlarınca karıştırılması uygun görülmüştür. Dolayısıyla flotasyon testi

için hazırlanan besleme numunesinde sülfürlü zondan %83 ve geçiş zondan %7 karıştırılarak bir paçal ve bu paala daha sonra oksitli zondan %10 oranında malzeme ilave edilerek başka bir paçal numune hazırlanmıştır.

Kimyasal ve mineralojik olarak sülfürlü ve geçiş zonları birbirine benzemektedir. Bu nedenle, bu iki zon birleştirilerek Paal1 olarak adlandırılan bir karışım numune hazırlanmıştır. Karışım oranı rezerv durumuna sabit kalınarak hesaplanmıştır. Diğer Paal2 olarak adlandırılan numune karışımının amacı ise tesiste oksit zonunun bu paala zaman içinde harmanlanma olasılığını araştırmaktır. Bu kapsamda her iki paçal numuneleri için en olumlu sonuçların elde edildiği tek başına Aero 8045 toplayıcısı ve KAX+Aero-407 toplayıcı karışımları denemiştir. şekil 6.29'da zamana bağlı Au verimi, şekil 6.30'da ise Au verim-Au tenör grafikleri sunulmaktadır.



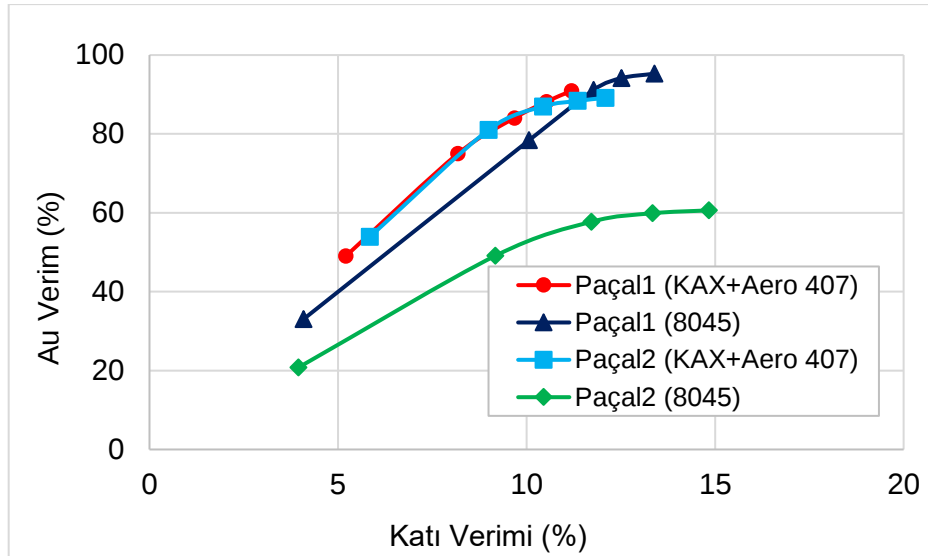
şekil 6.29. Paçal numuneleri için zamana bağlı Au verim ilişkisi



Şekil 6.30. Paçal numuneleri için Au verim ve Au tenör ilişkisi

Yukarıdaki şekiller incelendiğinde toplayıcıların Paçal1 ve Paçal2 üzerinde farklı etkileri olduğu görülmektedir. Paçal1 için yüksek verim Aero 8045 (%95,3) elde edilirken Paçal2 için KAX+Aero 407 ile yapılan test daha yüksek verim (%89,2) sonucu vermektedir. Aynı zamanda Paçal2'nin Aero 8045 ile yapılan flotasyon testi sonrası hem Au veriminde (%60,6) hem de Au tenöründe (6,9 g/t) ciddi bir azalma yaşanmıştır. Paçal1 ve Paçal2 genel olarak karşılaştırıldığında her iki durum için de KAX+Aero 407 ile yapılan testlerin daha seçimli sonuç verdiği görülmektedir. Sülfürlü ve geçiş zonunun karıştırılması ile verim açısından oldukça başarılı sonuçlar elde edilirken oksitli zondan numune eklenerek Aero 8045 kullanıldığı zaman Au veriminde oldukça ciddi azalma yaşanmıştır.

Şekil 6.31'de katı verim ve Au verim ilişkisi verilmiştir. Şekil incelendiğinde hem Paçal1 hem de Paçal2 için Aero 8045 tipi toplayıcının kullanıldığı durumlarda KAX+Aero 407'nin beraber kullanıldığı duruma göre daha az katı verimi elde edilmiştir.



Şekil 6.31. Paçal numuneleri için katı verim ve Au verim ilişkisi

Paçal numunelerine yapılan kaba flotasyon testlerinden sonra konsantrenin nihai tenörünün artabileceği düşüncesiyle açık devre temizleme flotasyon testleri yapılmıştır. Mineralojik analiz sonuçlarına göre zonların modal mineralojilerinde sülfürlü olmayan gang olarak adlandırılan ve miktarca bol bulunan silikat minerallerinin varlığı bilinmektedir. Flotasyon numunelerinin analizlerinden yola çıkılarak bu minerallerin bir miktar konsantreye geldiği sonucuna varılmıştır. Yapılan iki kademe temizlemenin Au içeren pirit konsantresinin özellikle tenöründe bir iyileşme yapıp yapmayacağı araştırılmak istenmiştir. Bu kapsamda, Paçal1 olarak adlandırılan sülfürlü ve geçiş zonunun karışımına iki ayrı temizlemeli flotasyon testleri yapılmıştır. İlk testte kaba flotasyonda KAX+Aero 407 toplayıcı karışımı ve ardından temizleme flotasyonu yapılmış, ikinci testte ise sadece Aero 8045 toplayıcısı kullanılmış ve yine temizleme aşaması uygulanmıştır. KAX+Aero 407 ile yapılan temizleme sonrası Au tenörü 8 g/t, Au verimi ise %41,6 olmuştur. Aero 8045 ile yapılan temizleme sonrası ise Au tenörü 6,5 g/t'dan 8,1 g/t'a yükselmiş ve Au verimi ana beslemeye göre %50,7 olmuştur. Au tenöründe beklenen artışın yaşanmaması altının oldukça kenetli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Kaba flotasyon sonrası malzemenin çok ince öğütülerek (re-grind) yapılacak temizlemenin daha iyi sonuçlar verebileceği öngörülmektedir.

7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı, Anadolu Levhasının orta kesiminde, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay hatları arasında bulunan Kırşehir masifinin önemli bir bölümünü kaplayan altın içeren cevher yatağının karakterizasyonu ve buna yönelik zenginleştirme özelliklerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda, öncelikle cevher yatağının farklı lokasyonlarından alınan sondaj karotlarına AMTEL laboratuvarlarında detaylı mineralojik analizler yapılmış ve cevher yatağı içerdiği mineral sınıflarına/miktarlarına göre sülfürlü, geçiş ve oksitli olmak üzere üç farklı zona bölünmüştür. Çalışmanın devamında her üç zondan temsili numuneler toplanmış ve metalürjik zenginleştirme testleri için örnekler MTA laboratuvarlarında MLA analizine tabi tutulmuştur. Detaylı karakterizasyon çalışmalarının ardından her üç zon için de altının siyanür liçine tepkisini ölçmek ve refrakterliğini tanımlamak için şişe çevirme testleri (bottle-roll test), ve her cevher zonu için farklı koşullarda flotasyon testleri yapılmıştır. Oksitli zon için ayrıca yerçekimiyle zenginleştirme kapsamında sallantılı masa testi de uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmektedir:

- ✓ Au içeren cevher yatağının her üç zonunda da tenör değerleri oldukça düşük olup sülfürlü, geçiş ve oksitli zonları için sırasıyla 1,13 g/t, 0,71 g/t ve 0,76 g/t olarak ölçülmüştür.
- ✓ Her üç zonun modal mineralojisinde majör mineraller olarak kuvars ve feldispat saptanmış, sülfürlü ve geçiş zonundaki ana sülfürlü mineralin ise pirit olduğu belirlenmiştir. Bu iki zonda nabit altının tamamen pirit minerali ile bağlı olduğu ve tane boyunun da genelde <10 µm olduğu MLA görüntülerinden saptanmıştır. Oksit zonunda ise altının submikroskopik boyda olduğu ve FeOx mineralleriyle birlikte bulunduğu Kanada'da yapılan analiz sonucunda belirtilmiştir. Ancak, MTA'da yapılan MLA analizinde altın içeren tanelere rastlanmamıştır.
- ✓ Zonlardaki altın içeriğinin refrakterlik durumunun belirlenmesi amacıyla cevher yatağını temsil eden toplamda 48 adet numuneye şişe çevirme test yapılmıştır. Sülfürlü, geçiş ve oksit zonları için ortalama Au verim değerleri sırasıyla %38,3, %56,5 ve %39,6 olarak hesaplanmıştır. Zonların düşük

altın çözünme verimleri cevher yatağının refrakter olarak sınıflandırılabilceğini göstermiştir.

- ✓ Oksitli zon için yapılan sallantılı masa testi sonucunda Au konsantre tenörü 25,9 g/t; Au verimi ise %52,7 olarak belirlenmiştir. Bu testte kullanılan besleme numunesi yatağın daha zengin bölgesinden gelmiş olsa da Au verimi istenen değere ulaşamamıştır. Malzemenin %33 kadarı çok ince boyutta (şlam) 1,4 g/t Au tenör ve %20,9 Au verim ile kaybedilmiştir. Bu da submikroskopik boyda bulunan altının şlam olarak kaybedildiğini ve böylece yerçekimiyle zenginleştirme testinin tek başına yetersiz kaldığı göstermiştir.
- ✓ Flotasyon testeri kapsamında ilk olarak öğütme kalibrasyonu ve cevherin flotasyon davranımını öğrenebilmek amacıyla sülfürlü zon için bazı ön testler yapılmıştır. Ön testler kapsamında bakır sülfatın (CuSO_4) etkisi ve flotasyon pH'sı incelenmiştir. Test sonuçlarına göre CuSO_4 ilavesinin olmadığı koşulda altın veriminin daha yüksek olduğu ve yüksek miktarda CuSO_4 ilavesinin flotasyon verimini olumsuz etkilediği gözlenmiştir. Palp pH'sının flotasyon verimine etkisini incelemek amacıyla yapılan testte ise cevherin doğal pH'sında (pH ~9) altın kazanımının daha iyi olduğu belirlenmiştir.
- ✓ Sülfürlü zon flotasyon çalışmaları kapsamında ilk olarak güçlü bir toplayıcı olan KAX (potasyum amil ksantat) ile farklı dozajlarda ve ekleme koşullarında kaba flotasyon kinetik testleri yapılmıştır. Testler sonucunda 250 g/t KAX kullanılması durumunda Au veriminin %97,1'e yükseldiği ve toplayıcının aynı flotasyon süresi ve aynı dozajda kademeli olarak eklenmesi ile daha iyi bir performans gösterdiği kaydedilmiştir.
- ✓ Farklı toplayıcıların flotasyon verimi üzerine etkilerini incelemek amacıyla literatürde pirit ve Au için yararlı olduğu bilinen toplayıcılar ile sülfürlü zon için kinetik testler yapılmıştır. Bu kapsamda Aero 407, Aero 8045, Maxgold 900, XD 702 ve MX 505 tipi toplayıcılar kullanılmış; elde edilen veriler KAX ile yapılan kinetik test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. XD 702 toplayıcısının %60 verim ile en düşük değere sahip olduğu gözlenmiştir. KAX, Aero 8045 ve Aero 407'nin flotasyon davranımının özellikle ilk dakikalardaki konsantreler gözetildiğinde benzer olduğu ancak birikimli olarak

incelendiklerinde KAX ve Aero 8045'in %97 oranında verim değerine ulaştığı görülmüştür. Özellikle Aero 8045 kullanıldığında yüksek verimin yanı sıra tenör de yükselmektedir. Oldukça seçimli davranan Aero 407 ile Au verimi %95,6 olurken en yüksek Au tenörü (6,1 g/t) bu toplayıcı ile elde edilmiştir. Ancak en yüksek verim %98.6 değeri ile MX 505 toplayıcısı kullanıldığında kaydedilmesine rağmen tenör 3,4 g/t değerinde kalmıştır.

- ✓ Sülfürlü zon için tek başına denenen toplayıcı testlerinden sonra toplayıcıların birlikte kullanılmasının Au verim ve tenöründe bir sinerjik etki yaratıp yaratmadığı incelenmiş, görece daha az maliyetli ve güçlü bir toplayıcı yanında selektif türde bir ikinci toplayıcı tercih edilmiştir. Yüksek verim sağlayan KAX ile daha selektif sonuçlar veren Aero 407 ve Maxgold 900 toplayıcıları beraber kullanılarak testler yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, KAX+Aero 407 karışımı için aynı sürede birikimli konsantrede %94 Au verimine ulaşılırken KAX+Maxgold 900 karışımında bu değer %88,4'te kalmıştır. Aynı zamanda Aero 407 ve KAX'ın ayrı ayrı kullanıldığı testler ile bu toplayıcıların beraber kullanıldığı testler karşılaştırıldığında sinerjik etki ile beraber Au tenöründe en yüksek tenör değerinin alındığı (7,1 g/t) belirlenmiştir.
- ✓ Geçiş zonuun flotasyon çalışmaları kapsamında, sülfürlü zon için kullanılan 250 g/t KAX dozajının 300 g/t'a artırılmasının verim ve tenörde daha olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiş; dozaj artırmanın flotasyonun ilk dakikalarından itibaren yüzme kinetiğini arttırdığını ve Au verimini %86.1'e yükselttiği görülmüştür.
- ✓ Toplayıcı miktarının belirlenmesinin ardından KAX'ın yanı sıra sülfürlü zon için denenen ve verim-tenör açısından en olumlu sonuçların alındığı Aero 8045 ve Aero 407 toplayıcılarıyla geçiş zonu için de kinetik testler yapılmıştır. Sonuçlar verim açısından incelendiğinde KAX ve Aero 8045 toplayıcılarının yine benzer sonuçlar verdiği gözlenmiş, Aero 8045 ile hem verim hem de tenörde daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Aero 407 toplayıcısı kullanıldığında ise birikimli konsantrede en yüksek tenör sonucu (6,9 g/t) elde edilmiştir. KAX ve Aero 407 toplayıcı karışımı Aero 8045'in tek başına kullanıldığı durumdaki performansı sağlayamamış; her ne kadar Aero 407'nin seçimlilik etkisi tenöre yansımış olsa da verim %80 değerinde kalmıştır.

- ✓ Gold Department çalışmasında mineralojik ve kimyasal analizlerde oksitli zon içerisinde az miktarda bulunan Au tanelerinin FeOx mineralleri ile beraber olduğu saptanmıştır. Oksitli zonun, sülfürlü ve geçiş zonlarıyla paçal yapılması durumunda sülfürlü mineral flotasyonuna nasıl tepki vereceği hakkında fikir edinebilmek amacıyla 250 g/t KAX ile yapılan test sonrası birikimli konsantrede hem Au verimi (%33,7) hem de Au tenörü (1,6 g/t) oldukça düşük kalmıştır. Bunun üzerine oksitli mineral flotasyon uygulamasına geçilmiş ve FeOx mineral flotasyonunda yaygın olarak kullanılan petrol bazlı sülfonat tipi toplayıcı olan A-825 ile testler yapılmıştır. Asidik ortamda ve yüksek katı oranında koşullandırmanın uygulandığı test sonucuna göre Au verimi %27, Au tenörü ise 0,9 g/t olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, altının sadece FeOX mineralleriyle birlikte bulunmadığı şeklinde bir yorum yapılabilir. Test numunesinin MTA'da yapılan analizinde altına rastlanmamış olması da flotasyon koşullarının belirlenmesinde zorluk yaratmıştır. Bu kapsamda daha detaylı bir mineralojik karakterizasyonun yapılması durumunda flotasyon koşullarının optimize edilmesi gerekmektedir.
- ✓ Cevher yatağında tanımlanan bu üç zonun birlikte proste işlenmesi durumunda nasıl bir flotasyon davranımı göstereceği de araştırılmış; sülfürlü, geçiş ve oksitli olarak tanımlanan zonların cevher yatağına ait son kaynak kestirim raporunda belirtildiği rezerv miktarı oranlarınca karıştırılması uygun görülmüştür. Kimyasal ve mineralojik olarak birbirine benzer davranışlar gösteren sülfürlü ve geçiş zonları rezerv durumuna göre birleştirilerek Paçal1 olarak adlandırılan bir karışım numune hazırlanmıştır. Tüm zonların yine rezerv oranınca karıştırılması ile Paçal2 adlı bir başka numune daha hazırlanmıştır. Her iki paçal numunesi için en olumlu sonuçların elde edildiği Aero 8045 toplayıcısı (tek başına) ve KAX+Aero-407 toplayıcı karışımları denenmiştir. Paçal1 için Aero8045 daha yüksek verim sağlarken oksitli zonun ilavesiyle oluşturulan Paçal2 için KAX+Aero 407 daha iyi verim değeri sağlamaktadır.
- ✓ Çalışmanın son aşamasında konsantre nihai tenörünün artabileceği düşüncesiyle Paçal1 için iki kademeli iki farklı açık devre temizleme flotasyon testleri yapılmıştır. İlk testte kaba flotasyonda KAX+Aero 407 toplayıcı karışımı ve ardından temizleme flotasyonu yapılmış, ikinci testte

ise Aero 8045 kullanılmış ve yine temizleme aşamaları uygulanmıştır. Her iki toplayıcı tipinde de temizlemede Au tenörü 6,5 g/t'dan 8,0-8,1 g/t'a yükselmiş, Aero 8045 ile verim %50,7 olarak kaydedilmiştir. Konsantre tenörünün fazla yükselmemesinin nedeni olarak altının oldukça kenetli bir yapıya sahip olması gösterilebilir. Flotasyon testlerinin sonuçları özet olarak aşağıdaki çizelgede (Çizelge 7.1) verilmektedir.

Çizelge 7.1. Flotasyon test sonuçlarının özeti

Zon Adı	Toplayıcı Adı	Toplayıcı Miktarı (g/t)	Au Tenör (g/t)	Au Verim (%)
Sülfürlü	KAX	200 (kademeli)	5,3	93,0
	KAX	250 (kademeli)	4,9	97,1
	KAX	250 (tek seferde)	4,7	93,3
	A-407	250 (kademeli)	6,1	95,6
	XD-702	250 (kademeli)	4,9	58,6
	8045	250 (kademeli)	5,7	97,0
	Maxgold 900	250 (kademeli)	4,9	95,3
	MX-505	250 (kademeli)	3,4	98,6
	KAX+Maxgold 900	125+125 (kademeli)	5,2	88,4
	KAX+Aero 407	125+125 (kademeli)	7,1	94,0
Geçiş	KAX	200 (kademeli)	10,2	74,7
	KAX	250 (kademeli)	3,3	77,4
	KAX	300 (tek seferde)	5,2	86,1
	8045	300 (tek seferde)	5,4	86,7
	A-407	300 (tek seferde)	6,9	75,3
	KAX+Aero 407	150+150 (kademeli)	10,4	80,7
Oksitli	KAX	250 (kademeli)	1,7	30,5
	A-825	500	0,9	11,3
	A-825	500	0,9	27,0
Paçal1 (Sülfürlü+Geçiş)	8045	250 (kademeli)	6,5	95,3
	KAX+Aero 407	125+125 (kademeli)	8,7	90,9
Paçal2 (Tüm zonlar)	8045	250 (kademeli)	6,9	60,6
	KAX+Aero 407	125+125 (kademeli)	7,2	89,2
Paçal1 (Temizlemeli)	8045	250 (kademeli)	8,1	50,7
	KAX+Aero 407	125+125 (kademeli)	8,0	41,6

Elde edilen tüm bulgular sonucunda, üç farklı zondan oluşan bu cevher yatağının altın kazanımı açısından refrakter karakterde olduğu belirlenmiştir. Özellikle sülfürlü ve geçiş zonlarının toplu flotasyon yöntemiyle bir miktar zenginleşebildiği görülmüş ve tek başına Aero 8045 toplayıcısı kullanılarak kaba flotasyonda %97 verim değerlerinin elde edilebileceği belirlenmiştir. Au tenör değeri ise 1 g/t civarından ~6-8 g/t değerine çıkmaktadır. Çalışmanın devamına yönelik yapılan öneriler aşağıda sunulmaktadır:

- Sülfürlü ve geçiş zonu paçal yapıp birlikte işlenebilir. Kaba flotasyon aşamasında yüksek Au verim değerleri elde edildiği için toplu konsantrenin bu haliyle değerlendirilebileceği öngörülmektedir. Ancak tenörü artırmaya yönelik temizleme aşaması uygulanmak istenirse, kaba flotasyon konsantresinin daha ince tane boyuna öğütülerek (regrind) flotasyon yapılması önerilmektedir. Bu çalışma verilerine göre oksitli zonun diğer iki zonla harmanlanmaması, ancak bu kararın daha detaylı analizler sonrasında verilmesi gerektiği sonucu çıkmaktadır.
- Oksitli zonunun ise hem yerçekimi hem de flotasyon yöntemleri açısından daha detaylı incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Liç yönteminin başarılı olması için çözücü penetrasyonun kolaylaşması açısından kenetlilik durumunun giderilmesi dolayısıyla daha ince boya öğütüldükten sonra liç uygulanması önerilebilir. Ancak, bu durumda öğütme maliyeti de göz önüne alınmalıdır. Bütün bu yöntemlerin doğru optimize edilebilmesi için öncelikle bu zona ilişkin daha detaylı veriler sunabilen EMPA ya da lazer ablasyon mineralojik analizlerin yapılması gerekmektedir.
- Mineralojik karakterizasyon çalışmaları sonucunda altının ince boyda bulunduğu bilinmektedir. Au tenörünü yükseltebilmek için daha ince tane boylarına inilerek Falcon zenginleştiricisi ile bir ön zenginleştirme testi yapılabilir. Ayrıca sallantılı masa yöntemi de özellikle oksitli zon için daha detaylı optimize edilebilir.
- Altın içerdiği öngörülen FeOx mineralleri için yapılan flotasyon testlerinde hem verimin hem de tenörün düşük kalması sonucunda ince boyuttaki FeOx minerallerinin yeteri oranda kazanılamadığı düşünülmektedir. Bu yüzden seçimli salkımlaştırma yöntemi ile FeOx minerallerinin

öktürölerek daha sonrasında ters flotasyon ile kazanabilirliğinin incelenmesi önerilmektedir.

- Flotasyon yöntemiyle Au verimi yüksek konsantreler elde edilebilmektedir, ancak tenör düşük kaldığı için sonraki aşamalarda konsantrelere kavurma yöntemi uygulanabilir.
- Hem Kanada AMTEL’de yapılan Gold Deportment hem de MTA’da yapılan MLA çalışmaları sonrası cevher yatağının refrakterlik ve Au tenörü açısından değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Bu yüzden yatağın çoğunluğunu temsil eden sülfürlü mineraller için kapsamlı flotasyon testleri yapılarak (variability) tüm yatağın flotasyona tepkisi ortaya konmalıdır.



KAYNAKLAR

- [1] J.O. Marsden ve C. Lain House, The Chemistry of Gold Extraction. Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Chapter 2, **2009**.
- [2] M.S. Kırıkoglu, Epitermal Altın Yataklarının Oluşumu ve Özellikleri, Madencilik Dergisi, 41-50, **1990**.
- [3] S. Umurhan, Kokoya Altın Cevherinin Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2017**.
- [4] D. Lunney, TED-Ed, The Origins of Gold, <http://ed.ted.com/lessons/where-does-gold>, 2016 (Erişim tarihi: 1 Haziran 2023).
- [5] M.B. Yücel, Dünyada ve Türkiye’de Altın, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor, Ankara, **2020**.
- [6] T.C.Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabikaynaklar.altin> (Erişim tarihi: Ağustos 2023).
- [7] S. Sarıkaya, Bir Altın Cevherinde Başlıca İşlem Parametrelerinin Liç Verimine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2018**.
- [8] J. Zhou, B. Jago ve C. Martin, Establishing The Process Mineralogy of Gold Ores, SGS Minerals, Technical Bulletin, **2004**.
- [9] K. Spickelmier, *Round Mountain Halves Its Cutoff Grade*, Mining Engineering (194) 41-48, **1993**.
- [10] S.R. La Brooy, H.G. Linge ve G.S. Walker, Review of gold extraction from ores, Minerals Engineering, 7, 1213-1241, **1994**.
- [11] C. Komnitsas ve F.D. Pooley, Mineralogical Characteristics and Treatment of Refractory Gold Ores, Minerals Engineering, **1989**.
- [12] R.R. Fernandez, H.Y. Sohn ve K.M. Levier, Process for Treating Refractory Gold Ores by Roasting Under Oxidizing Conditions, Minerals and Metallurgical Processing, 17, (1), 1-6, **2000**.
- [13] T.T. Chen, L.J. Cabri ve J.E. Dutrizac, Characterizing gold in refractory sulfide gold ores and residues, *Jom*, 54(12), 20–22, **2002**.
- [14] K. Zaghlol, Mineralogical investigation of gold ores, Egyptian Mineral Resources Authority, **2020**.

- [15] P.M. Afenya, Treatment of Carbonaceous Refractory Gold Ores", Minerals Engineering, 4, 1043-1055, **1991**.
- [16] S. Shariati, A. Ramadi ve A. Salsani, Benefication of low grade phosphate deposits by a combination of calcination and shaking tables: Southwest Iran, Minerals, 5(3), 367-379, **2005**.
- [17] H. Hacifazlıoğlu, Özgül Ağırlık Farkı (Gravite) ile Zenginleştirme, https://www.academia.edu/31146706/gravite_ile_ayırma_yöntemleri_pdf, Erişim tarihi: Haziran 2023).
- [18] W. Thomas, Mining Chemical Handbook, *Cytec Industries Inc., USA*, **2010**.
- [19] S. Bulatovic ve D.M. Wyslouzil, Gold Recovery: Flotation, Lakefield Research, Ontario, **2000**.
- [20] M.D. Adams, Advances in Gold Ore Processing, Elsevier, **2005**.
- [21] A.J. Teague, J.S.J. Vandeventer ve C. Swaminathan, A conceptual model for gold flotation, International Journal of Mineral Processing, 1001-1019, **1999**.
- [22] S.M. Bulatovic, Flotation behaviour of gold during processing of porphyry copper-gold ores and refractory gold bearing sulfides, Miner. Eng. 10(9), **1997**.
- [23] P. Colbert, Gold ore treatment at Emperor Gold Mining Co. Ltd, Vatukoula, Fiji. Mining and Metallurgical Practices in Australasia (Ed. JT Woodcock), 492-494, **1980**.
- [24] S.M. Singh, Selective grinding of auriferous pyrite at the Wright-Hargreaves Mine Ltd. Camborne School of Mines Magazine, 56, 56-58, **1956**.
- [25] J.T. Smith, Selective treatment of tellurides at gold mines of Kalgoorlie, Symposium on Selective Treatment of Tellurides, **1963**.
- [26] T. Özgen, Sülfürlü altın cevherlerinin flotasyon davranımlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2014**.
- [27] C.T. O'Connor, R.C. Dunne, The practice of pyrite flotation in South Africa and Australia, Minerals Engineering, 4(7-11), 1057-1069, **1991**.
- [28] R. Dunne, Flotation of gold and gold-bearing ores, Developments in Mineral Processing, Vol. 15, Elsevier, Chapter 14, **2005**.

- [29] J.D. Miller, M. Misra ve S. Gopalakrishnan, Gold flotation from Colorado river sand with air sparged hydrocyclone, *Minerals and Metallurgical Processing*, 3, 145-148, **1986**.
- [30] R. Woods, C.I. Basilio, D.S. Kim and R.H. Yoon, Chemisorption of ethyl xanthate on silver-gold alloys. *Coll. Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects* 83, 1-7, **1994**.
- [31] J.R. Gardner, R. Woods, An electrochemical investigation of contact angle and of flotation in the presence of alkyl xanthates, I, platinum and gold surfaces, *Aus. J. Chem.* 27, 2139-2148, **1974**.
- [32] D.J. Bradshaw, C.T. O'Connor, The flotation of pyrite using mixture of dithiocarbamates and other thiol collectors, *Minerals Engineering*, Vol.7, 681-690, **1994**.
- [33] D.R. Nagaraj, Developments of new flotation chemicals, *Trans. Indian Inst. Metallurgical*, 50(5), 355–363, **1997**.
- [34] G.C. Allan, J.T. Woodcock, A review of the flotation of native gold and electrum, *Minerals Engineering*, 14(9), 931–962, **2001**.
- [35] A. Day, *Cytec Mining chemicals handbook*, Revised Edition, **2002**.
- [36] N.P. Finkelstein, G.W. Poling, The role of dithiolates in the flotation of sulfide minerals, **1977**.
- [37] S.M. Bulatovic, *Handbook of flotation reagents*, Vol. 1, Elsevier, **2007**.
- [38] L.R.P. De Andrade Lima, D. Hodouin, Optimisation of Reactor Volumes for Gold Cyanidation, *Minerals Engineering*, 18, 671-679, **2005**.
- [39] F.K. Crundwell, S.A. Godorr, A Mathematical Model of the Leaching of Gold in Cyanide Solutions, *Hydrometallurgy*, 44, 147-162, **1997**.
- [40] K.R.N. Hanson J.E. Laschinger, The Roasting of Refractory Gold Ores and Concentrates-Literature Survey. Technical Report No:85, National Institute of Metallurgy, **1967**.
- [41] H. Çelik, Refrakter Altın Cevherlerinin/Konsantrelerinin Ön İyileştirme Biyooksidasyon Yönteminin Kullanımı, *Madencilik Dergisi*, 44 (3), 35-46, **2005**.
- [42] M.J. Logsdon, K. Hagelstein ve T.I. Mudder, Altın Üretiminde Siyanür Yönetimi, International Council on Metals and The Environment, Kanada, **2001**.

- [43] R. Mermillod-Blondin, Pyrite flotation with xanthate under alkaline conditions-application to environmental desulfurization, Centenary of Flotation Symposium, Citeseer, **2005**.
- [44] A.L. Valsivieso, Flotation and depression control of arsenopyrite through pH and pulp redox potential using xanthate as the collector, International Journal Minerals Processing, 81(1), 27-34, **2006**.
- [45] C. Owusu, E.A. Agorhom, S. Fosu ve E. Budu-Arthur, Adsorption Studies of Sulphidic Refractory Gold Ore, Powder Technology, 310-316, **2020**.
- [46] C.T. O'Connor, R.C. Dunne, The flotation of gold bearing ores--A review. Minerals Eng., 7(7), 839-849, **1994**.
- [47] A.J. Teague, J.S.J. Vandeventer ve C. Swaminathan, The effect of copper activation on the behaviour of free and refractory gold during froth flotation, International Journal of Mineral Processing, 113-139, **1999**.
- [48] N.M. Can, İ.B. Çelik, Proses Mineralojisi: Cevhe Hazırlamadaki Önemi, Ölçüm Yöntem ve Araçları-Bölüm-I, Madencilik Dergisi, 48 (1), 43-53, **2009**.
- [49] D. Bojcevski, L. Vink, N.W. Johnson, V. Landmark, M. Johnston, J. Mackenzie and M.F. Young, Metallurgical Characterisation of George Fisher Ore Textures and Implications for Ore Processing, Mine to Mill, Brisbane, Qld, 29-41, **1998**.
- [50] S. Dutherland, Applications of Quantitative Process Mineralogy through the Mining Cycle'AusIMM Annual Conference: The Mining Cycle, Mt Isa, Qld, 333-337, **1998**.
- [51] O. Celep, A.D. Baş, E.Y. Yazıcı ve H. Deveci, Altın Cevherinin Karakterizasyonunda Kullanılan Mikro Analitik Yöntemler, Bilimsel Madencilik Dergisi, 57 (4), 281-289, **2018**.
- [52] M.D. Adams, Summary of gold plants and process, Developments in Mineral Processing, Vol.15, Elsevier, Chapter 41, **2005**.
- [53] W. Petruk, Applied Mineralogy in the Mining Industry, Elsevier, Amsterdam, 268, **2000**.
- [54] P. Zinin, A. Misra, Optical Microscopy: Lecture 1, University of Hawaii, Honolulu, USA
- [55] M.J. Drake, Brief Introduction to the Electron Microprobe, Lunar and Planetary Laboratory, University of Arizona.

- [56] D. Paktunç, Yerbilimlerinde Mikroanalitik Yöntemler, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 46, 41-49, **1996**.
- [57] M.P. Jones, J. Gavrilovic, Automatic Searching Unit for the Quantitative location of Rare Phases by Electron Microprobe X-Ray Microanalysis, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 77, B137-B14, **1968**.
- [58] L.J. Cabri, J.L. Campbell, The Proton Microprobe in Ore Mineralogy (Micro-PIXE Technique), In Modern Approaches to Ore and Environmental Mineralogy, Short Course, 27, 181-198, **1998**.
- [59] A. Agangi, W. Przybylowicz ve A. Hofmann, Trace Element Mapping of X-ray Pyrite from Archean Gold Deposits – A Comparison between PIXE and EPMA. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 348, 302-306, **2015**.
- [60] M. Beyuo, E.A. Agorhom, C. Owusu, A.L. Diaby ve I. Quaicoe, Gold Department and Mineralogical Characterization Studies for Improved Recovery, A Case Study at Goldfields Ghana Limited, 4th UMaT Biennial International Mining and Mineral Conference, **2016**.
- [61] TS EN 1097-7 Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 7: Dolgu malzemesi tane yoğunluğunun tayini - Piknometre yöntemi, **2022**.
- [62] S.S. Dimov, B.R. Hart, Application of microbeam analytical techniques in gold department studies and characterization of losses during the gold recovery process, Surface and Interface Analysis, 49, 1404-1415, **2017**.
- [63] F. Nakhaei, M. Irannajad, Reagents types in flotation of iron oxide minerals: A review, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 39(2), 89-124, **2018**.
- [64] A.C. Aravjo, P.R.M. Viana ve A.E.C. Peres, Reagent in iron ores flotation, Minerals Engineering, 18, 219-224, **2005**.
- [65] S.A. Allison, R.C. Dunne ve S.A. De Waal, The flotation of gold and pyrite from South African gold-mine residues, In: 14th International Mineral Processing Congress, Toronto, Canada, paper II-9.18, **1982**.
- [66] R.B. Duchon, L.A.E. Carter, An investigation into the effects of various flotation parameters on the flotation behaviour of pyrite, gold and uranium contained in Witwatersrand type ores, and their practical exploitation, In:

- Gold 100, Proceedings of the International Conference on Gold, Vol. 2. South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, **1986**.
- [67] C.T. O'Connor, D.J. Bradshaw ve A.E. Upton, The use of dithiophosphates and dithiocarbamates for the flotation of arsenopyrite, Minerals Engineering, 3(5), 447-459, **1990**.
- [68] D.S. Yan, H. Hariyasa, Selective flotation of pyrite and gold telluride, Minerals Engineering, 10(3), 327-357, **1997**.
- [69] M.B.M. Monte, A.J.B. Dutra, C.R.F. Albuquerque, L.A. Tondo ve F.F. Lins, The influence of the oxidation state of pyrite and arsenopyrite on the flotation of an auriferous sulfide ore, Minerals Engineering, 15, 1113-1120, **2002**.
- [70] C.T. O'Connor, C. Botha, M.J. Wallis ve R.C. Dunne, The role of coppersulfate in pyrite flotation, Minerals Engineering, 1(3), 203-212, **1988**.

EKLER

Tarih:29.11.2022	Sülfürlü Zon/Test 2						Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER	
Öğütme	20 dk	P80	50,3 µm	60 %katı	RPM: 1500	Amaç: Kademeli toplayıcı etkisi ve kinetik test incelenmesi					
Eklenen Kimyasallar				Zaman (Saniye)							
Na2SiO3	KAX (%)	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH						Eh
g/t	g/t	µl									
Öğütme	2000		20								
Py-C1	50	50	2+1	2	7,8						
Py-C2	50		2	2							
Py-C3	50		2	2							
Py-C4	50		2	2							
Py-C5	50		2	2	7,9						

Test 2	Ağırlık		Tenör %							Verim %						
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S
Py-C1	80,5	8,0	6,7	0,1	28,8	0,7	0,1	1,5	16,9	49,2	58,3	39,1	36,9	12,2	44,8	42,7
Py-C2	57,4	5,7	7,3	0,1	30,3	0,9	0,5	1,5	17,4	38,6	28,2	29,4	34,2	35,4	33,3	31,4
Py-C3	28,0	2,8	2,2	0,0	12,6	0,5	0,7	0,8	10,9	5,6	4,1	6,0	10,0	22,8	8,9	9,6
Py-C4	17,9	1,8	1,3	0,0	7,1	0,3	0,5	0,5	6,3	2,1	1,9	2,2	3,3	10,1	3,1	3,5
Py-C5	32,4	3,2	0,5	0,0	4,8	0,1	0,2	0,2	3,6	1,6	2,2	2,6	2,7	8,5	2,9	3,6
Artık	784,9	78,4	0,04	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,4	2,9	5,4	20,8	12,9	11,0	7,0	9,1
Besleme	1001,00	100	1,09	0,02	5,92	0,14	0,09	0,26	3,17	100	100	100	100	100	100	100

Kümülatif Toplam	Ağırlık		Tenör %							Verim %						
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S
Py Rgh 1	80,5	8,0	6,7	0,1	28,8	0,7	0,1	1,5	16,9	49,2	58,3	39,1	36,9	12,2	44,8	42,7
Py Rgh1+2	137,8	13,8	6,9	0,1	29,4	0,7	0,3	1,5	17,1	87,8	86,4	68,4	71,1	47,5	78,1	74,1
Py Rgh 1+2+3	165,9	16,6	6,1	0,1	26,6	0,7	0,4	1,4	16,0	93,4	90,5	74,4	81,0	70,4	87,0	83,7
Py Rgh 1+2+3+4	183,7	18,4	5,7	0,1	24,7	0,7	0,4	1,3	15,1	95,5	92,4	76,6	84,4	80,5	90,0	87,2
Py Rgh 1+2+3+4+5	216,1	21,6	4,9	0,1	21,7	0,6	0,4	1,1	13,4	97,1	94,6	79,2	87,1	89,0	93,0	90,9

Tarih:10.01.2023		Sülfürlü Zon/Test 3					Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER				
Öğütme		20 dk		P80	50,3 µm	60 %katı	RPM: 1500	Amaç: Yeni değirmen kalibrasyonu ve tek seferde PAX etkisi						
	Eklenen Kimyasallar			Zaman (Saniye)										
	Na2SiO3	KAX (%1)	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh							
	g/t	g/t	µl											
Öğütme	2000			20										
Py-C1		250	30+20	5+1+1	8	7,5	50							
Py-C2					2									
Test 3	Ağırlık		Tenör %						Verim %					
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	S
Py-C1	159,7	16,0	5,4	0,11	34,4	0,5	0,5	16,7	90,1	77,6	80,8	62,1	87,1	83,0
Py-C2	32,1	3,2	1,0	0,02	6,5	0,1	0,1	5,7	3,2	3,2	3,1	2,9	2,5	5,7
Artık	809,2	80,8	0,08	0,01	1,4	0,1	0,0	0,5	6,7	19,3	16,1	35,0	10,4	11,3
Besleme	1001,00	100	0,96	0,02	6,79	0,13	0,09	3,21	100	100	100	100	100	100
İmülatif Topl	Ağırlık		Tenör %						Verim %					
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	S
Py Rgh 1	159,7	16,0	5,4	0,1	34,4	0,5	0,5	16,7	90,1	77,6	80,8	62,1	87,1	83,0
Py Rgh1+2	191,8	19,2	4,7	0,1	29,7	0,4	0,4	14,9	93,3	80,7	83,9	65,0	89,6	88,7

Tarih:15.02.2023		Sülfürlü Zon/Test 4					Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER							
Öğütme		20 dk		P80	50,3 µm	60 %katı	RPM: 1500	Amaç: Başka bir laba numune göndermek için yapıldı									
	Eklenen Kimyasallar			Zaman (Saniye)													
	Na2SiO3	KAX (%)	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh										
	g/t	g/t	µl														
Öğütme	2000			20													
Py-C1		250	40-50	2+1	10	7,5	122										
Test 4	Ağırlık		Tenör %							Verim %							
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	
Py-C1	190,0	19,0	5,5	0,1	24,9	0,5	0,5	1,0	32,0	94,8	82,7	80,1	69,8	89,7	77,8	94,3	
Artık	811,0	81,0	0,07	0,0	1,5	0,1	0,0	0,1	0,5	5,2	17,3	19,9	30,2	10,3	22,2	5,7	
Besleme	1001,00	100	1,09	0,02	5,90	0,14	0,10	0,25	6,44	100	100	100	100	100	100	100	

Tarih:09.03.2023	Sülfürlü Zon/Test 5			Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER										
Öğütme	20 dk		P80	50,3 µm	60 %katı	RPM: 1500	Amaç: Fark toplayıcı etkisini görmek ve kinetik test incelemesi yapmak (A-407)										
	Eklenen Kimyasallar			Zaman (Saniye)													
	Na2SiO3	A-407	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH											Eh
	g/t	g/t	µl														
Öğütme	2000			20													
Py-C1		50	50	2+1	2	7,5											
Py-C2		50		2	2												
Py-C3		50		2	2												
Py-C4		50		2	2												
Py-C5		50		2	2												
Test 5	Ağırlık		Tenör %							Verim %							
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	
Py-C1	60,5	6,0	9,1	0,2	31,3	0,9	0,7	0,7	39,6	48,8	55,7	33,1	39,6	45,8	19,1	36,7	
Py-C2	60,6	6,1	6,0	0,1	27,4	0,4	0,4	0,9	40,8	32,0	19,4	29,0	18,1	29,2	23,4	37,9	
Py-C3	25,7	2,6	4,0	0,1	23,8	0,3	0,3	1,2	34,6	9,2	5,7	10,7	6,5	8,0	13,3	13,6	
Py-C4	16,8	1,7	2,6	0,0	19,9	0,3	0,2	2,0	21,5	3,8	2,9	5,8	3,8	3,9	14,3	5,5	
Py-C5	12,4	1,2	1,7	0,0	10,8	0,2	0,2	2,4	11,4	1,8	1,5	2,3	2,2	2,2	12,6	2,2	
Artık	825,2	82,4	0,06	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,3	4,4	14,8	19,0	29,8	11,0	17,3	4,0	
Besleme	1001,12	100	1,13	0,02	5,71	0,14	0,09	0,23	6,51	100	100	100	100	100	100	100	
Kümülatif Toplam	Ağırlık		Tenör %							Verim %							
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	
Py Rgh 1	60,5	6,0	9,1	0,2	31,3	0,9	0,7	0,7	39,6	48,8	55,7	33,1	39,6	45,8	19,1	36,7	
Py Rgh1+2	121,1	12,1	7,5	0,1	29,3	0,6	0,6	0,8	40,2	80,8	75,0	62,1	57,7	75,0	42,4	74,6	
Py Rgh 1+2+3	146,8	14,7	6,9	0,1	28,4	0,6	0,5	0,9	39,2	90,0	80,8	72,8	64,2	82,9	55,8	88,3	
Py Rgh 1+2+3+4	163,5	16,3	6,5	0,1	27,5	0,6	0,5	1,0	37,4	93,8	83,7	78,6	68,0	86,8	70,1	93,8	
Py Rgh 1+2+3+4+5	175,9	17,6	6,1	0,1	26,3	0,5	0,5	1,1	35,6	95,6	85,2	81,0	70,2	89,0	82,7	96,0	

Tarih:09.03.2023	Sülfürlü Zon/Test 6			Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER									
Öğütme	20 dk		P80	50,3 µm	60 %katı	RPM: 1500	Amaç: Fark toplayıcı etkisini görmek ve kinetik test incelemesi yapmak (XD-702)									
Eklenen Kimyasallar			Zaman (Saniye)													
Na2SiO3	XD-702	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh										
g/t	g/t	µl														
Öğütme	2000		20													
Py-C1	50	50	2+1	2	7,6											
Py-C2	50		2	2												
Py-C3	50		2	2												
Py-C4	50		2	2												
Py-C5	50		2	2												
Test 6	Ağırlık		Tenör %							Verim %						
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S
Py-C1	45,9	4,6	7,7	0,3	24,5	1,1	0,7	0,7	30,5	33,4	49,2	18,3	35,5	34,8	11,8	22,2
Py-C2	35,9	3,6	4,8	0,1	25,8	0,5	0,5	0,8	31,9	16,2	14,2	15,1	13,0	18,2	10,9	18,1
Py-C3	18,4	1,8	2,3	0,1	18,8	0,4	0,4	0,9	23,2	4,0	5,1	5,6	4,8	7,1	6,2	6,8
Py-C4	16,1	1,6	2,2	0,0	15,6	0,3	0,2	0,8	18,5	3,4	2,9	4,1	2,8	3,7	5,2	4,7
Py-C5	10,4	1,0	1,7	0,0	16,9	0,3	0,2	0,9	20,8	1,7	2,0	2,9	1,9	2,2	3,6	3,4
Artık	875,0	87,4	0,50	0,0	3,8	0,1	0,0	0,2	3,2	41,4	26,4	54,0	42,1	33,9	62,3	44,7
Besleme	1001,66	100	1,06	0,02	6,13	0,14	0,10	0,3	6,29	100	100	100	100	100	100	100
Kümülatif Toplam	Ağırlık		Tenör %							Verim %						
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S
Py Rgh 1	45,9	4,6	7,7	0,3	24,5	1,1	0,7	0,7	30,5	33,39	49,24	18,33	35,48	34,83	11,80	22,22
Py Rgh1+2	81,8	8,2	6,4	0,2	25,1	0,9	0,6	0,7	31,1	49,55	63,49	33,39	48,44	53,04	22,66	40,37
Py Rgh 1+2+3	100,2	10,0	5,7	0,2	23,9	0,8	0,6	0,8	29,7	53,57	68,59	39,03	53,19	60,18	28,89	47,14
Py Rgh 1+2+3+4	116,3	11,6	5,2	0,1	22,8	0,7	0,5	0,8	28,1	56,93	71,54	43,13	56,01	63,89	34,08	51,87
Py Rgh 1+2+3+4+5	126,7	12,6	4,9	0,1	22,3	0,7	0,5	0,8	27,5	58,64	73,55	45,98	57,91	66,13	37,68	55,29

Tarih:10.03.2023	Sülfürlü Zon/Test 7			Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER									
Öğütme	20 dk		P80	50,3 µm	60 %katı	RPM: 1500	Amaç: Fark toplayıcı etkisini görmek ve kinetik test incelemesi yapmak (8045)									
Eklenen Kimyasallar			Zaman (Saniye)													
Na2SiO3	8045	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh										
g/t	g/t	µl														
Öğütme	2000		20													
Py-C1	50	50	2+1	2	7,6											
Py-C2	50		2	2												
Py-C3	50		2	2												
Py-C4	50		2	2												
Py-C5	50		2	2												
Test 7	Ağırlık		Tenör %							Verim %						
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S
Py-C1	65,1	6,5	8,7	0,2	32,5	0,9	0,7	0,8	41,1	52,6	59,4	35,9	43,6	50,9	20,3	42,4
Py-C2	67,1	6,7	5,7	0,1	33,3	0,4	0,5	1,4	42,2	35,4	20,2	37,9	20,8	32,7	39,2	44,9
Py-C3	21,6	2,2	3,5	0,0	17,7	0,3	0,2	2,7	20,4	6,9	3,9	6,5	5,0	5,2	24,0	7,0
Py-C4	14,5	1,4	1,1	0,0	8,0	0,3	0,1	1,1	8,1	1,5	1,9	1,9	2,6	1,6	6,5	1,8
Py-C5	15,1	1,5	0,5	0,0	3,8	0,2	0,1	0,4	3,3	0,6	1,3	1,0	1,7	0,8	2,3	0,8
Artık	818,5	81,7	0,04	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,2	3,0	13,4	16,8	26,3	8,8	7,6	3,1
Besleme	1001,87	100	1,08	0,02	5,88	0,14	0,09	0,24	6,30	100	100	100	100	100	100	100
Kümülatif Toplam	Ağırlık		Tenör %							Verim %						
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S
Py Rgh 1	65,1	6,5	8,7	0,2	32,5	0,9	0,7	0,8	41,1	52,6	59,4	35,9	43,6	50,9	20,3	42,4
Py Rgh1+2	132,2	13,2	7,2	0,1	32,9	0,7	0,6	1,1	41,7	87,9	79,6	73,8	64,3	83,5	59,6	87,3
Py Rgh 1+2+3	153,8	15,4	6,6	0,1	30,8	0,6	0,5	1,3	38,7	94,9	83,5	80,3	69,4	88,8	83,6	94,2
Py Rgh 1+2+3+4	168,3	16,8	6,2	0,1	28,8	0,6	0,5	1,3	36,0	96,3	85,4	82,2	71,9	90,4	90,1	96,1
Py Rgh 1+2+3+4+5	183,4	18,3	5,7	0,1	26,7	0,6	0,5	1,2	33,4	97,0	86,6	83,2	73,7	91,2	92,4	96,9

Tarih:15.03.2023	Sülfürlü Zon/Test 8						Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER								
Öğütme	20 dk		P80		50,3 µm	60 %katı	RPM: 1500	Amaç: Fark toplayıcı etkisini görmek ve kinetik test incelemesi yapmak (Maxgold 900)										
Eklenen Kimyasallar			Zaman (Saniye)															
	Na2SiO3	MaxGold 900	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh											
	g/t	g/t	µl															
Öğütme	2000			20														
Py-C1		50	50	2+1	2	7,6												
Py-C2		50		2	2													
Py-C3		50		2	2													
Py-C4		50		2	2													
Py-C5		50		2	2													
Test 8	Ağırlık		Tenör %							Verim %								
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S		
Py-C1	93,4	9,3	7,9	0,2	33,5	0,8	0,8	0,8	41,5	71,2	68,9	52,9	53,0	73,5	29,6	63,5		
Py-C2	35,5	3,5	3,2	0,0	19,2	0,3	0,2	0,8	23,4	10,8	7,2	11,5	7,1	8,6	10,6	13,6		
Py-C3	33,1	3,3	2,5	0,0	16,7	0,2	0,2	1,3	19,5	8,0	4,3	9,3	5,2	5,3	16,9	10,6		
Py-C4	21,8	2,2	1,6	0,0	10,8	0,2	0,1	1,6	11,9	3,4	2,2	4,0	3,0	2,1	13,4	4,2		
Py-C5	17,0	1,7	1,1	0,0	7,3	0,2	0,1	1,3	7,3	1,8	1,4	2,1	2,1	1,1	8,6	2,0		
Artık	800,4	79,9	0,06	0,0	1,5	0,1	0,0	0,1	0,5	4,7	16,0	20,2	29,6	9,5	20,9	6,0		
Besleme	1001,22	100	1,03	0,02	5,91	0,14	0,10	0,25	6,10	100	100	100	100	100	100	100		
Kümülatif Toplam	Ağırlık		Tenör %							Verim %								
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S		
Py Rgh 1	93,4	9,3	7,9	0,2	33,5	0,8	0,8	0,8	41,5	71,2	68,9	52,9	53,0	73,5	29,6	63,5		
Py Rgh1+2	128,9	12,9	6,6	0,1	29,6	0,7	0,6	0,8	36,5	82,1	76,1	64,5	60,1	82,1	40,2	77,1		
Py Rgh 1+2+3	162,0	16,2	5,7	0,1	26,9	0,6	0,5	0,9	33,0	90,1	80,4	73,8	65,3	87,4	57,1	87,7		
Py Rgh 1+2+3+4	183,8	18,4	5,3	0,1	25,0	0,5	0,5	1,0	30,5	93,5	82,6	77,7	68,3	89,5	70,5	91,9		
Py Rgh 1+2+3+4+5	200,8	20,1	4,9	0,1	23,5	0,5	0,4	1,0	28,6	95,3	84,0	79,8	70,4	90,5	79,1	94,0		

Tarih:24.04.2023		Sülfürlü Zon/Test 9					Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER						
Öğütme		20 dk		P80	50,3 µm	60 %katı		RPM: 1500	Amaç: Toplayıcı sinerji etkisini görmek ve kinetik test incelemesi yapmak (Maxgold 900 + KAX)							
	Eklenen Kimyasallar				Zaman (Saniye)											
	Na2SiO3	MaxGold 900	KAX (%1)	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh								
	g/t	g/t	g/t	µl												
Öğütme	2000				20											
Py-C1		25	25	50	2+1	2	7,6									
Py-C2		25	25	25	2+1	2										
Py-C3		25	25		2	2										
Py-C4		25	25		2	2										
Py-C5		25	25		2	2										
Test 9	Ağırlık		Tenör %							Verim %						
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S
Py-C1	67,5	6,7	8,9	0,2	36,0	0,8	0,8	1,1	42,9	53,6	42,9	40,8	34,8	54,7	26,3	46,8
Py-C2	42,9	4,3	5,2	0,1	25,8	0,5	0,4	1,2	30,4	20,0	15,8	18,6	13,8	17,1	16,7	21,0
Py-C3	29,8	3,0	2,9	0,1	15,5	0,3	0,2	1,0	17,8	7,8	6,6	7,8	6,4	6,9	9,7	8,6
Py-C4	24,8	2,5	1,7	0,0	11,6	0,2	0,1	0,9	13,0	3,8	4,2	4,8	4,1	3,8	7,6	5,2
Py-C5	25,1	2,5	1,5	0,0	10,0	0,2	0,1	1,0	11,1	3,3	3,2	4,2	3,5	3,4	8,4	4,5
Artık	811,5	81,0	0,16	0,0	1,7	0,1	0,0	0,1	1,1	11,6	27,3	23,7	37,4	14,2	31,2	13,9
Besleme	1001,56	100	1,12	0,03	5,94	0,15	0,09	0,29	6,18	100	100	100	100	100	100	100
Kümülatif Toplam	Ağırlık		Tenör %							Verim %						
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S
Py Rgh 1	67,5	6,7	8,9	0,2	36,0	0,8	0,8	1,1	42,9	53,6	42,9	40,8	34,8	54,7	26,3	46,8
Py Rgh1+2	110,3	11,0	7,5	0,1	32,0	0,7	0,6	1,2	38,1	73,5	58,7	59,4	48,7	71,8	43,0	67,8
Py Rgh 1+2+3	140,1	14,0	6,5	0,1	28,5	0,6	0,5	1,1	33,7	81,4	65,3	67,2	55,0	78,7	52,7	76,4
Py Rgh 1+2+3+4	165,0	16,5	5,8	0,1	26,0	0,5	0,5	1,1	30,6	85,2	69,5	72,0	59,1	82,4	60,3	81,6
Py Rgh 1+2+3+4+5	190,1	19,0	5,2	0,1	23,9	0,5	0,4	1,1	28,0	88,4	72,7	76,3	62,6	85,8	68,8	86,1

Tarih:25.04.2023		Sülfürlü Zon/Test 10					Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER						
Öğütme		20 dk		P80	50,3 µm	60 %katı		RPM: 1500	Amaç: Toplayıcı sinerji etkisini görmek ve kinetik test incelemesi yapmak (Aero 407+KAX)							
	Eklenen Kimyasallar				Zaman (Saniye)											
	Na2SiO3	Aero 407	KAX (%1)	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh								
	g/t	g/t	g/t	µl												
Öğütme	2000				20											
Py-C1		25	25	50	2+1	2	7,7									
Py-C2		25	25		2	2										
Py-C3		25	25		2	2										
Py-C4		25	25		2	2										
Py-C5		25	25		2	2										
Test 10	Ağırlık		Tenör %							Verim %						
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S
Py-C1	71,8	7,2	8,6	0,2	40,7	0,8	0,7	1,0	51,3	54,5	49,6	47,9	40,4	55,6	25,4	55,2
Py-C2	32,7	3,3	8,7	0,1	35,1	0,6	0,5	1,8	43,5	25,1	15,8	18,8	13,8	18,3	20,4	21,3
Py-C3	18,4	1,8	5,3	0,1	26,8	0,5	0,3	2,5	32,3	8,6	5,6	8,1	5,9	7,1	15,5	8,9
Py-C4	17,4	1,7	2,7	0,0	16,1	0,3	0,2	2,1	18,6	4,2	3,3	4,6	3,9	4,0	12,7	4,8
Py-C5	10,4	1,0	1,8	0,0	12,7	0,3	0,2	2,0	14,1	1,7	1,9	2,2	2,3	1,9	7,0	2,2
Artık	850,7	85,0	0,08	0,0	1,3	0,1	0,0	0,1	0,6	6,0	23,7	18,5	33,7	13,1	19,0	7,6
Besleme	1001,23	100	1,13	0,02	6,09	0,15	0,09	0,29	6,67	100	100	100	100	100	100	100
Kümülatif Toplam	Ağırlık		Tenör %							Verim %						
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S
Py Rgh 1	71,8	7,2	8,6	0,2	40,7	0,8	0,7	1,0	51,3	54,5	49,6	47,9	40,4	55,6	25,4	55,2
Py Rgh1+2	104,5	10,4	8,6	0,1	38,9	0,8	0,6	1,3	48,8	79,6	65,4	66,7	54,2	73,9	45,8	76,5
Py Rgh 1+2+3	122,8	12,3	8,1	0,1	37,1	0,7	0,6	1,4	46,4	88,1	71,0	74,7	60,1	81,0	61,3	85,3
Py Rgh 1+2+3+4	140,2	14,0	7,5	0,1	34,5	0,7	0,5	1,5	42,9	92,3	74,3	79,3	64,0	85,0	74,0	90,2
Py Rgh 1+2+3+4+5	150,6	15,0	7,1	0,1	33,0	0,6	0,5	1,6	40,9	94,0	76,3	81,5	66,3	86,9	81,0	92,4

Tarih:06.06.2023	Sülfürlü Zon/Test11						Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER
Öğütme		20 dk		P80	50,3 µm	60 %katı	RPM: 1500	Amaç: Fark toplayıcı etkisini görmek ve kinetik test incelemesi yapmak (MX-505)		
	Eklenen Kimyasallar			Zaman (Saniye)						
	Na2SiO3	MX-505	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh			
	g/t	g/t	µl							
Öğütme	2000			20						
Py-C1		50	50	2+1	2	7,7	190			
Py-C2		50		2	2					
Py-C3		50		2	2					
Py-C4		50		2	2					
Py-C5		50		2	2	7,8	166			
Test 11	Ağırlık		Tenör %				Verim %			
	gr	%	Au (ppm)	Fe	As	S	Au (%)	Fe	As	S
Py-C1	111,8	11,2	6,7	33,3	1,5	46,0	74,8	63,3	60,1	74,7
Py-C2	62,5	6,3	2,5	15,0	1,0	19,5	15,7	16,0	23,2	17,7
Py-C3	52,7	5,3	1,0	5,9	0,4	5,1	5,1	5,3	7,8	3,9
Py-C4	28,3	2,8	0,6	3,6	0,2	2,7	1,8	1,7	2,5	1,1
Py-C5	30,0	3,0	0,4	2,4	0,1	1,4	1,1	1,2	1,5	0,6
Artık	712,5	71,4	0,02	1,0	0,0	0,2	1,4	12,5	4,9	2,0
Besleme	997,71	100	1,00	5,90	0,28	6,90	100	100	100	100
Kümülatif Toplam	Ağırlık		Tenör %				Verim %			
	gr	%	Au (ppm)	Fe	As	S	Au (%)	Fe	As	S
Py Rgh 1	111,8	11,2	6,7	33,3	1,5	46,0	74,8	63,3	60,1	74,7
Py Rgh1+2	174,2	17,5	5,2	26,8	1,3	36,5	90,5	79,3	83,3	92,4
Py Rgh 1+2+3	227,0	22,7	4,2	21,9	1,1	29,2	95,6	84,6	91,1	96,3
Py Rgh 1+2+3+4	255,2	25,6	3,8	19,9	1,0	26,3	97,4	86,3	93,6	97,4
Py Rgh 1+2+3+4+5	285,2	28,6	3,4	18,1	0,9	23,7	98,6	87,5	95,1	98,0

Tarih:19.06.2023		Sülfürlü Zon/Test12					Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER
Öğütme		20 dk		P80	50,3 µm	60 %katı	RPM: 1500	Amaç: Sülfürlü ve geçiş zonlarını blend yapmak ve 8045 etkisini incelemek		
	Eklenen Kimyasallar			Zaman (Saniye)						
	Na2SiO3	8045	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh			
	g/t	g/t	µl							
Öğütme	2000			20						
Py-C1		50	50	2+1	2	7,9	139			
Py-C2		50		2	2					
Py-C3		50		2	2					
Py-C4		50		2	2					
Py-C5		50		2	2	8,1	117			
Test 12	Ağırlık		Tenör %				Verim %			
	gr	%	Au (ppm)	Fe	As	S	Au (%)	Fe	As	S
Py-C1	40,8	4,1	7,4	34,0	0,9	50,7	33,0	30,1	21,8	37,0
Py-C2	59,8	6,0	7,0	37,1	1,9	55,6	45,4	48,2	64,0	59,4
Py-C3	17,2	1,7	6,8				12,8	0,0	0,0	0,0
Py-C4	7,4	0,7	3,7				3,0	0,0	0,0	0,0
Py-C5	8,7	0,9	1,2				1,1	0,0	0,0	0,0
Artık	866,1	86,6	0,05	1,2	0,0	0,2	4,7	21,6	14,2	3,6
Besleme	999,95	100	0,92	4,60	0,18	5,59	100	100	100	100
Kümülatif Toplam	Ağırlık		Tenör %				Verim %			
	gr	%	Au (ppm)	Fe	As	S	Au (%)	Fe	As	S
Py Rgh 1	40,8	4,1	7,4	34,0	0,9	50,7	33,0	30,1	21,8	37,0
Py Rgh1+2	100,6	10,1	7,1	35,8	1,5	53,6	78,4	78,4	85,8	96,4
Py Rgh 1+2+3	117,8	11,8	7,1	30,6	1,3	45,8	91,2	78,4	85,8	96,4
Py Rgh 1+2+3+4	125,2	12,5	6,9	28,8	1,2	43,1	94,2	78,4	85,8	96,4
Py Rgh 1+2+3+4+5	133,9	13,4	6,5	26,9	1,1	40,3	95,3	78,4	85,8	96,4

Tarih:19.06.2023		Sülfürlü Zon/Test13					Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER
Öğütme		20 dk		P80	50,3 µm	60 %katı		RPM: 1500	Amaç: Sülfürlü ve geçiş zonlarını blend yapmak ve KAX+A-407 etkisini incelemek	
	Eklenen Kimyasallar				Zaman (Saniye)					
	Na ₂ SiO ₃	A-407 (%1)	KAX (%1)	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh		
	g/t	g/t	g/t	µl						
Öğütme	2000				20					
Py-C1		25	25	50	2+1	2	7,6	168		
Py-C2		25	25		2	2				
Py-C3		25	25		2	2				
Py-C4		25	25		2	2				
Py-C5		25	25		2	2	8,2	130		

Test 13	Ağırlık		Tenör %				Verim %			
	gr	%	Au (ppm)	Fe	As	S	Au (%)	Fe	As	S
Py-C1	52,1	5,2	10,1	39,2	1,1	58,0	49,0	43,4	31,9	55,7
Py-C2	29,7	3,0	9,4	40,3	1,7	60,0	26,0	25,4	27,8	32,9
Py-C3	15,0	1,5	6,5				9,0	0,0	0,0	0,0
Py-C4	8,5	0,9	5,3				4,2	0,0	0,0	0,0
Py-C5	6,7	0,7	4,4				2,7	0,0	0,0	0,0
Artık	888,0	88,8	0,11	1,7	0,1	0,7	9,1	31,1	40,3	11,5
Besleme	999,93	100	1,08	4,70	0,18	5,42	100	100	100	100

Kümülatif Toplam	Ağırlık		Tenör %				Verim %			
	gr	%	Au (ppm)	Fe	As	S	Au (%)	Fe	As	S
Py Rgh 1	52,1	5,2	10,1	39,2	1,1	58,0	49,0	43,4	31,9	55,7
Py Rgh1+2	81,8	8,2	9,9	39,6	1,3	58,7	75,0	68,9	59,7	88,5
Py Rgh 1+2+3	96,8	9,7	9,3	33,5	1,1	49,6	84,0	68,9	59,7	88,5
Py Rgh 1+2+3+4	105,3	10,5	9,0	30,8	1,0	45,6	88,2	68,9	59,7	88,5
Py Rgh 1+2+3+4+5	111,9	11,2	8,7	28,9	0,9	42,9	90,9	68,9	59,7	88,5

Tarih:23.07.2023	Sülfür Zon/Test14					Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER	
Öğütme	20 dk	P80	50,3 µm	60 %katı		RPM: 1500	Amaç: Sülfürlü, geçiş ve oksitli zonları blend yapmak ve KAX+A-407 etkisini incelemek			
Eklenen Kimyasallar				Zaman (Saniye)						
Na2SiO3	A-407 (%1)	KAX (%1)	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH				Eh
g/t	g/t	g/t	µl							
Öğütme	2000			20						
Py-C1	25	25	50	2+1	2	7,6				168
Py-C2	25	25		2	2					
Py-C3	25	25		2	2					
Py-C4	25	25		2	2					
Py-C5	25	25		2	2	8,2				130
Test 14	Ağırlık		Tenör %				Verim %			
	gr	%	Au (ppm)	Fe	As	S	Au (%)	Fe	As	S
Py-C1	58,4	5,8	9,0	41,0	1,0	52,8	53,9	42,3	22,2	55,6
Py-C2	31,5	3,2	8,4	36,1	1,8	46,3	27,2	20,1	20,9	26,3
Py-C3	14,4	1,4	4,0	26,8	3,4	33,8	5,9	6,8	18,0	8,8
Py-C4	9,2	0,9	1,5	10,9	2,0	13,4	1,4	1,8	6,9	2,2
Py-C5	7,5	0,7	1,0	6,7	1,4	7,6	0,8	0,9	4,0	1,0
Artık	878,1	87,9	0,12	1,8	0,1	0,4	10,8	28,2	28,1	6,0
Besleme	998,93	100	0,97	5,67	0,27	5,55	100	100	100	100
Kümülatif Toplam	Ağırlık		Tenör %				Verim %			
	gr	%	Au (ppm)	Fe	As	S	Au (%)	Fe	As	S
Py Rgh 1	58,4	5,8	9,0	41,0	1,0	52,8	53,9	42,3	22,2	55,6
Py Rgh1+2	89,8	9,0	8,8	39,3	1,3	50,5	81,0	62,3	43,0	82,0
Py Rgh 1+2+3	104,2	10,4	8,1	37,6	1,6	48,2	86,9	69,1	61,1	90,7
Py Rgh 1+2+3+4	113,4	11,3	7,6	35,4	1,6	45,4	88,4	70,9	68,0	93,0
Py Rgh 1+2+3+4+5	120,8	12,1	7,2	33,6	1,6	43,1	89,2	71,8	71,9	94,0

Tarih:05.08.2023		Sülfüt Zon/Test15					Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER
Öğütme		20 dk		P80	50,3 µm	60 %katı	RPM: 1500	Amaç: Sülfürlü, geçiş ve oksitli zonları blend yapmak ve 8045 etkisini incelemek		
	Eklenen Kimyasallar			Zaman (Saniye)						
	Na2SiO3	8045	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh			
	g/t	g/t	µl							
Öğütme	2000			20						
Py-C1		50	50	2+1	2	7,6	134,5			
Py-C2		50		2	2					
Py-C3		50		2	2					
Py-C4		50		2	2					
Py-C5		50		2	2	7,8	39			

Test 15	Ağırlık		Tenör %				Verim %			
	gr	%	Au (ppm)	Fe	As	S	Au (%)	Fe	As	S
Py-C1	39,5	4,0	8,9	39,2	0,8	50,9	20,8	26,2	11,3	34,1
Py-C2	52,2	5,2	9,2	38,1	2,0	49,6	28,3	33,6	35,8	43,9
Py-C3	25,4	2,5	5,7	27,6	3,3	35,0	8,6	11,9	28,1	15,1
Py-C4	16,2	1,6	2,2	8,8	1,1	8,0	2,2	2,4	5,7	2,2
Py-C5	14,9	1,5	0,8	4,5	0,4	3,0	0,7	1,1	2,1	0,8
Artık	850,8	85,2	0,8	1,7	0,1	0,3	39,4	24,8	16,9	3,9
Besleme	999,03	100	1,69	5,91	0,30	5,89	100	100	100	100

Kümülatif Toplam	Ağırlık		Tenör %				Verim %			
	gr	%	Au (ppm)	Fe	As	S	Au (%)	Fe	As	S
Py Rgh 1	39,5	4,0	8,9	39,2	0,8	50,9	20,8	26,2	11,3	34,1
Py Rgh1+2	91,6	9,2	9,0	38,6	1,5	50,1	49,1	59,8	47,1	78,0
Py Rgh 1+2+3	117,1	11,7	8,3	36,2	1,9	46,8	57,7	71,7	75,2	93,1
Py Rgh 1+2+3+4	133,3	13,3	7,6	32,8	1,8	42,1	59,9	74,1	81,0	95,3
Py Rgh 1+2+3+4+5	148,2	14,8	6,9	30,0	1,7	38,1	60,6	75,2	83,1	96,1

Tarih:05.08.2023		Sülfür Zon/Test16					Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	5 lt - 650 cc DENVE
Öğütme		20 dk		P80	50,3 µm	60 %katı		RPM: 1500	Amaç: Sülfürlü ve geçiş zonlarını blend yaparak, KAX+A-407 kollektörlerini kullanarak temizleme yapmak	
	Eklenen Kimyasallar				Zaman (Saniye)					
	Na2SiO3	A-407 (%1)	KAX (%1)	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh		
	g/t	g/t	g/t	µl						
Öğütme	2000				20					
Py-C1		25	25	50	2+1	2	7,5	112		
Py-C2		25	25		2	2				
Py-C3		25	25		2	2				
Py-C4		25	25		2	2				
Py-C5		25	25		2	2	7,8	152		
Test 16	Ağırlık		Tenör (%)				Distribution, %			
	g	%	Au, g/t	As	Fe	S	Au	As	Fe	S
Besleme	1001,00	100,0	1,0	0,28	6,12	6,82	100,0	100,0	100,0	100,0
Kaba Konsantre	121,33	12,1	7,0	1,67	37,37	51,23	84,9	71,8	74,0	91,1
Kaba Artık	879,67	87,9	0,2	0,09	1,81	0,69	15,1	28,2	26,0	8,9
Temizleme Artık-1	48,18	4,8	5,0	2,81	27,57	36,36	24,4	48,2	21,7	25,7
Temizleme Konsantre-1	73,15	7,3	8,2	0,91	43,83	61,02	60,6	23,6	52,3	65,4
Temizleme Artık-2	21,63	2,2	8,7	1,56	43,55	60,56	19,0	12,0	15,4	19,2
Nihai Konsantre	51,52	5,1	8,0	0,63	43,95	61,21	41,6	11,6	37,0	46,2

Tarih:05.08.2023	Sülfid Zon/Test17			Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER			
Öğütme	20 dk	P80	50,3 µm	60 %katı	RPM: 1500	Amaç: Sülfürlü ve geçiş zonlarını blend yaparak, 8045 kollektörlerini kullanarak temizleme yapmak				
Eklenen Kimyasallar			Zaman (Saniye)							
Na2SiO3	8045	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH			Eh		
g/t	g/t	µl								
Öğütme	2000		20							
Py-C1	50	50	2+1	2	7,6			108		
Py-C2	50		2	2						
Py-C3	50		2	2						
Py-C4	50		2	2						
Py-C5	50		2	2	7,5			117		
Test 17	Ağırlık		Tenör (%)				Distribution, %			
	g	%	Au, g/t	As	Fe	S	Au	As	Fe	S
Besleme	1001,00	100,0	1,0	0,17	6,64	7,86	100,0	100,0	100,0	100,0
Kaba Konsantre	133,36	13,3	6,8	1,04	41,09	56,85	86,7	83,6	82,5	96,4
Kaba Artık	867,64	86,7	0,2	0,03	1,34	0,33	13,3	16,4	17,5	3,6
Temizleme Artık-1	49,13	4,9	4,7	0,80	44,73	62,51	22,2	23,6	33,1	39,0
Temizleme Konsantre-1	84,23	8,4	8,0	1,18	38,97	53,54	64,6	59,9	49,4	57,3
Temizleme Artık-2	18,84	1,9	7,7	2,89	23,09	29,19	13,9	32,7	6,5	7,0
Nihai Konsantre	65,39	6,5	8,1	0,69	43,55	60,56	50,7	27,2	42,9	50,3

Tarih:19.01.2023	Geçiş Zonu/Test 3						Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER				
Öğütme	25 dk		P80		42,3 µm	60 %katı	RPM: 1700	Amaç: Kademeli toplayıcı etkisi (300 g/t) ve kinetik test incelenmesi						
Eklenen Kimyasallar			Zaman (Saniye)											
	Na2SiO3	KAX (%1)	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh							
	g/t	g/t	µl											
Öğütme	2000			25										
Py-C1		50	50	2+1	2	7,7	90							
Py-C2		50	50	2+1	2									
Py-C3		50		2	2									
Py-C4		50		2	2									
Py-C5		50		2	2									
Py-C6		50		2	2	8,2	-58							
Test 3	Ağırlık		Tenör %						Verim %					
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	S
Py-C1	38,4	3,9	11,7	0,04	36,9	0,04	0,02	18,3	70,5	17,4	34,1	8,2	10,0	69,5
Py-C2	18,4	1,9	2,9	0,03	12,6	0,03	0,02	9,1	8,5	8,0	5,6	3,7	3,4	16,5
Py-C3	13,5	1,4	1,4	0,03	6,8	0,04	0,02	3,9	3,0	5,3	2,2	2,7	2,2	5,2
Py-C4	10,9	1,1	1,0	0,02	5,1	0,03	0,02	1,7	1,6	2,8	1,3	2,1	1,7	1,8
Py-C5	11,7	1,2	0,7	0,01	4,0	0,03	0,01	0,8	1,3	2,0	1,1	1,9	1,7	1,0
Py-C6	12,4	1,2	0,6	0,01	3,9	0,03	0,01	0,6	1,1	1,9	1,2	1,9	1,8	0,7
Artık	887,2	89,4	0,1	0,01	2,6	0,02	0,01	0,1	13,9	62,5	54,5	79,5	79,1	5,3
Besleme	992,38	100	0,64	0,01	4,18	0,02	0,01	1,02	100	100	100	100	100	100
Kümülatif Toplam	Ağırlık		Tenör %						Verim %					
	gr	%	Au (ppm)	Cu	Fe	Pb	Zn	S	Au (%)	Cu	Fe	Pb	Zn	S
Py Rgh 1	38,4	3,9	11,7	0,01	36,92	0,04	0,02	18,26	70,51	17,44	34,10	8,22	9,98	69,50
Py Rgh1+2	56,8	5,7	8,9	0,04	29,04	0,04	0,02	15,28	79,01	25,48	39,69	11,87	13,37	86,04
Py Rgh 1+2+3	70,2	7,1	7,4	0,03	24,76	0,04	0,02	13,08	82,00	30,77	41,89	14,61	15,61	91,20
Py Rgh 1+2+3+4	81,2	8,2	6,6	0,03	22,11	0,04	0,02	11,55	83,63	33,60	43,22	16,75	17,35	93,00
Py Rgh 1+2+3+4+5	92,9	9,4	5,8	0,03	19,83	0,03	0,02	10,20	84,97	35,61	44,35	18,61	19,09	93,98
Py Rgh 1+2+3+4+5+6	105,2	10,6	5,2	0,03	17,96	0,03	0,02	9,07	86,06	37,48	45,51	20,50	20,91	94,72

Tarih:24.06.2023	Geçiş Zonu/Test 4			Besleme		1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER	
Öğütme	25 dk	P80	42,3 µm	60 %katı	RPM: 1700	Amaç: Kademeli toplayıcı etkisi 8045 (300 g/t) ve kinetik test incelenmesi.			
Eklenen Kimyasallar			Zaman (Saniye)						
Na2SiO3	8045	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH				Eh
g/t	g/t	µl							
Öğütme Condition	2000	300	25		8,0				151
Py-C1	50	50	2+1	2					
Py-C2	50		2	2					
Py-C3	50		2	2					
Py-C4	50		2	2					
Py-C5	50		2	2					
Py-C6	50		2	2	8,1	44			

Test 4	Ağırlık		Tenör %				Verim %			
	gr	%	Au (ppm)	Fe	As	S	Au (%)	Fe	As	S
Py-C1	33,8	3,3	12,3	37,1	2,78	50,3	67,4	31,6	47,1	85,0
Py-C2	10,9	1,1	6,8	10,9	1,20	12,1	12,2	3,0	6,6	6,6
Py-C3	8,6	0,9	1,2	5,3	0,38	3,8	1,7	1,2	1,7	1,6
Py-C4	11,6	1,2	1,3	3,3	0,19	1,5	2,4	1,0	1,1	0,9
Py-C5	14,5	1,4	0,8	4,4	0,22	1,1	1,8	1,6	1,6	0,8
Py-C6	19,5	1,9	0,4	3,8	0,17	0,6	1,2	1,9	1,7	0,6
Artık	912,2	90,2	0,1	2,6	0,09	0,1	13,3	59,8	40,3	4,6
Besleme	1011,16	100	0,61	3,92	0,20	1,98	100	100	100	100

Kümülatif Toplam	Ağırlık		Tenör %				Verim %			
	gr	%	Au (ppm)	Fe	As	S	Au (%)	Fe	As	S
Py Rgh 1	33,8	3,3	12,3	37,07	2,78	50,30	67,43	31,57	47,11	84,95
Py Rgh1+2	44,7	4,4	11,0	30,66	2,39	40,95	79,58	34,57	53,67	91,58
Py Rgh 1+2+3	53,3	5,3	9,4	26,57	2,07	34,96	81,26	35,73	55,33	93,23
Py Rgh 1+2+3+4	64,9	6,4	7,9	22,40	1,73	28,97	83,67	36,69	56,45	94,10
Py Rgh 1+2+3+4+5	79,5	7,9	6,6	19,11	1,46	23,86	85,47	38,30	58,08	94,86
Py Rgh 1+2+3+4+5+6	98,9	9,8	5,4	16,10	1,20	19,28	86,67	40,17	59,73	95,44

Tarih:18.06.2023		Geçiş Zonu/Test 6					Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER
Öğütme		25 dk		P80	42,3 µm	60 %katı		RPM: 1700		
	Eklenen Kimyasallar				Zaman (Saniye)					
	Na ₂ SiO ₃	A-407	KAX (%1)	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh		
	g/t	g/t	g/t	µl						
Öğütme	2000				25					
Py-C1		25	25	50	2+1	2	7,9	157		
Py-C2		25	25		2	2				
Py-C3		25	25		2	2				
Py-C4		25	25		2	2				
Py-C5		25	25		2	2				
Py-C6		25	25		2	2	8,2	25		

Amaç: Kademeli toplayıcı etkisi A-407 ve Kax sinerjik etki (300 g/t) ve kinetik test incelenmesi.

Test 6	Ağırlık		Tenör %	Verim %
	gr	%	Au (ppm)	Au (%)
Py-C1	28,4	2,9	13,5	60,0
Py-C2	8,8	0,9	11,2	15,4
Py-C3	4,0	0,4	3,9	2,4
Py-C4	3,2	0,3	2,2	1,1
Py-C5	2,9	0,3	2,6	1,2
Py-C6	2,5	0,3	1,7	0,7
Artık	946,9	95,0	0,1	19,3
Besleme	996,74	100	0,64	100

Kümülatif Toplam	Ağırlık		Tenör %	Verim %
	gr	%	Au (ppm)	Au (%)
Py Rgh 1	28,4	2,9	13,5	60,01
Py Rgh1+2	37,2	3,7	12,9	75,41
Py Rgh 1+2+3	41,2	4,1	12,1	77,83
Py Rgh 1+2+3+4	44,4	4,5	11,4	78,90
Py Rgh 1+2+3+4+5	47,3	4,7	10,8	80,08
Py Rgh 1+2+3+4+5+6	49,8	5,0	10,4	80,74

Tarih:26.04.2023	Oksitli Zon/Test 1					Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER									
Öğütme		20 dk	P80	43,4 µm	60 %katı	RPM: 1500			Amaç: Kademeli KAX etkisini ve oksitli zonda pirit flotasyonu yaparak sonuçları incelemek									
	Eklenen Kimyasallar			Zaman (dk)														
	Na2SiO3	KAX (%1)	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh											
	g/t	g/t	µl															
Öğütme	2000	250 g/t		20														
Py-C1		50	25	2+1	2	8,5	141											
Py-C2		50		2	2													
Py-C3		50		2	2													
Py_C4		50		2	2													
Py_C5		50		2	2													
Test 1	Ağırlık		Tenör %							Verim %								
	gr	%	Au	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S		
Py-C1	51,5	5,2	1,6	0,01	5,7	0,04	0,02	0,4	1,1	13,3	6,2	6,0	5,5	5,5	6,5	22,8		
Py-C2	27,6	2,8	1,6	0,01	6,2	0,04	0,02	0,5	1,7	7,0	3,6	3,5	3,1	3,2	4,0	18,0		
Py-C3	16,6	1,7	2,3	0,01	6,5	0,04	0,03	0,6	1,9	6,2	2,4	2,2	1,9	2,0	2,7	12,7		
Py-C4	13,6	1,4	1,8	0,01	5,9	0,04	0,03	0,5	1,1	4,0	2,0	1,6	1,5	1,7	2,0	5,7		
Py-C5	16,5	1,7	1,2	0,01	5,4	0,04	0,02	0,4	0,5	3,2	2,2	1,8	1,8	1,9	2,0	3,1		
Artık	864,8	87,3	0,5	0,01	4,8	0,03	0,02	0,3	0,1	66,3	83,6	84,9	86,2	85,8	82,7	37,6		
Besleme	990,8	100,0	0,62	0,01	4,97	0,03	0,02	0,35	0,26	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
Kümülatif Toplar	Ağırlık		Tenör %							Verim %								
	gr	%	Au	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S	Au	Cu	Fe	Pb	Zn	As	S		
Py Rgh 1	51,5	5,2	1,6	0,01	5,7	0,04	0,02	0,4	1,1	13,3	6,2	6,0	5,5	5,5	6,5	22,8		
Py Rgh1+2	79,1	8,0	1,6	0,01	5,9	0,04	0,02	0,5	1,3	20,3	9,8	9,5	8,6	8,7	10,5	40,8		
Py Rgh 1+2+3	95,8	9,7	1,7	0,01	6,0	0,04	0,02	0,5	1,4	26,5	12,2	11,7	10,4	10,7	13,3	53,5		
Py Rgh 1+2+3+4	109,4	11,0	1,7	0,01	6,0	0,04	0,02	0,5	1,4	30,5	14,2	13,3	11,9	12,4	15,2	59,2		
Py Rgh 1+2+3+5	125,9	12,7	1,6	0,01	5,9	0,04	0,02	0,5	1,3	33,7	16,4	15,1	13,8	14,2	17,3	62,4		

Tarih:20.06.2023		Oksit Zon/Test 2				Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER
Öğütme		20 dk	P80	43,4 µm	60 %katı	RPM: 1700		Amaç: A-825 toplayıcısının etkisini incelemek	
	Eklenen Kimyasallar			Zaman (dk)					
	Na2SiO3	A-825	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh		
	g/t	g/t	µl						
Öğütme	3000	500 g/t		20					
Condition				20		9,2	203		
C1					10	4,5	373		
Test 2	Ağırlık		Tenör %			Verim %			
	gr	%	Au	Fe	S	Au	Fe	S	
C1	85,9	8,6	0,9	5,3	0,3	11,3	8,9	8,9	
Artık	915,0	91,4	0,7	5,1	0,3	88,7	91,1	91,1	
Besleme	1000,9	100,0	0,67	5,09	0,25	100,0	100,0	100,0	

Tarih:06.08.2023		Oksit Zon/Test 3			Besleme	1 kg	Hücre Hacmi	2.5 lt DENVER
Öğütme		20 dk	P80	43,4 µm	60 %katı	RPM: 1700		
	Eklenen Kimyasallar				Zaman (dk)			
	CaO	Na2SiO3	A-825	MIBC	Koşullanma	Yüzdürme	pH	Eh
	10%	g/t	g/t	µl				
Öğütme		1000	500 g/t		20			
Condition					20+1		9,1	
C1						10	5,2	
Amaç: A-825 toplayıcısının etkisini incelemek(Yüksek katı oranında koşullandırma)								
Test 3	Ağırlık		Tenör %			Verim %		
	gr	%	Au	Fe	S	Au	Fe	S
C1	222,1	22,2	0,9	5,4	0,4	27,0	23,2	32,8
Artık	777,0	77,8	0,7	5,1	0,2	73,0	76,8	67,2
Besleme	999,1	100,0	0,77	5,19	0,28	100,0	100,0	100,0