

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**PİRİT VE ARSENOİRİT MİNERALLERİ İÇERİSİNDE BULUNAN
REFRAKTER FORMDAKİ ALTININ ZENGİNLEŞTİRME
YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alperen KÖLE

Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı

Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2025

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**PİRİT VE ARSENOİRİT MİNERALLERİ İÇERİSİNDE BULUNAN
REFRAKTER FORMDAKİ ALTININ ZENGİNLEŞTİRME
YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Alperen KÖLE
(505221101)**

Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı

Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat Olgaç KANGAL

HAZİRAN 2025

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**RESEARCH AND APPLICATIONS OF GOLD ENRICHMENT
METHODS IN REFRACTORY FORM IN PYRITE AND
ARSENOPYRITE MINERALS**

M.Sc. THESIS

**Alperen KÖLE
(505221101)**

Department of Mineral Processing Engineering

Mineral Processing Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Murat Olgaç KANGAL

JUNE 2025

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 505221101 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Alperen KÖLE, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "PİRİT VE ARSENOPIRİT MİNERALLERİ İÇERİSİNDE BULUNAN REFRAKTER FORMDAKİ ALTININ ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE UYGULAMALARI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. M. Olğaç KANGAL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Feridun BOYLU**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İPEK

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Teslim Tarihi :29.05.2025
Savunma Tarihi :20.06.2025





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitim sürecimde bana desteklerini esirgemeyen her danıştığım da sorularımı yanıtsız bırakmayan çok değerli hocam, tez danışmanım ve bölüm başkanımız Prof. Dr. Murat Olgaç KANGAL'a çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans ve lisans serüvenim boyunca her zaman bana destek olan, bana mesleğimi sevdiren çok değerli hocalarım Prof. Dr. A. Ekrem YÜCE, Prof. Dr. Gülay BULUT, Dr. Öğr. Üys. Esra BAŞTÜRKCÜ, Prof. Dr. Feridun BOYLU ve Doç. Dr. Hüseyin BAŞTÜRKCÜ'ye teşekkür ederim. Çok değerli hocalarım Arş. Gör. Zeynep ÜÇERLER, Arş. Gör. Tülin ULUCAN, Arş. Gör. Gülşah GÜVEN ve hiçbir zaman yardımını esirgemeyen değerli arkadaşım Arş. Gör. Nazlım İlkyaz DİNÇ'e teşekkür ederim.

Kıymetli eşim Yeşim Esra KÖLE'ye, eğitim hayatım boyunca bütün imkanlarını benim için seferber eden ve her zaman yanımda olan annem Esra KÖLE'ye, babam Ahmet KÖLE'ye ve kardeşim Bahadır KÖLE'ye teşekkür ederim. Yüksek lisans ve lisans eğitim hayatımın başından sonuna kadar yanımda olan kıymetli arkadaşlarım Yağız ŞEN ve Yuşa ŞAHİN'e teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca sayısız destekleri için Barış AYDEMİR ve İbrahim EMRAH'a teşekkür ederim.

Bu tezdeki çalışmaların tamamı, ETİ Bakır A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların yapılmasına olanak sağlayan ve her zaman mesleki, kişisel gelişimime katkıda bulunan AR&GE Direktörümüz Sn. İbrahim GÖKTAŞ'a, tez çalışmalarında desteklerini esirgemeyen değerli çalışma arkadaşlarım Mustafa ÖZTÜRK'e, Ahmet YAKAR'a, Begüm YÜCEL'e, Yağız Kerem YALÇIN'a, Kutay AYDINBURUN'a, Hande Burçin HARMANCI'ya, Gizem DEMİRDAĞ ÖZEL'e, Sezer KABAOĞLU'na, ve Fatih ÖZEL'e teşekkür ederim. Tez kapsamında laboratuvar çalışmaları, kimyasal ve mineralojik analizler hususunda tarafıma sağladığı imkanlar için ETİ Bakır A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Haziran 2025

Alperen KÖLE
Cevher Hazırlama Mühendisi



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. ALTIN HAKKINDA GENEL BİLGİLER	3
2.1 Altının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	3
2.2 Formülünde Altın İçeren Başlıca Mineraller.....	4
2.3 Dünya’da ve Türkiye’de Altın Rezervleri.....	4
2.4 Dünya’da ve Türkiye’de Altın Üretimi	5
2.5 Dünya Altın Fiyatları.....	6
2.6 Altın Kullanım Alanları.....	7
2.6.1 Mücevherat Sektörü	7
2.6.2 Yatırım ve Finans Sektörü	7
2.6.3 Endüstriyel Uygulamalar	7
2.6.4 Tıp Sektörü.....	7
2.7 Altın Zenginleştirme Yöntemleri	8
2.7.1 Amalgamasyon.....	8
2.7.2 Gravimetrik yöntemler	8
2.7.3 Flotasyon	9
2.7.4 Siyanürizasyon (Liç)	9
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	11
3.1 Malzeme ve Yöntem	11
3.1.1 Numunelerin hazırlanması	11
3.2.2 Öğütme kinetiği testleri.....	12
3.2.3 Kimyasal analizler.....	13
3.2.4 Mineralojik analizler	13
3.2.4.1 Cevher mikroskobu görüntüleri	13
3.2.4.2 SEM-MLA görüntüleri	14
3.2 Flotasyon Testleri	19
3.2.1 Besleme tane boyutunun altın kazanımına etkisi	19
3.2.2 MaxGold 900 altın kollektörünün altın kazanımına etkisi.....	20
3.2.3 Kaba kinetik flotasyon	22
3.2.4 Kollektör dozajının altın verimine etkisi.....	23
3.2.5 Bakır sülfatın altın verimine etkisi	25
3.2.6 Temizleme ve süpürme devresi içeren açık devre flotasyon deneyi.....	27
3.2.6 Kapalı devre flotasyon deneyleri	29

3.2.7 Flotasyon koşullarını düzeltmek için yapılan optimizasyonlar	32
3.3 Knelson Konsantratör Deneyleri	34
3.4 Knelson Konsantratör Entegre Edilmiş Kapalı Devre Flotasyon Deneyi	35
3.5 Şişe (Bottle-Roll) Testleri.....	38
3.6 Kavurma Yoluyla Oksidasyon Testleri	39
3.6.1 Ön ısıtmalı kavurma testleri	40
3.6.2 Ön ısıtma olmadan (şoklama yöntemiyle) yapılan kavurma testleri.....	41
4. SONUÇLAR	43
KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ.....	49



KISALTMALAR

SBX	: Sodyum Bütül Ksantat
MIBC	: Metil İzobütül Karbinol
USGS	: United States Geological Survey
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
MLA	: Mineral Liberation Analysis (Tane Serbestleşme Analizi)
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
K	: Konsantre
A	: Atık
T2K	: Temizleme 2 Konsantre
T2A	: Temizleme 2 Atık
T1A	: Temizleme 1 Atık
SK	: Süpürme Konsantre
TK	: Temizleme Konsantre
AÜTK1	: Araürün Temizleme Konsantre -
AÜTK2	: Araürün Temizleme Konsantre - 2
AÜTK3	: Araürün Temizleme Konsantre - 3
AÜTA	: Araürün Temizleme Atık
AÜA	: Araürün Atık



SEMBOLLER

%	: Yüzde
Σ	: Kümülatif Toplam
C°	: Santigrat Derece
dev	: Devir
dk	: Dakika
sa	: Saat
g	: Gram
kg	: Kilogram
L	: Litre
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
μm	: Mikrometre
ppm	: Parts per million (Milyonda bir)
g/t	: Gram/Ton



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Altın içeren minerallerin çizelgesi.	4
Çizelge 2.2 : Dünya yeraltı altın rezervleri tablosu.	5
Çizelge 3.1 : Farklı sürelerde öğütülen numunelerin elek analizi sonuçları.....	12
Çizelge 3.2 : Prevanly besleme numunesine ait kimyasal analiz sonuçları.....	13
Çizelge 3.3 : -106+75 mikron boyut aralığında minerallerin serbestleşme dereceleri.	15
Çizelge 3.4 : -75+53 mikron boyut aralığında minerallerin serbestleşme dereceleri.	15
Çizelge 3.5 : -53+38 mikron boyutunda minerallerin serbestleşme dereceleri.	16
Çizelge 3.6 : -38+20 mikron boyutunda minerallerin serbestleşme dereceleri.	16
Çizelge 3.7 : Pirit mineralinin boyut fraksiyonlarına göre serbestleşme oranları. ...	16
Çizelge 3.8 : Arsenopirit mineralinin boyut fraksiyonlarına göre serbestleşme oranları.	17
Çizelge 3.9 : Pirit minerallerinin bağlı olduğu yan kayaçlar.	17
Çizelge 3.10 : Arsenopirit minerallerinin bağlı olduğu yan kayaçlar.....	17
Çizelge 3.11 : 57,21 ppm altın içeren numunenin modal mineraloji ve elementel dağılım tablosu.	19
Çizelge 3.12 : Tane boyutu denemelerinin parametreleri ve deney sonuçları.....	20
Çizelge 3.13 : MaxGold kullanılmayan deneye ait bilgiler.	21
Çizelge 3.14 : 25 g/t MaxGold kullanılan deneye ait bilgiler.....	21
Çizelge 3.15 : Kaba kinetik flotasyon deney parametreleri ve altın tenör – verim grafiği.	22
Çizelge 3.16 : 75 g/t SBX kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.	23
Çizelge 3.17 : 125 g/t SBX kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.	24
Çizelge 3.18 : 175 g/t SBX kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.	24
Çizelge 3.19 : 0 g/t CuSO ₄ kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.	25
Çizelge 3.20 : 400 g/t CuSO ₄ kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.	26
Çizelge 3.21 : 600 g/t CuSO ₄ kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.	26
Çizelge 3.22 : 800 g/t CuSO ₄ kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.	26
Çizelge 3.23 : 1000 g/t CuSO ₄ kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.	27
Çizelge 3.24 : Açık devre temizleme deneyine ait parametreler ve sonuçlar.....	28
Çizelge 3.25 : 1. Kapalı devre deneyine ait parametreler.....	30

Çizelge 3.26 : 1. Kapalı devre deneyine ait sonuçlar.....	30
Çizelge 3.27 : 2. Kapalı devre deneyine ait parametreler.....	31
Çizelge 3.28 : 2. Kapalı devre deneyine ait sonuçlar.....	32
Çizelge 3.29 : Araürün ve süpürme devresi eklenmiş deney parametreleri.	34
Çizelge 3.30 : Araürün ve süpürme devresi eklenmiş deney sonuçları.	34
Çizelge 3.31 : Knelson konsantratör deney parametreleri.	35
Çizelge 3.32 : Knelson konsantratör deney sonuçları.....	35
Çizelge 3.33 : Knelson konsantratör eklenmiş kapalı devre deneyi parametreleri....	36
Çizelge 3.34 : Knelson konsantratör eklenmiş kapalı devre flotasyon deneyi sonuçları.	38
Çizelge 3.35 : Şişe testleri genel parametreleri.....	38
Çizelge 3.36 : Ön ısıtmalı kavurma deneyi parametreleri.	40
Çizelge 3.37 : Şoklama yöntemi ile yapılan deney parametreleri.	41
Çizelge 3.38 : Kavurma sıcaklığına bağlı kükürt yanma oranları.	41



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Yıllara bağlı dünya altın üretimi.	6
Şekil 2.2 : Yıllara bağlı Türkiye’de altın üretimi.	6
Şekil 2.3 : Yıllara bağlı dünya altın fiyatları.	7
Şekil 3.1 : Tane boyutu denemesi tenör-verim grafiği kompozit hale getirilen numunelerin hazırlanış şeması.	11
Şekil 3.2 : Öğütme kinetiği log-normal grafiği.	12
Şekil 3.3 : Numuneye ait cevher mikroskobu görüntüleri.....	14
Şekil 3.4 : 57,21 ppm altın içeren numuneye ait SEM görüntüsü.	18
Şekil 3.5 : Tane boyut denemesi altın tenör-verim grafiği.	20
Şekil 3.6 : MaxGold900 kollektörünün altın verimine etkisi tenör-verim grafiği.....	22
Şekil 3.7 : Kaba kinetik altın verimi grafiği.	23
Şekil 3.8 : Kollektör dozajı denemesi tenör verim grafiği.....	25
Şekil 3.9 : Bakır sülfat ile yapılan deneylerin tenör-verim-miktar grafiği.	27
Şekil 3.10 : Açık devre temizleme deneyine ait akım şeması.	28
Şekil 3.11 : 1. Kapalı devre deneyine ait akım şeması.	29
Şekil 3.12 : 2. Kapalı devre deneyine ait akım şeması.	31
Şekil 3.13 : Araürün ve süpürme devresi eklenmiş deneye ait akım şeması.....	33
Şekil 3.14 : Knelson konsantratör eklenmiş kapalı devre flotasyon deneyi akım şeması (Kapalı Devre-3).....	37
Şekil 3.15 : Kapalı devre- 1 deneyinin atıklarına yapılan şişe testi sonuçları.	39
Şekil 3.16 : Kapalı devre- 2 deneyinin atıklarına yapılan şişe testi sonuçları.....	39
Şekil 3.17 : Ön ısıtmalı kavurmaya tabi tutulmuş numuneye ait şişe testi zaman-verim grafiği.	41
Şekil 3.18 : Şoklama yoluyla kavurmaya tabi tutulmuş numuneye ait şişe testlerinin sıcaklığa bağlı altın kazanma verimi grafiği.	42



PİRİT VE ARSENOİRİT MİNERALLERİ İÇERİSİNDE BULUNAN REFRAKTER FORMDAKİ ALTININ ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE UYGULAMALARI

ÖZET

Altın, doğada serbest halde bulunabildiği gibi çeşitli sülfürlü ve arsenikli minerallerin kristal kafes yapıları içerisinde mikroskobik veya atomik ölçekte de yer alabilmektedir. Bu nedenle altının mineralojik bağlılık durumu, zenginleştirme sürecinde uygulanacak yöntemlerin seçiminde belirleyici bir rol oynamaktadır. Özellikle altının refrakter olduğu durumlarda, klasik siyanür liçi yöntemleri ekonomik olarak verimli sonuçlar vermemektedir. Günümüzde en yaygın kullanılan altın zenginleştirme yöntemi olan siyanürizasyon (liç) yöntemi, yalnızca serbest ve yüzeyi açıkta bulunan altın taneciklerinde etkili olabilmektedir. Pirit ve arsenopirit mineralleri içerisinde ince taneli veya ince dağılmış şekilde bulunan refrakter altın, liç yöntemi ile doğrudan çözülememektedir. Altını çevreleyen sülfürlü yapı nedeniyle altının yüzeyini siyanür çözeltilisine karşı geçirimsiz hale getirerek çözünmesini engellemektedir.

Refrakter altın cevherlerinin değerlendirilmesinde, öncelikli olarak uygun ön zenginleştirme tekniklerinin uygulanması gerekmektedir. Bu noktada flotasyon yöntemi, sülfürlü minerallerin yoğunluk ve yüzey özelliklerinden faydalanılarak zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Flotasyon sonucunda elde edilen sülfürlü konsantre, doğrudan siyanürleme işlemine tabi tutulmadan önce çeşitli oksidasyon yöntemleriyle (basınçlı oksidasyon – POX, biyooksidasyon – BIOX, kavurma) işlenerek altının çözünür hale getirilmesi sağlanmaktadır. Bu işlemler sayesinde minerallerin yapısındaki sülfür ve arsenik oksitlenerek mineraller siyanür liçine uygun hale gelmektedir. Alternatif olarak bu tür konsantreler, pirometalurjik yöntemler kullanılarak yani izabe prosesiyle yüksek sıcaklıklarda ergitilerek de işlenebilmektedir. Endüstriyel altın üretim tesislerinde, özellikle düşük tenörlü cevherlerin işlendiği durumlarda, zaman zaman yüksek altın içeriğine sahip ancak refrakter nitelikte olan piritli ve arsenopiritli cevherlerle karşılaşılabilir. Bu durumda mevcut tesis tasarımı yalnızca klasik liç işlemlerine uygun olduğundan, altın geri kazanımında ciddi kayıplar yaşanabilmektedir. Bu tür cevherlerin işlenebilmesi ve içerdikleri altının ekonomik olarak kazanılabilmesi için proses akım şemasında revizyonlar yapılması, örneğin flotasyon ve oksidasyon birimlerinin entegre edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Kırgızistan Tereksay Bölgesi'ne ait Prevanly cevherinin değerlendirilmesi için yapılan bu tez çalışması kapsamında, 2,99 ppm altın içeren numuneler detaylı kimyasal ve mineralojik analizlere tabi tutulmuştur. Cevher mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu ile yapılan mineralojik incelemeler sonucunda, altının yüzey vermediği, sülfür mineralleri içerisinde kapanım halde bulunduğu tespit edilmiştir. Sülfürlü minerallere ek olarak gang mineralleri ağırlıklı olarak kuvars, muskovit ve dolomit mineral yapılarından oluşmaktadır. Bottle-roll testleri ile en fazla %25 altın kazanma

verimine ulaşılan numuneler flotasyona tabi tutulmuştur. Flotasyon testleri sonrasında %90 altın kazanma verimlerine ulaşılmıştır. Test sonuçlarının temsiliyetini arttırmak amacıyla kapalı devre deneyleri yapılmıştır. Kapalı devre deneylerinde, gang minerallerinin devredeki yükü arttırarak tenör-verim değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Gang minerallerini sistemden uzaklaştırmak amacıyla Knelson konsantratör kullanılmıştır. Yapılan kapalı devre deneyleri sonucunda 57,21 ppm altın içerikli konsantre %76,48 altın kazanma verimi ile elde edilmiştir. Flotasyon testlerine ek olarak yapılan kavurma ve ardından liç deneylerinde %75-80 altın kazanma verimlerine ulaşılmıştır.



RESEARCH AND APPLICATIONS OF GOLD ENRICHMENT METHODS IN REFRACTORY FORM IN PYRITE AND ARSENOPYRITE MINERALS

SUMMARY

Gold can occur in nature both in its native metallic form and finely disseminated within the crystal lattice structures of various sulfide and arsenide minerals. The mineralogical association of gold plays a crucial role in determining the most appropriate beneficiation methods. In particular, when gold is present in a refractory form, conventional cyanide leaching techniques often fail to achieve economically viable recovery rates. The most widely employed method for gold extraction today cyanidation (leaching) is effective primarily for free-milling gold particles that are exposed and unencapsulated. However, refractory gold that occurs as fine particles or is finely disseminated within pyrite and arsenopyrite cannot be effectively leached using standard cyanidation due to the impermeable sulfide matrix surrounding the gold, which inhibits its dissolution.

The effective processing of refractory gold ores necessitates the application of appropriate pre-concentration techniques. At this stage, flotation is commonly utilized to concentrate sulfide minerals by exploiting their differences in density and surface properties. The resulting sulfide-rich concentrate must be subjected to oxidative pre-treatment prior to cyanidation to render the encapsulated gold amenable to leaching. These oxidative processes such as pressure oxidation (POX), bio-oxidation (BIOX), or roasting serve to decompose the sulfide and arsenic compounds, thereby making the gold accessible to the cyanide solution. Alternatively, such concentrates may also be processed via pyrometallurgical methods, including smelting at elevated temperatures. In industrial-scale gold processing facilities, especially those designed for low-grade ores, it is not uncommon to encounter pyritic or arsenopyritic ores that exhibit high gold contents yet are refractory in nature. Since such plants are typically configured for conventional leaching circuits, significant losses in gold recovery can occur when processing these ores. To enable the economic recovery of gold from refractory materials, it becomes imperative to revise and optimize the process flow sheet often by incorporating flotation and oxidative treatment stages.

Within the framework of this thesis study for the evaluation of Prevanly ore of Kyrgyzstan Tereksay Region, samples containing 2.99 ppm gold were subjected to detailed chemical and mineralogical analyses. As a result of the mineralogical analyses performed by ore microscopy and scanning electron microscopy, it was determined that gold does not occur at the surface and is found as inclusions in sulphide minerals. In addition to sulphide minerals, gangue minerals consist mainly of quartz, muscovite and dolomite mineral structures. Samples with a maximum gold recovery of 25% were subjected to bottle roll tests. After the flotation tests, gold recoveries of 90% were achieved. Locked-cycle tests were carried out to increase the representativeness of the test results. In the locked cycle tests, it was found that gangue minerals increased the load on the circuit and reduced the grade efficiency values. A Knelson concentrator

was used to remove the gangue minerals from the system. As a result of the closed-circuit trials, a concentrate containing 57.21 ppm gold was obtained with a gold recovery of 76.48%. In addition to the flotation tests, 75-80% gold recovery yields were achieved in roasting and subsequent leaching experiments.



1. GİRİŞ

Cevher hazırlamada proses seçimi cevherin mineralojik, fiziksel ve kimyasal yapısına göre şekil almaktadır. Altın madenciliğinde birincil hedefler ekonomik optimizasyon ve proje spesifikasyonlarını karşılayan bir yöntemin oluşturulmasıdır. Altın cevherinin mineralojik yapısını değerlendirmek ve çevre standartlarına uygun bir teknik geliştirmek için ön testler yapılmaktadır. Altının ekstraksiyon yöntemini tespit etmek için siyanürleme analizlerinden yararlanılmaktadır. Altının refrakter yapıda olması ve istenmeyen bileşenler içermesi sonucu siyanürizasyon ile altın kazanımını düşmektedir. Sülfatlar ve silikatlar altını refrakter hale getirebilmektedir, karbonlu ürünler altın ekstraksiyonunu engellemektedir ve reaktif sülfatlar yüksek siyanür tüketimine yol açmaktadır. Altın zenginleştirme yöntemlerinin cevherin yapısına göre seçilmesi bu sebepten büyük önem arz etmektedir (McClelland ve McPartland, 2002).

Altın flotasyonunun ilk endüstriyel uygulamaları 1930'ların başında ksantatların ve ditiyofosfatların toplayıcı olarak kullanılmaya başlanmasıyla başlamıştır (Weinig ve Carpenter, 1937). O zamandan beri Kanada, Avustralya ve Kore gibi ülkelerde büyük ölçekli altın flotasyon işletmeleri kurulmuştur. Ancak, bu ilk tesislerde ağırlıklı olarak amin tipi toplayıcılar kullanılmıştır (Hoover, 1912; Richart, 1912; Taggart, 1927). Zaman içinde, sülfid barındıran altın cevherlerini işleyen flotasyon tesislerinin sayısı, artan küresel altın talebine bağlı olarak sürekli artmıştır. Sonuç olarak, hidrometalurjik yöntemlerle oksidasyon işlemlerinin yanı sıra kavurma ve eritme gibi pirometalurjik geri kazanım tekniklerinde de önemli ilerlemeler kaydedilmiştir (Dunne, 1991). Hem pirit hem de arsenopirit asidik ve alkali koşullar altında uygun yüzebilirlik sergilemektedir. Ksantatlar ve tiyokarbamatlar genellikle asidik pH koşullarında birincil toplayıcılar olarak kullanılırken, ditiyofosfatlar tipik olarak ikincil toplayıcılar olarak hizmet etmektedir (Broekman vd., 1987). 1980'lerde Knelson konsantratörünün piyasaya sürülmesinden bu yana, gravite ayırma teknikleri yeniden dikkat çekmiştir (Ghaffari ve Farzanegan 2017; Kökkılıç vd., 2015). Multi-Gravity Separator (MGS) nispeten düşük santrifüj kuvvetlerinde çalışırken, Falcon konsantratörler çok daha yüksek kuvvetler (tipik olarak 300 ila 600 G arasında) üretmektedir (Aslan 2007; Das

ve Sarkar 2018; Farajzadeh ve Chehreh Chelgani 2022; Majumder ve Barnwal 2006; Nayak vd., 2021). Knelson konsantratörler, 200 G'ye kadar santrifüj kuvveti üretme kapasitesine sahip olup altın ve platin grubu metallerin geri kazanımı için yaygın olarak kullanılmaktadır ve sürekli veya yarı zamanlı çalışabilmektedir (Chen vd., 2020; FLSmidth, 2023). 15-20 mikron boyutlarına kadar ince taneleri geri kazanma kabiliyetleri, ayırma verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Kökkılıç vd., 2015). Karşılaştırmalı çalışmalarda gravimetrik ayırma, flotasyondan daha düşük altın geri kazanımı sağlama eğilimindedir. Fakat gravite yöntemleriyle elde edilen konsantre kaliteleri tipik olarak daha yüksektir. Buna karşılık, flotasyon işlemleri genellikle daha düşük tenörlü konsantreler üretmektedir (Erkan vd., 2022).

Tez, Kırgızistan Tereksay Prevanly bölgesine ait sülfürlü altın cevherlerinin zenginleştirilmesine yönelik çalışmaları ve sonuçlarının yorumlarını içermektedir.

2. ALTIN HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Kimyasal sembolü Au olan ve soy metaller sınıfında bulunan altın, eşsiz özellikleri ve kültürel önemi nedeniyle tarih boyunca insanlar tarafından her zaman değerli kılınmıştır. Kullanımı 5.000 yıl öncesine kadar uzanmaktadır. Tarihi kayıtlar eski Mısırlıların altını sadece para birimi olarak değil, aynı zamanda süs ve ritüel amaçlı takılar için de kullandığını ve onu bir güç ve ölümsüzlük sembolü haline getirdiğini göstermektedir. Romalılar altının statüsünü daha da geliştirerek onu imparatorluklarında bir para birimi ve zenginlik ölçüsü haline getirmişlerdir. Orta Çağ'a gelindiğinde altın, kutsal değerini vurgulayarak Hıristiyan dini eşyalarına entegre edilmiştir. Yüzyıllar boyunca, bu değerli metalin cazibesi, 19. yüzyılda Kaliforniya ve Klondike başta olmak üzere çeşitli kıtalarda çok sayıda altına hücumu yol açmış ve bu da önemli ekonomik gelişmeleri teşvik etmiştir (Mathioudakis vd., 2023). Modern zamanlarda, altın kullanım alanları yaygınlığını arttırmıştır. Takı ve mücevherat amacının dışında, endüstride sıklıkla tercih edilmektedir. İyi elektrik ve ısı iletkenliği, işlenebilirliği ve kararmaya karşı direnci, elektrik elektronik endüstrisinde yaygın kullanılmasını sağlamaktadır (Cason vd., 2015). Altın nanoparçacıkların kullanımı tıp, kataliz ve nanoteknoloji gibi alanlarda çığır açan bir ilerleme olarak ortaya çıkmıştır. Araştırmacılar, ilaç dağıtım sistemlerinden biyoyumlu görüntüleme ajanlarına kadar çeşitli uygulamalarda altının optik özelliklerinden yararlanmışlardır (Isoda vd., 2020; Kim vd., 2011; Giasuddin vd., 2013). Bu nanopartiküller, çeşitli tıbbi uygulamalarda hedefe yönelik tedaviler ve teşhis için manipüle edilebilen benzersiz yüzey plazmon rezonansı göstermektedir (Kim vd., 2014).

2.1 Altının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Fiziksel olarak altın, kendine özgü sarı parlaklığı, yüksek özgül ağırlığı (yaklaşık 19,32 g/cm³), dövülebilirliği ve sünekliği ile tanınmaktadır. Elektrik ve ısı iletkenliği yüksektir. Ergime sıcaklığı 1064,18 °C, kaynama sıcaklığı 2970' °C' dir. Altın bilinen en dövülebilir metal olup, bir gram altın kırılmadan önce iki kilometreden uzun tel

halinde uzatılabilmektedir. (Eshraghi vd., 2010). İşlenebilirliğinin yanı sıra altın, diğer metallerle alaşım haline getirilerek çeşitli endüstriyel uygulamalar için kullanımı mevcuttur (Cason vd., 2015).

Kimyasal olarak altın nispeten inerttir. Çoğu asit ve baz ile tepkimeye girmemektedir fakat hidroklorik, nitrik asit karışımı ve siyanürler gibi bazı kompleks yapıcı maddelerde çözünebilmektedir (Eshraghi vd., 2010). Altının kararlılığı ve kararmaya karşı direnci, para ve mücevherat olarak kullanılmasını sağlamıştır. Ancak, altının kimyasal reaktivitesi nanopartikül formundayken daha belirgin hale gelmektedir çünkü boyut küçültme yüzey alanının hacme oranının artmasına neden olarak elektrokimyasal özelliklerini ve reaktivitesini önemli ölçüde değiştirmektedir (Cheng vd., 2002).

2.2 Formülünde Altın İçeren Başlıca Mineraller

Formülünde altın içeren başlıca altın mineralleri Çizelge 2.1’de yer almaktadır.

Çizelge 2.1 : Altın içeren minerallerin çizelgesi (Jones ve Fleischer, 1969).

Mineral	Formülü	Altın İçeriği, %
Maldonit	Au ₂ Bi	65
Aurostibit	AuSb ₂	43,5-51
Krennerit	AuTe ₂	30,7-43,9
Kalaverit	AuTe ₂	39,2-42,8
Silvanit	(Au, Ag) Te ₂	25,25-29,9
Kostovit	CuAuTe ₄	25,2
Petzit	Ag ₃ AuTe ₂	19-25,2
Hessit	Ag ₂ Te	4,7
Montbrayit	Au ₂ Te ₃	38,6-44,3
Aurobizmutinit	(Bi, Au,Ag) ₅ S ₆	12,3

2.3 Dünya’da ve Türkiye’de Altın Rezervleri

Dünya yeraltı altın rezervleri, 2023 yılı tahminlerine göre 54700 tondur (USGS, 2023). Dünyada en yüksek altın rezervine sahip ülke 8400 ton ile Avustralya’dır. Avustralya’yı 6800 ton ile Rusya, Rusya’yı 5000 ton ile Güney Afrika takip

etmektedir. Ülkelerin yeraltı altın rezervlerine ait bilgiler Çizelge 2.2’de yer almaktadır.

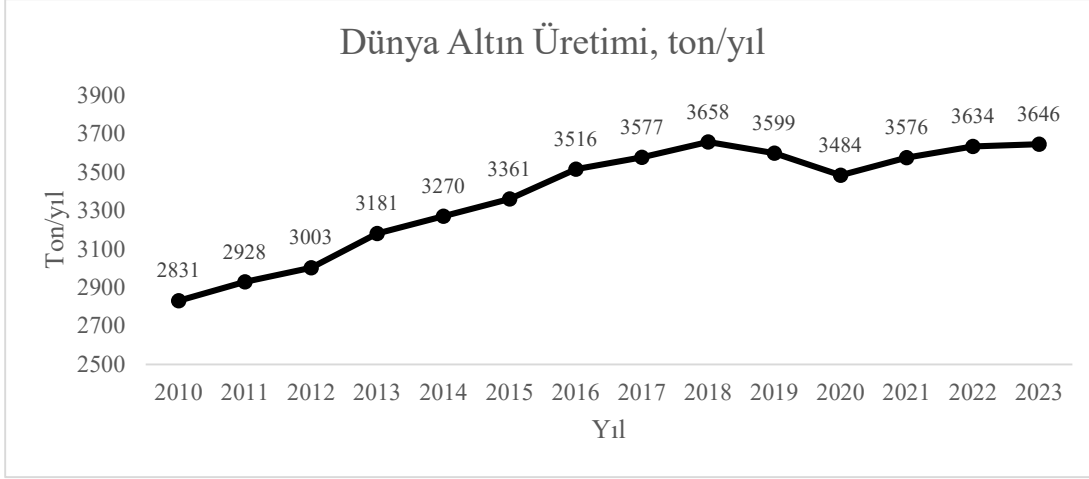
Çizelge 2.2 : Dünya yeraltı altın rezervleri tablosu.

Sıra	Ülke	Altın Rezervi (Ton)	Dünya Toplamındaki Payı (Yaklaşık %)
1	Avustralya	8400	14,7
2	Rusya Federasyonu	6800	11,9
3	Güney Afrika	5000	8,8
4	Amerika Birleşik Devletleri	3000	5,3
5	Endonezya	2600	4,6
6	Kanada	2400	4,2
7	Peru	2400	4,2
8	Çin	1900	3,3
9	Özbekistan	1800	3,2
10	Meksika	1400	2,5
11	Gana	1000	1,8
12	Brezilya	1000	1,8
13	Kazakistan	1000	1,8
-	Diğer Ülkeler	16000	28,1
	Toplam	54700	100

Türkiye’de tahmin edilen yeraltı altın rezervi 1000-1500 ton olduğu bilinmektedir (MTA, 2023).

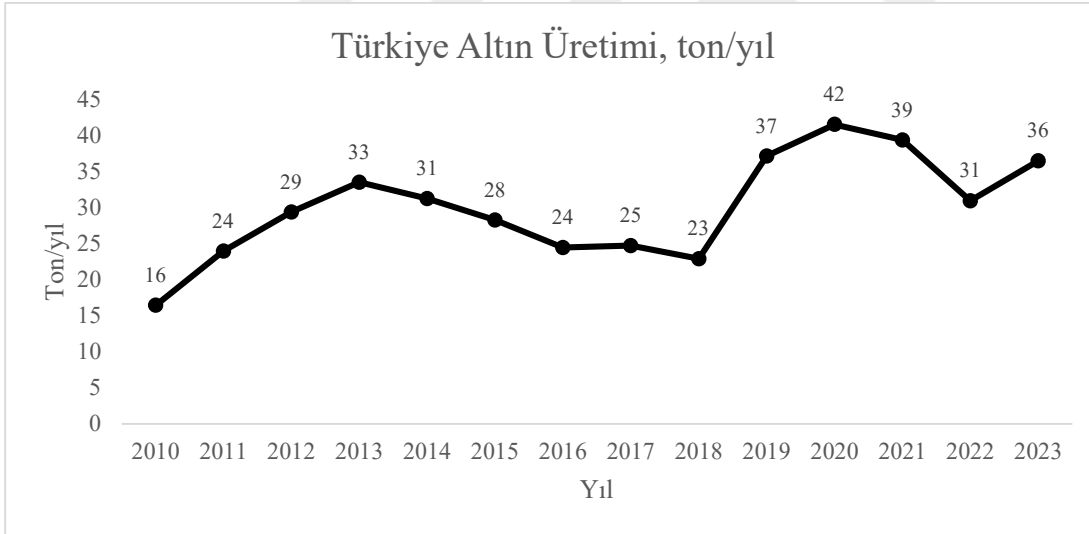
2.4 Dünya’da ve Türkiye’de Altın Üretimi

2010 ve 2023 yılları arasındaki altın üretim değerleri incelendiğinde, üretimin kademeli olarak arttığı görülmektedir. 2019-2020 yılları arasında etkili olan COVID-19 salgını nedeniyle üretimde düşüş yaşanmasına karşın, ilerleyen yıllarda artış devam etmiştir. Dünya’da üretilen toplam altının yıllara göre değişimi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Yıllara bağlı dünya altın üretimi (Metals Focus, 2024).

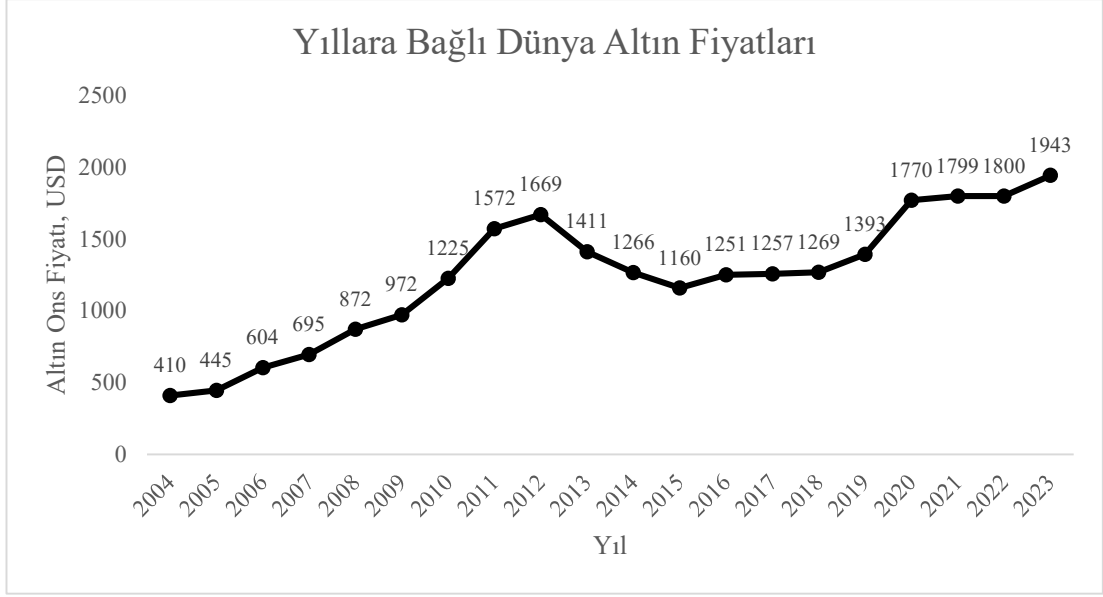
Türkiye’de yıllara bağlı altın üretimi 2020 yılında en yüksek seviyesini görmüştür. 2022 yılındaki sert düşüşün ardından tekrar yükselişe geçmiştir. Türkiye’nin 2010 ve 2023 yılları arasındaki altın üretim değerlerini içeren grafik Şekil 2.2’de yer almaktadır.



Şekil 2.2 : Yıllara bağlı Türkiye’de altın üretimi (Metals Focus, 2024).

2.5 Dünya Altın Fiyatları

Altının ons fiyatı 2004 yılında 410 USD iken 2023 yılında 1943 USD’ye ulaşmıştır. Belirli dönemlerde altın fiyatlarında düşüşler görülmesine karşın, yıllara bağlı artışı devam etmiştir. Altın fiyatlarının 2004 – 2023 arası ons fiyatını içeren grafik Şekil 2.3’te belirtilmiştir.



Şekil 2.3 : Yıllara bağlı dünya altın fiyatları (World Gold Council, 2024).

2.6 Altın Kullanım Alanları

2.6.1 Mücevherat Sektörü

Altın, parlak görüntüsü, kolay şekillenebilirliği dolayısıyla takı ve mücevherat sektöründe yoğun talep görmektedir. Kararmaya ve korozyona karşı dayanıklı olması sebebiyle uzun ömürlü kullanım imkânı sağlamaktadır (Touyz ve Touyz, 2023).

2.6.2 Yatırım ve Finans Sektörü

Altın modern finans alanında kendine özgü bir değere sahiptir. Ekonomik belirsizlik dönemlerinde genellikle “güvenli liman” olarak tercih edilmektedir (Pullen vd., 2014).

2.6.3 Endüstriyel Uygulamalar

Altın havacılık, otomotiv, elektronik gibi sayısız sektörde kullanım alanına sahiptir. Korozyona ve kimyasallara karşı dayanımı, sanayide başlıca tercih sebebi olmaktadır (Herrera ve Gimeno, 2021). Elektriği iyi iletmesi sebebiyle altın kritik elektronik ekipmanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Corti ve Holliday, 2004).

2.6.4 Tıp Sektörü

Tıp ve diş hekimliği alanında altın, biyouyumluluğu ve kalıcı nitelikleri nedeniyle tercih edilen bir malzeme olmaya devam etmektedir. Diş dolgularında ve kaplamalarında geçmişten günümüze uygulamaları devam etmektedir. İnsan vücuduna

entegre edilen yapay ekipmanlar toksik etki yaratmaması sebebiyle altın ihtiva etmektedir (Touyz ve Touyz, 2023).

2.7 Altın Zenginleştirme Yöntemleri

Altın zenginleştirme yöntemlerinde birincil ve ikincil kaynaklardan altın zenginleştirme yöntemleri mevcuttur. Teknolojinin gelişmesi ve artan hammadde talepleri doğrultusunda, elektronik atıklardan metal geri kazanımı popüler hale gelmektedir.

2.7.1 Amalgamasyon

Amalgamasyon, bilinen en eski ve geleneksel altın zenginleştirme yöntemlerindedir. Amalgamasyon işlemi sırasında altın içeren malzeme civa ile muamele edilir. Civa altın ile selektif amalgam oluşturarak ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir (Fernández vd., 2024; Velásquez-López vd., 2010).

2.7.2 Gravimetrik yöntemler

Gravite ayırması, altının yüksek özgül ağırlığından faydalanılarak yan minerallerinden ayrılması ile gerçekleşmektedir. Gravite ayırması yapan cihazlar jigler, sarsıntılı masalar, spiral konsantratörler ve santrifüj ayırıcılar olarak kategorize edilmektedir.

1980'lerde Knelson konsantratörünün piyasaya sürülmesinden bu yana, gravite yöntemi ile zenginleştirme teknikleri yeniden ilgi görmeye başlamıştır (Ghaffari ve Farzanegan 2017; Kökkılıç vd., 2015). Multi-Gravity Separator (MGS) nispeten düşük santrifüj kuvvetlerinde çalışırken, Falcon konsantratörleri çok daha yüksek kuvvetler üretmektedir (300 - 600 G) (Aslan, 2007; Das ve Sarkar, 2018; Farajzadeh ve Chehreh Chelgani, 2022; Majumder ve Barnwal, 2006; Nayak vd., 2021). 200 G'ye kadar santrifüj kuvveti üretebilen Knelson konsantratörler, altın ve platin grubu metallerin geri kazanımı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Knelson konsantratörler sürekli veya yarı kesikli modlarda çalışabilmektedir (Chen vd.. 2020; FLSmidth, 2023). 15-20 mikrona kadar ince tane boyutlarında çalışabilme yetenekleri, metal kazanma verimini önemli ölçüde arttırmaktadır (Kökkılıç vd., 2015).

2.7.3 Flotasyon

Altın flotasyonunun ilk endüstriyel uygulamaları, 1930'ların başında ksantatlar ve ditiyofosfatların toplayıcı olarak kullanılmaya başlanmasıyla başlamıştır (Weinig ve Carpenter, 1937). Yıllar içerisinde Kanada, Avustralya ve Kore gibi ülkelerde büyük ölçekli altın flotasyon operasyonları kurulmuştur. İlk kurulan tesislerde, ksantat ve ditiyofosfatların aksine tesislerde ağırlıklı olarak amin tipi toplayıcıların kullanımı gerçekleşmiştir (Hoover, 1912; Richart, 1912; Taggart, 1927). Zamanla, küresel altın talebinin artmasıyla birlikte sülfür içeren altın cevherlerini işleyen flotasyon tesislerinin sayısı giderek artmıştır. Pirit ve arsenopirit, asidik ve alkali koşullar altında yüzme eğilimindedir. Ksantatlar ve tiyokarbamatlar, asidik pH koşullarında birincil toplayıcılar olarak yaygın olarak kullanılırken, ditiyofosfatlar genellikle ikincil toplayıcılar kullanılmaktadır (Broekman vd., 1987).

2.7.4 Siyanürizasyon (Liç)

Liç yöntemi, endüstride kullanılan en yaygın zenginleştirme yöntemidir. Liç yönteminde altın, siyanür çözeltisi içerisinde uygun koşullarda karıştırılarak sıvı faza alınmaktadır. Sıvı faza geçen altın çeşitli sıyırma yöntemleri yardımıyla karıştırmalı ortamdan ayrılarak satılabilir hale getirilmektedir (Kasper vd., 2015; Zhong vd., 2018).



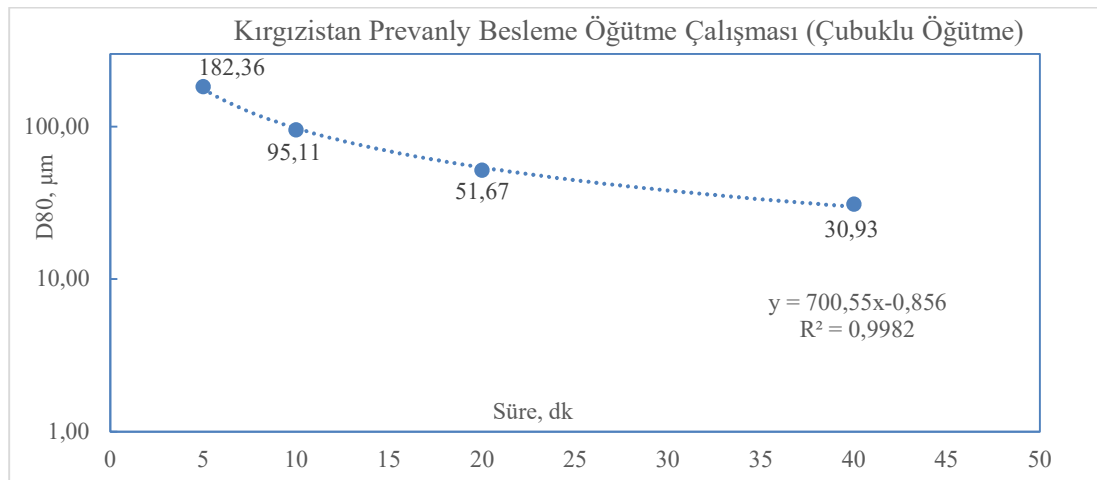
3.2.2 Öğütme kinetiği testleri

Öğütme testleri 1 kilogramlık numuneler ile yapılmıştır. Deneylede Ünal Mühendislik firmasına ait 178x356 mm ebatlarında çubuklu değirmen kullanılmıştır. Değirmen hızı 65 dev/dk olarak ayarlanmıştır. Numuneler kütlece 65% katı oranında (500 ml su ilavesi) 5,10,20,40 dakika öğütülmüştür. Farklı sürelerde öğütülen numunelerin d80 boyutları aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Süreye bağlı numunelerin boyut dağılımı Çizelge 3.1’de yer almaktadır.

Çizelge 3.1 : Farklı sürelerde öğütülen numunelerin elek analizi sonuçları.

Öğütme Süresi, dk	5'		10'		20'		40'	
	Miktar, g	ΣEA, %	Miktar, g	ΣEA, %	Miktar, g	ΣEA, %	Miktar, g	ΣEA, %
400,00	0,2	99,8						
300,00	1,9	97,9						
212,00	9,8	88,0	0,6	99,4				
150,00	16,8	71,2	3,2	96,3				
106,00	15,9	55,4	7,8	88,4	0,1	99,9	0,1	99,9
75,00	9,5	45,9	24,0	64,4	4,6	95,3	0,2	99,4
53,00	8,3	37,6	14,0	50,4	14,0	81,3	1,1	97,1
38,00	37,6	0,0	6,4	44,0	14,4	66,9	3,8	89,6
20,00			11,7	32,3	20,0	46,9	12,2	65,2
-20,00			32,3	0,0	46,9	0,0	32,6	0,0
d80, µm	182,4		95,1		51,7		30,9	

Elek analizlerinden elde edilen sonuçlar log-normal grafiğine işlenip öğütme kinetik modeli oluşturulmuştur. Sonraki deneylerde, grafikten elde edilen formül kullanılarak öğütme süreleri belirlenmiştir. İlgili log-normal grafiği Şekil 3.2’de belirtilmiştir.



Şekil 3.2 : Öğütme kinetiği log-normal grafiği.

3.2.3 Kimyasal analizler

Kompozit hale getirilen Prevanly numunesine ait yapılan kimyasal analizlerin sonucu Çizelge 3.2’de belirtilmiştir. Küpelasyon yöntemi ile yapılan analiz sonucu numune içerisinde 2,99 ppm altın olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.2 : Prevanly besleme numunesine ait kimyasal analiz sonuçları.

ELEMENT	İÇERİK, %
Al	0,738
Ca	2,956
Co	0,003
Cr	0,002
Cu	0,008
Fe	2,986
K	0,475
Mg	1,067
Mn	0,108
Na	0,013
Ni	0,003
Pb	0,004
Sr	0,012
Zn	0,036
As	0,419
Sb	0,028
S	1,20
Ag (g/ton)	≤3,00
Au (g/ton) (Küpelasyon)	2,992
Kızdırma Kaybı	6,82
SiO ₂	63,88
Yoğunluk (g/cm ³)	2,71

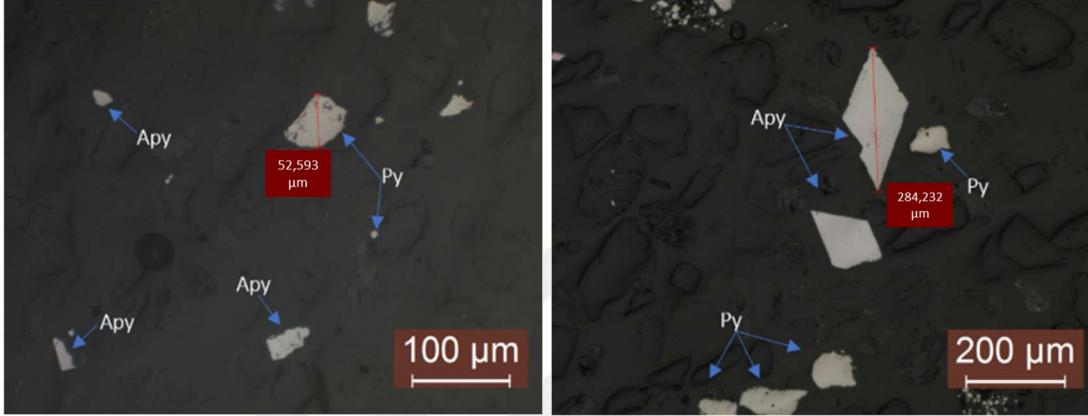
3.2.4 Mineralojik analizler

Cevher içerisindeki altının dağılım ve oluşumunu saptamak amacıyla cevher mikroskobu ve SEM-MLA cihazı ile mineralojik analizler yapılmıştır.

3.2.4.1 Cevher mikroskobu görüntüleri

Laboratuvar ortamında hazırlanıp boyut fraksiyonlarına ayrılan numuneler (-106+75, -75+53, -53+38, -38+20 µm) yaklaşık 30 mm çaplı kalıplara konularak epoksi ve

sertleştirici ile karıştırılmıştır. Epoksi kuruduktan sonra numuneler döner diske konularak iri taneden ince taneye doğru elmas solüsyon yardımıyla parlatılmıştır. Hazırlanan numuneler Leica DM2700 model üstten aydınlatmalı mikroskopta incelenerek fotoğraflanmıştır. Mikroskop görüntüleri incelendiğinde iri boyutlarda serbest halde pirit ve arsenopirit mineralleri gözlemlenmiştir. Mikroskop görüntüleri Şekil 3.3'te yer almaktadır.



Şekil 3.3 : Numuneye ait cevher mikroskobu görüntüleri

3.2.4.2 SEM-MLA görüntüleri

Boyut fraksiyonlarına ayrılan numuneler kalıplara dökülüp her fraksiyon için ayrı bakalit hazırlanmıştır. Elde edilen bakalitlerin yüzeyi Leica markalı karbon kaplama cihazı yardımıyla karbon kaplanmıştır.

Yüzeyi karbon kaplı numunelerin bünyesinde bulunan minerallerin serbestleşme derecesini tespit etmek amacıyla, Thermofischer Apreo 2C Taramalı Elektron Mikroskobu kullanılmıştır. İlgili mikroskobun içerisinde bulunan MLA (Mineral Liberation Analysis) yazılımı sayesinde minerallerin serbestleşme oranları saptanmıştır.

Farklı boyut fraksiyonlarında minerallerin serbestleşme oranları Çizelge 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 : -106+75 mikron boyut aralığında minerallerin serbestleşme dereceleri.

Mineral	Toplam Serbest %	İkili Bağ %	Üçlü Bağ %	Kompleks Yapı %
Arsenopirit	75,02	13,33	6,27	5,38
Kalsit	67,95	6,64	6,37	19,04
Dolomit-Ankerit - Ferroan Dolomit	32,24	15,24	12,33	40,18
Illit	0,45	12,29	29,52	57,74
K-Feldspat	6,14	9,77	17,73	66,36
Montmorillonit (Ca)	0,37	13,85	21,44	64,34
Muskovit	44,44	15,26	13,67	26,63
Plajiyoklas - Albit	14,76	23,76	21,33	40,15
Plajiyoklas - Oligoklaz	3,05	24,60	18,16	54,19
Piralspit Granatlar - Almandin	9,93	8,04	9,87	72,17
Piralspit Granatlar - Grossular	0,65	3,63	8,86	86,87
Pirit	68,43	14,70	8,09	8,78
Kuvars	48,43	20,23	12,99	18,36
Siderit - Manyezit - Mg Siderit	2,50	3,68	7,35	86,47

-106+75 mikron boyut aralığında pirit ve arsenopirit minerallerinin yaklaşık %70-75 oranında serbest olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.4 : -75+53 mikron boyut aralığında minerallerin serbestleşme dereceleri.

Mineral	Toplam Serbest %	İkili Bağ %	Üçlü Bağ %	Kompleks Yapı %
Arsenopirit	71,78	18,30	5,23	4,69
Kalsit	64,10	14,57	7,67	13,66
Dolomit-Ankerit - Ferroan Dolomit	34,46	16,97	14,08	34,49
Illit	2,07	17,91	31,32	48,71
K-Feldspat	17,15	9,91	20,54	52,39
Montmorillonit (Ca)	0,76	16,78	25,72	56,74
Muskovit	56,67	14,64	11,92	16,77
Plajiyoklas - Albit	24,89	25,95	17,82	31,35
Plajiyoklas - Oligoklaz	8,11	30,16	19,02	42,71
Piralspit Granatlar - Almandin	14,12	11,65	10,76	63,48
Piralspit Granatlar - Grossular	1,28	7,43	12,90	78,39
Pirit	63,64	20,54	7,86	7,96
Kuvars	57,78	17,00	12,35	12,87
Siderit - Manyezit - Mg Siderit	4,49	9,78	15,72	70,02

Çizelge 3.5 : -53+38 mikron boyutunda minerallerin serbestleşme dereceleri.

Mineral	Toplam Serbest %	İkili Bağ %	Üçlü Bağ %	Kompleks Yapı %
Arsenopirit	72,54	18,74	4,90	3,82
Kalsit	74,34	9,16	5,94	10,56
Dolomit-Ankerit - Ferroan Dolomit	43,25	14,97	10,90	30,88
Illit	15,90	18,78	28,84	50,80
K-Feldspat	22,13	11,94	16,08	49,85
Montmorillonit (Ca)	0,83	19,16	23,20	56,81
Muskovit	65,74	11,30	8,82	14,13
Plajiyoklas - Albit	35,69	22,40	14,97	26,94
Plajiyoklaz - Oligoklaz	8,91	31,82	16,33	42,94
Piralspit Granatlar - Almandin	15,94	10,04	10,60	63,42
Piralspit Granatlar - Grossular	15,90	7,08	11,37	79,97
Pirit	71,01	17,00	6,33	5,65
Kuvars	64,97	12,38	10,71	11,94
Siderit - Manyezit - Mg Siderit	6,99	8,39	14,34	70,28

Çizelge 3.6 : -38+20 mikron boyutunda minerallerin serbestleşme dereceleri.

Mineral	Toplam Serbest %	İkili Bağ %	Üçlü Bağ %	Kompleks Yapı %
Arsenopirit	65,44	25,52	5,50	3,54
Kalsit	71,68	13,20	6,65	8,46
Dolomit-Ankerit - Ferroan Dolomit	47,70	17,18	11,61	23,51
Illit	3,66	26,59	28,87	40,88
K-Feldspat	27,50	13,90	17,60	41,00
Montmorillonit (Ca)	1,45	27,20	26,23	45,13
Muskovit	70,51	13,01	7,17	9,30
Plajiyoklas - Albit	43,29	23,41	13,80	19,50
Plajiyoklaz - Oligoklaz	11,86	36,84	18,36	32,95
Piralspit Granatlar - Almandin	15,51	13,12	12,72	58,65
Piralspit Granatlar - Grossular	1,98	9,97	15,56	72,48
Pirit	70,62	17,07	6,98	5,33
Kuvars	67,60	14,16	9,17	9,06
Siderit - Manyezit - Mg Siderit	11,27	17,48	19,30	51,95

Elde edilen veriler incelendiğinde, bütün boyut fraksiyonlarında pirit ve arsenopirit minerallerinin %65 ila 75 oranlarında tamamen serbest halde olduğu görülmektedir. Minerallerin boyuta bağlı serbestleşme oranları Çizelge 3.7 ve 3.8’de görülmektedir.

Çizelge 3.7 : Pirit mineralinin boyut fraksiyonlarına göre serbestleşme oranları.

Boyut Aralığı, μm	Serbest, %	İkili Bağ, %	Üçlü Bağ, %	Kompleks Yapı, %
-106+75	68,63	14,70	8,09	8,78
-75+53	63,64	20,54	7,86	7,96
-53+38	71,01	17,00	6,33	5,65
-38+20	70,62	17,07	6,98	5,33

Çizelge 3.8 : Arsenopirit mineralinin boyut fraksiyonlarına göre serbestleşme oranları.

Boyut Aralığı, µm	Serbest, %	İkili Bağ, %	Üçlü Bağ, %	Kompleks Yapı, %
-106+75	75,02	13,33	6,27	5,38
-75+53	71,78	18,30	5,23	4,69
-53+38	72,54	18,74	4,90	3,82
-38+20	65,44	25,52	5,50	3,54

Pirit ve arsenopiritin geri kalan kısmının hangi minerallere bağlı olduğu Çizelge 3.9 ve 3.10'da belirtilmiştir.

Çizelge 3.9 : Pirit minerallerinin bağlı olduğu yan kayaçlar.

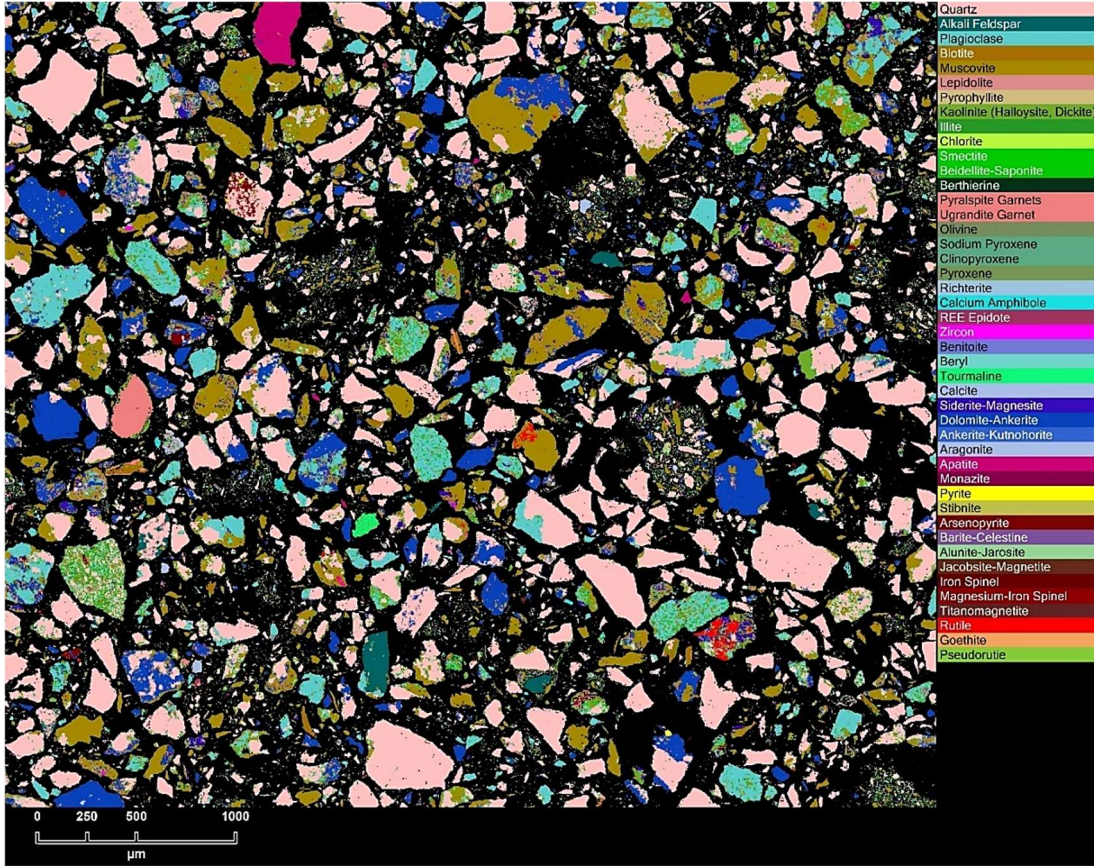
Mineral	İkili	Üçlü	Kompleks
Arsenopirit	5,69	2,4	2,84
Dolomit-Ankerit - Ferroan Dolomit	1,03	0,49	0,19
Muskovit	3,93	1,41	0,31
Pyralspite Granatlar - Almandin	0,14	0,06	0,03
Kuvars	2,33	0,41	0,39

Çizelge 3.10 : Arsenopirit minerallerinin bağlı olduğu yan kayaçlar.

Mineral	İkili	Üçlü	Kompleks
Dolomit-Ankerit - Ferroan Dolomit	2,89	0,5	0,31
Muskovit	6,54	1,51	0,61
Pirit	4,66	1,17	0,57
Kuvars	5,28	0,93	0,57

Sülfürlü minerallerin yanı sıra feldspat, muskovit, kuvars, kalsit gibi istenmeyen minerallerin tane boyutu incelidikçe serbestleşme derecelerinin arttığı tespit edilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde arsenopirit ve piritin birbirine bağlı olduğu, pirit-kuvars, pirit-muskovit, arsenopirit-kuvars, arsenopirit-muskovit ikili bağlarının mevcut olduğu ve ilgili minerallerin kendi aralarında üçlü bağlar yaptığı görülmektedir. Pirit ve arsenopiritin bir miktar kompleks yapı oluşturduğu görülmektedir. Pirit ve arsenopirit dışında diğer minerallerde kompleks yapı çok düşük miktarlarda olduğu tespit edilmiştir.

Numune içerisinde bulunan altının formunu tespit edebilmek amacıyla, flotasyon deneylerinden elde edilen ve 57,21 ppm altın içeren numuneye SEM yardımıyla analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, numune içerisinde yüksek miktarda pirit ve arsenopirit minerali olduğu tespit edilmemiştir. Çekim esnasında altın hedef element olarak belirtilmesine rağmen herhangi bir altın görüntüsüne rastlanılmamıştır. Yapılan çekime ait görüntüler Şekil 3.4'te belirtilmiştir. Çekime ait modal mineraloji ve elementel dağılım tablosu Çizelge 3.11'de belirtilmiştir.



Şekil 3.4 : 57,21 ppm altın içeren numuneye ait SEM görüntüsü.

Çizelge 3.11 : 57,21 ppm altın içeren numunenin modal mineraloji ve elementel dağılım tablosu.

Mineral	Dağılım, %	Element	Tenör, %
Pirit	55,18	S	38,29
Arsenopirit	21,57	Fe	32,61
Kuars	5,31	O	9,67
Muskovit	4,42	As	8,07
Dolomit-Ankerit	2,48	Si	4,91
Tanımlanamamış	1,74	Al	1,49
Illit	1,37	Zn	1,02
Sfalerit	1,34	Ca	0,82
Sodyum Piroksen	1,12	Mg	0,54
Plajiolklas	0,98	Cu	0,04
Diğer	4,50	Diğer	2,53

3.2 Flotasyon Testleri

Cevher içerisinde bulunan sülfürlü mineralleri ve altını zenginleştirmek amacıyla numunelere flotasyon testleri yapılmıştır. Flotasyon deneyleri Ünal Mühendislik markalı Denver tipi flotasyon selülleri ile yapılmıştır. Toplayıcı olarak ‘Sodyum Bütil Ksantat (SBX)’, köpürtücü olarak ‘Metil İzobütil Karbinol (MIBC)’ kullanılmıştır. Altın verimini arttırmak amacıyla MaxGold 900 ek kollektör olarak kullanılmıştır. Sülfürlü mineralleri aktive etmek amacıyla bakır sülfat kullanılmış olup, dozaj denemeleri yapılmıştır. Selül hacmi 2,4 litre olarak ayarlanmıştır. Deneylerde farklı parametrelerin altın verimine etkisi incelenmiştir.

3.2.1 Besleme tane boyutunun altın kazanımına etkisi

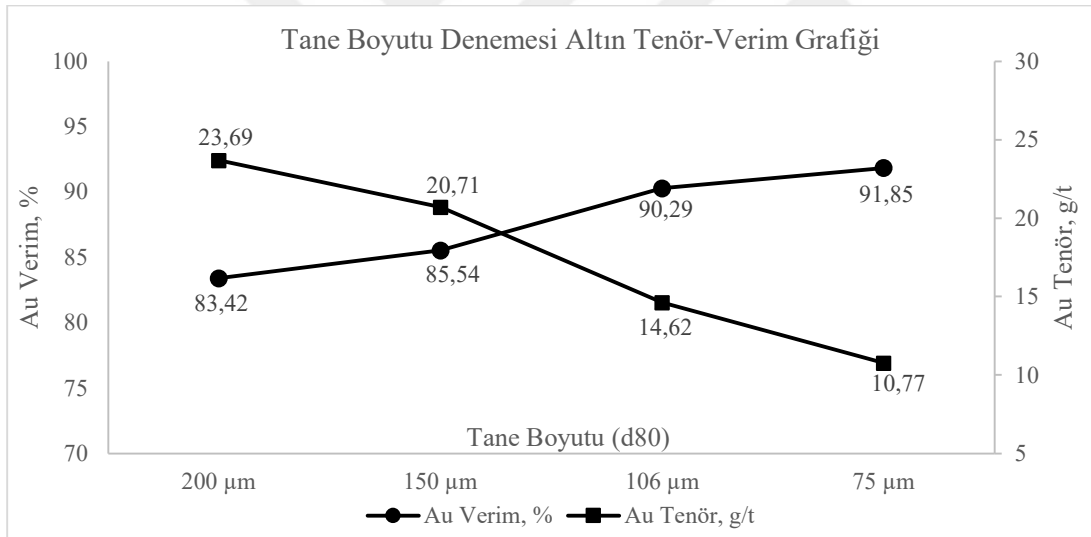
Tane boyutunun altın verimine etkisinin incelendiği deneylerde, boyut azaldıkça konsantredeki altın içeriğinin azaldığı, altın kazanma veriminin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıntılı deneysel parametreler ve sonuçlar Çizelge 3.12 'de sunulmuştur.

Çizelge 3.12 : Tane boyutu denemelerinin parametreleri ve deney sonuçları.

Tane Boyutu (d ₈₀)	Reaktifler, g/t			Süre, dk		Au Tenör, g/t	Au Verim, %
	SBX	MIBC	MaxGold 900	Öğütme	Köpük Alma		
Genel Parametreler	175	60	30	22			
200 µm				4,2		23,69	83,4
150 µm				6		20,71	85,5
106 µm				9		14,62	90,3
75 µm				13,5		10,77	91,6

SEM-MLA ile yapılan çekimlerin sonuçlarında da görüldüğü üzere, tane boyutu incelidikçe kuvars, muskovit, feldspat gibi gang minerallerinin serbest hale geldiği görülmektedir. Tane boyutu incelidikçe konsantrite tenörünün düşmesine serbestleşen gang minerallerinin sebep olduğu tespit edilmiştir.

Yalnızca tane boyutunun değiştirildiği deneylere ait sonuçları içeren grafik Şekil 3.5'te belirtilmiştir.



Şekil 3.5 : Tane boyut denemesi altın tenör-verim grafiği.

3.2.2 MaxGold 900 altın kollektörünün altın kazanımına etkisi

Tane boyutu denemesinin ardından altın kazanma verimini arttırmak Syensqo firmasına ait Aero MaxGold 900 isimli kollektörü ile test yapılmıştır. Besleme boyutu 75 µm (d₈₀) olan deneyin parametreleri ve sonuçları Çizelge 3.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.13 : MaxGold kullanılmayan deneye ait bilgiler.

MaxGold, 0 g/t	Reaktif, g/t			Süre, dk			d ₈₀ , µm	
	SBX	MIBC	MaxGold 900	Öğütme	Kondisyon	Köpük Alma		
İlk Öğütme				13,5			75	
K1	100	50			5	5		
K2	50	10			2	5		
K3	50	10			2	5		
Σ Süre, dk	Ürünler	Miktar, g	Miktar, %	Σ Miktar, %	Au, g/t	Σ Au, g/t	Au Verim, %	Σ Au Verim, %
5	K1	62,3	6,2	6,2	20,14	20,14	44,8	44,8
10	K2	39,7	4,0	10,2	19,25	19,79	27,3	72,1
15	K3	35,4	3,5	13,8	8,46	16,87	10,7	82,8
	A	860,6	86,2	100,0	0,56	2,80	17,2	100,00
Besleme		997,9	100,0		2,80*			

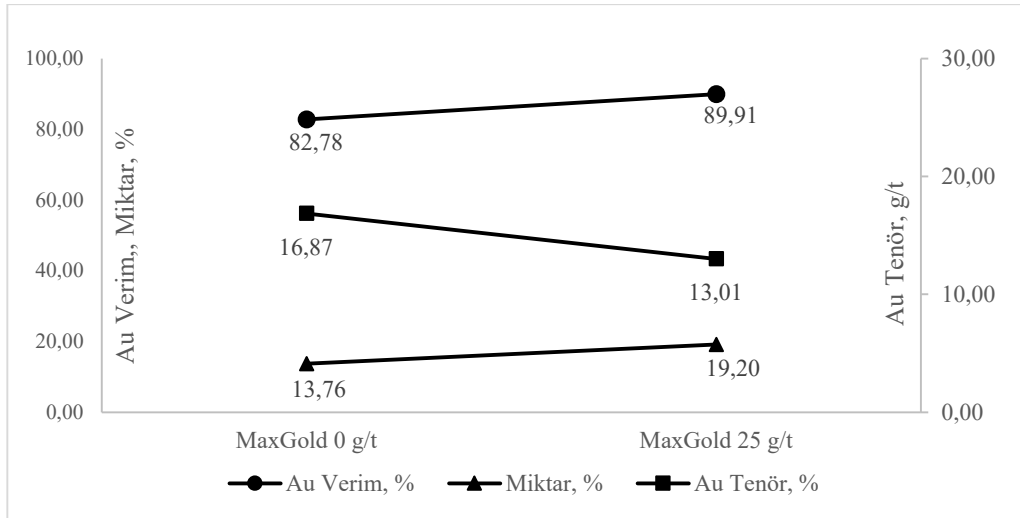
* Hesaplanmış değer. K: Konsantre. A: Atık.

Çizelge 3.14 : 25 g/t MaxGold kullanılan deneye ait bilgiler.

MaxGold, 25 g/t	Reaktif, g/t			Süre, dk			d ₈₀ , µm	
	SBX	MIBC	MaxGold 900	Öğütme	Kondisyon	Köpük Alma		
İlk Öğütme				13,5			75	
K1	100	50			5	5		
K2	50	10			2	5		
K3	50	10	25		3	5		
Σ Süre, dk	Ürünler	Miktar, g	Miktar, %	Σ Miktar, %	Au, g/t	Σ Au, g/t	Au Verim, %	Σ Au Verim, %
5	K1	74,6	7,5	7,5	18,11	18,11	48,6	48,6
10	K2	44,5	4,4	11,9	14,91	16,91	23,9	72,5
15	K3	72,8	7,3	19,2	6,64	13,01	17,4	89,9
	A	807,7	80,8	100,0	0,35	2,78	10,1	100,00
Besleme		999,6	100,0		2,78*			

* Hesaplanmış değer. K: Konsantre. A: Atık.

Toplamda 15 dakika yapılan 2 deneyde, 15 dakika sonunda MaxGold 900 kullanılan deneyin altın kazanma verimi %89,91, konsantre içerisindeki altın tenörü 13,01 g/t olmuştur. MaxGold kullanılmayan deneyde Altın kazanma verimi %82,78 iken konsantre altın içeriği 16,87 g/t olarak hesaplanmıştır. Deney sonuçlarına ait bilgiler Şekil 3.6'da yer almaktadır.



Şekil 3.6 : MaxGold900 kollektörünün altın verimine etkisi tenör-verim grafiği.

3.2.3 Kaba kinetik flotasyon

Tane boyutu ve MaxGold denemelerinden elde edilen sonuçlar yardımıyla ve maksimum altın kazanma verimine ulaşmak amacıyla bir adet kaba kinetik testi yapılmıştır. Yapılan deneyin parametreleri ve sonuçları Çizelge 3.15'te belirtilmiştir.

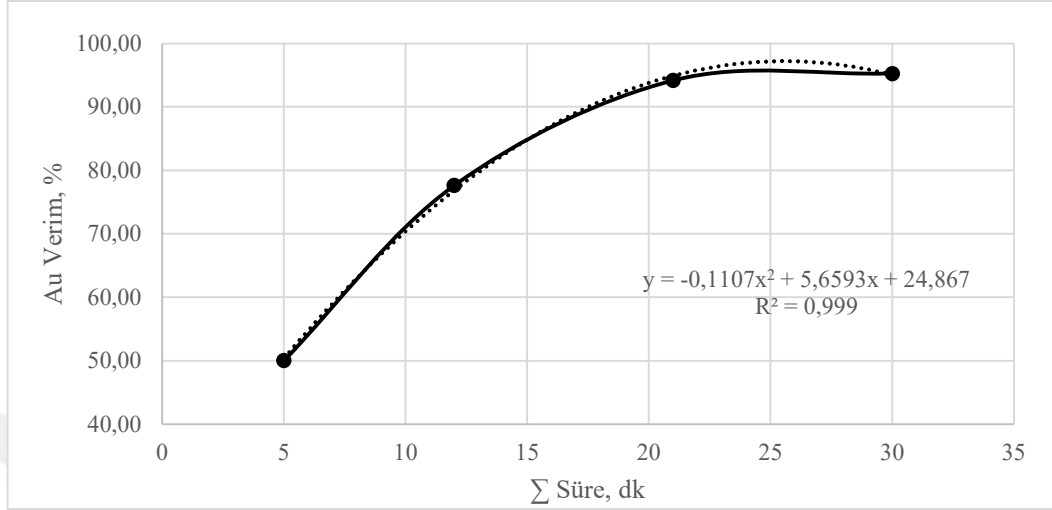
Çizelge 3.15 : Kaba kinetik flotasyon deney parametreleri ve altın tenör – verim grafiği.

	Reaktif, g/t			Süre, dk			d ₈₀ , µm	
	SBX	MIBC	MaxGold 900	Öğütme	Kondisyon	Köpük Alma		
İlk Öğütme				13,5			75	
K1	100	50			5	5		
K2	50	10			2	7		
K3	50	10	25		3	9		
K4	50	10	5		3	9		
Σ Süre, dk	Ürünler	Miktar, g	Miktar, %	Σ Miktar, %	Au, g/t	Σ Au, g/t	Au Verim, %	Σ Au Verim, %
5	K1	65,7	6,6	6,6	21,84	21,85	50,1	50,1
12	K2	47,3	4,8	11,4	16,71	19,69	27,6	77,7
21	K3	112,0	11,2	22,6	4,24	12,00	16,6	94,3
30	K4	28,5	2,9	25,5	1,08	10,77	1,1	95,4
	A	741,9	74,5	100,0	0,18	2,88	4,6	100,00
	Besleme	995,4	100,0		2,88*			

* Hesaplanmış değer. K: Konsantre. A: Atık.

Toplamda 30 dakika köpük çekme işlemi yapılan kaba kinetik deneyinde 21. dakikada maksimum verim değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. 21 dakika sonunda %94,20 altın kazanma verimine ulaşılmıştır.

Verim değerleri incelendiğinde ‘Sodyum Bütil Ksantat (SBX)’ ve MaxGold beraber kullanıldığında yüksek verim değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Kaba kinetik flotasyona ait verim grafiği Şekil 3.7’de belirtilmiştir.



Şekil 3.7 : Kaba kinetik altın verimi grafiği.

3.2.4 Kollektör dozajının altın verimine etkisi

Deneylerde ideal kollektör dozajını belirlemek amacıyla farklı miktarlarda kollektörlerin kullanıldığı deneyler yapılmıştır. SBX dozajı toplamda 75, 125 ve 175 g/t olacak şekilde 3 adet deney yapılmıştır. Kollektörün dozajı arttıkça altın kazanma veriminin arttığı, konsantredeki altın içeriğinin düştüğü görülmüştür. Deneylere ait parametreler ve sonuçlar Çizelge 3.16, 3.17 ve 3.18’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.16 : 75 g/t SBX kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.

SBX: 75 g/t	Reaktif, g/t			Süre, dk			d ₅₀ , µm	
	SBX	MIBC	MaxGold 900	Öğütme	Kondisyon	Köpük Alma		
İlk Öğütme				9			106	
Kaba Devre	50	50			5	12		
Süpürme	25	10	30		2	10		
Σ Süre, dk	Ürünler	Miktar, g	Miktar, %	Σ Miktar, %	Au, g/t	Σ Au, g/t	Au Verim, %	Σ Au Verim, %
12	KK	80,7	8,1	8,1	19,49	19,49	55,4	55,4
22	SK	57,0	5,7	13,8	16,44	18,23	33,0	88,4
	A	861,3	86,2	100,0	0,38	2,84	11,6	100,0
	Besleme	999,0	100,0		2,84*			

* Hesaplanmış değer. KK: Kaba konsantre. SK: Süpürme konsantre. A: Atık.

Çizelge 3.17 : 125 g/t SBX kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.

SBX: 125 g/t		Reaktif, g/t			Süre, dk			d ₈₀ , µm
		SBX	MIBC	MaxGold 900	Öğütme	Kondisyon	Köpük Alma	
İlk Öğütme					9			106
Kaba Devre		75	50			5	12	
Süpürme		50	10	30		2	10	
Σ Süre, dk	Ürünler	Miktar, g	Miktar, %	Σ Miktar, %	Au, g/t	Σ Au, g/t	Au Verim, %	Σ Au Verim, %
12	KK	75,3	7,6	7,6	21,6	21,60	59,4	59,4
22	SK	97,1	9,8	17,4	9,16	14,60	32,5	91,9
	A	818,3	82,6	100,0	0,27	2,77	8,1	100,0
Besleme		990,7	100,0		2,77*			

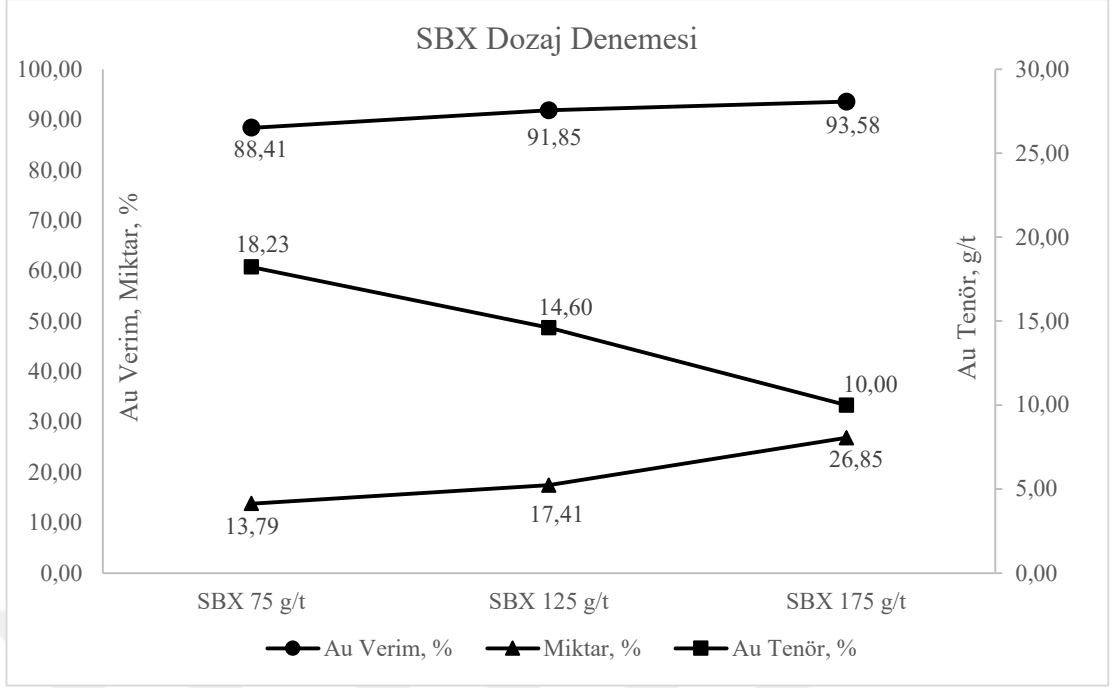
* Hesaplanmış değer. KK: Kaba konsantre. SK: Süpürme konsantre. A: Atık.

Çizelge 3.18 : 175 g/t SBX kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.

SBX: 175 g/t		Reaktif, g/t			Süre, dk			d ₈₀ , µm
		SBX	MIBC	MaxGold 900	Öğütme	Kondisyon	Köpük Alma	
İlk Öğütme					9			106
Kaba Devre		125	50			5	12	
Süpürme		50	10	30		2	10	
Σ Süre, dk	Ürünler	Miktar, g	Miktar, %	Σ Miktar, %	Au, g/t	Σ Au, g/t	Au Verim, %	Σ Au Verim, %
12	KK	64,3	6,4	6,4	24,20	24,20	54,3	54,3
22	SK	203,8	20,4	26,9	5,53	10,00	39,3	93,6
	A	730,3	73,1	100,0	0,25	2,87	6,4	100,0
Besleme		998,4	100,0		2,87*			

* Hesaplanmış değer. KK: Kaba konsantre. SK: Süpürme konsantre. A: Atık.

Kollektör dozaj denemesi sonuçlarını Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Kollektör dozajı denemesi tenör verim grafiği.

3.2.5 Bakır sülfatın altın verimine etkisi

Bakır sülfat, sülfürlü altın cevherlerinin flotasyonunda aktivatör olarak kullanılmaktadır. Flotasyon deneylerinde altın kazanımını artırmak için bakır sülfat eklemesi yapılmıştır. Optimum dozajı belirlemek için beş deney yapılmıştır. Deneylerin detayları ve sonuçları Çizelge 3.19, 3.20, 3.21, 3.22 ve 3.23'te sunulmuştur.

Çizelge 3.19 : 0 g/t CuSO₄ kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.

CuSO ₄ : 0 g/t	Reaktif, g/t			Süre, dk			d ₈₀ , µm	
	SBX	MIBC	CuSO ₄	Öğütme	Kondisyon	Köpük Alma		
İlk Öğütme				9			106	
Kaba Devre	150	50			5	15		
Σ Süre, dk	Ürünler	Miktar, g	Miktar, %	Σ Miktar, %	Au, g/t	Σ Au, g/t	Au Verim, %	Σ Au Verim, %
	K	146,00	14,6	14,6	12,68	12,68	74,4	74,4
	A	850,71	85,4	100,0	0,75	2,50	25,6	100,00
Besleme		996,7	100,0		2,50*			

* Hesaplanmış değer. K: Konsantre. A: Atık.

Çizelge 3.20 : 400 g/t CuSO₄ kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.

CuSO ₄ : 400 g/t	Reaktif, g/t			Süre, dk			d ₈₀ , µm	
	SBX	MIBC	CuSO ₄	Öğütme	Kondisyon	Köpük Alma		
İlk Öğütme			400	9			106	
Kaba Devre	150	50			5	15		
Σ Süre, dk	Ürünler	Miktar, g	Miktar, %	Σ Miktar, %	Au, g/t	Σ Au, g/t	Au Verim, %	Σ Au Verim, %
	K	139,61	14,0	14,0	13,86	13,86	77,1	77,1
	A	854,80	86,0	100,0	0,67	2,53	22,9	100,0
Besleme		994,4	100,0		2,53*			

* Hesaplanmış değer. K: Konsantre. A: Atık.

Çizelge 3.21 : 600 g/t CuSO₄ kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.

CuSO ₄ : 600 g/t	Reaktif, g/t			Süre, dk			d ₈₀ , µm	
	SBX	MIBC	CuSO ₄	Öğütme	Kond.	Köpük Alma		
İlk Öğütme			600	9			106	
Kaba Devre	150	50			5	15		
Σ Süre, dk	Ürünler	Miktar, g	Miktar, %	Σ Miktar, %	Au, g/t	Σ Au, g/t	Au Verim, %	Σ Au Verim, %
	K	112,66	11,3	11,3	16,42	16,42	72,0	72,0
	A	883,48	88,7	100,0	0,82	2,58	28,0	100,0
Besleme		996,1	100,0		2,58*			

* Hesaplanmış değer. K: Konsantre. A: Atık.

Çizelge 3.22 : 800 g/t CuSO₄ kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.

CuSO ₄ : 800 g/t	Reaktif, g/t			Süre, dk			d ₈₀ , µm	
	SBX	MIBC	CuSO ₄	Öğütme	Kondisyon	Köpük Alma		
İlk Öğütme			800	9			106	
Kaba Devre	150	50			5	15		
Σ Süre, dk	Ürünler	Miktar, g	Miktar, %	Σ Miktar, %	Au, g/t	Σ Au, g/t	Au Verim, %	Σ Au Verim, %
	K	102,66	10,3	10,3	16,42	16,41	66,44	66,44
	A	893,01	89,7	100,0	0,95	2,55	33,56	100,0
Besleme		995,7	100,0		2,55*			

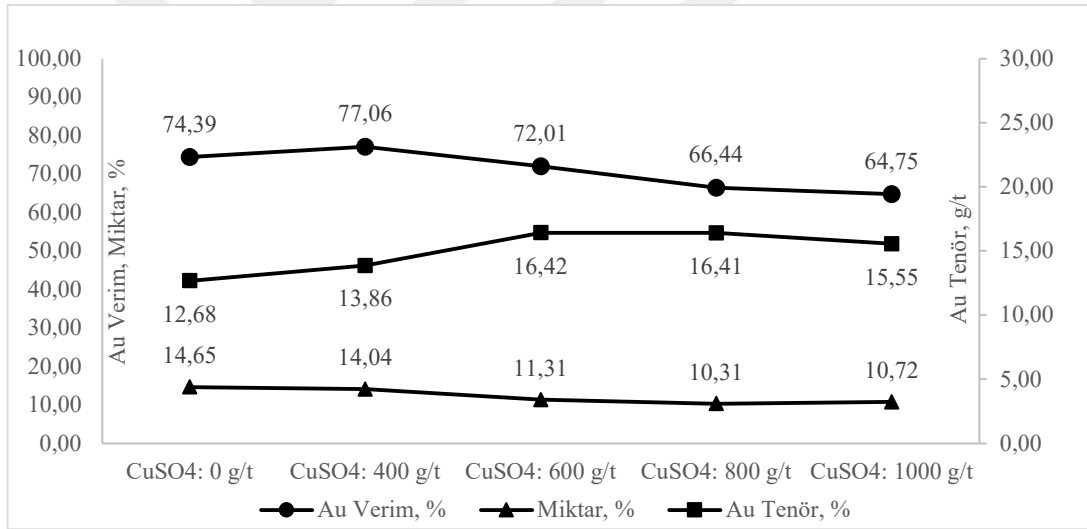
* Hesaplanmış değer. K: Konsantre. A: Atık.

Çizelge 3.23 : 1000 g/t CuSO₄ kullanılan deneyin parametreleri ve altın tenör-verim grafiği.

CuSO ₄ : 1000 g/t	Reaktif, g/t		Süre, dk			d ₈₀ , µm		
	SBX	MIBC	CuSO ₄	Öğütme	Kondisyon		Köpük Alma	
İlk Öğütme			1000	9			106	
Kaba Devre	150	50			5	15		
Σ Süre, dk	Ürünler	Miktar, g	Miktar, %	Σ Miktar, %	Au, g/t	Σ Au, g/t	Au Verim, %	Σ Au Verim, %
	K	107,19	10,7	10,7	15,55	15,55	64,8	64,8
	A	892,53	89,3	100,0	1,02	2,58	35,2	100,0
	Besleme	999,7	100,0		2,58*			

* Hesaplanmış değer. K: Konsantre. A: Atık.

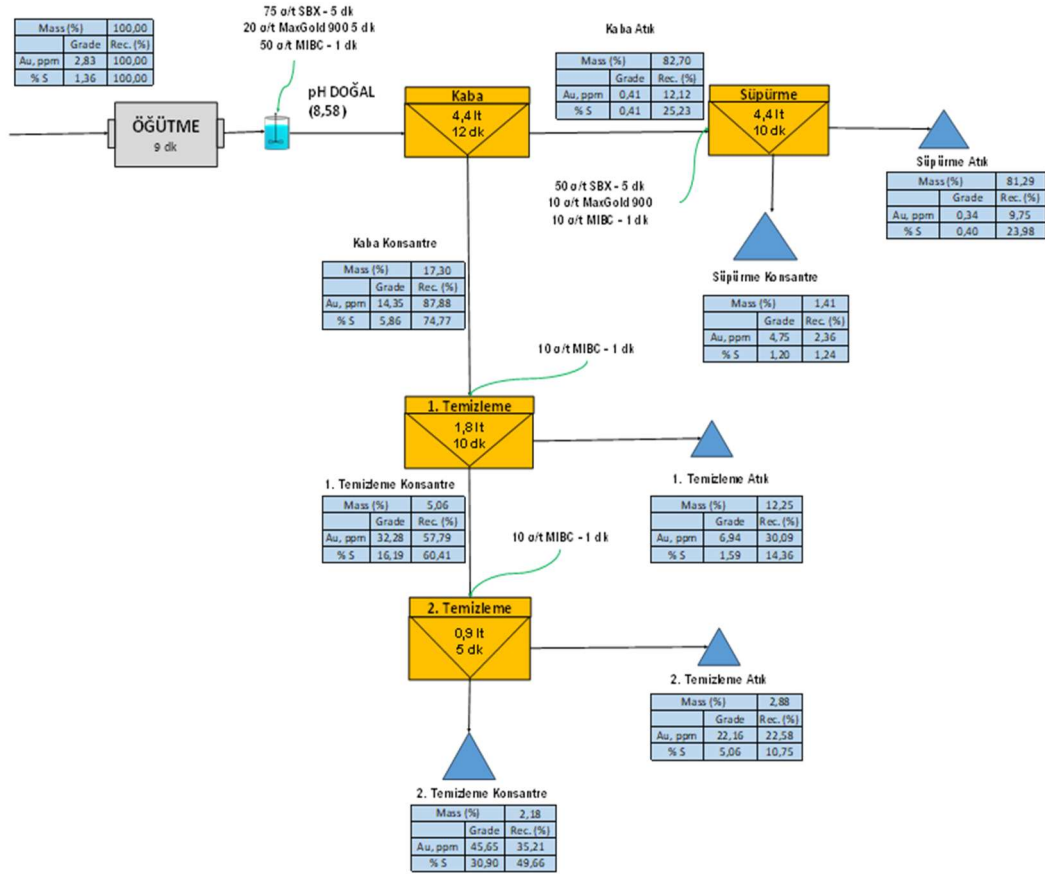
Bakır sülfat 400 g/t kullanıldığında altın kazanma veriminin arttığı, dozajı arttıkça flotasyonda olumsuz etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bakır sülfat eklenerek yapılan deneylerin sonuçları Şekil 3.9’da belirtilmiştir.



Şekil 3.9 : Bakır sülfat ile yapılan deneylerin tenör-verim-miktar grafiği.

3.2.6 Temizleme ve süpürme devresi içeren açık devre flotasyon deneyi

Flotasyon koşullarına ait farklı parametrelerin incelenmesinin ardından yüksek altın içerikli konsantre üretmek amacıyla açık devre deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda 45,65 g/t altın içeriğine sahip konsantre elde edilmiştir. Yapılan deneylerin açık devre akım şeması Şekil 3.10’da deney parametreleri ve sonuçları Çizelge 3.24’te belirtilmiştir.



Şekil 3.10 : Açık devre temizleme deneyine ait akım şeması.

Çizelge 3.24 : Açık devre temizleme deneyine ait parametreler ve sonuçlar.

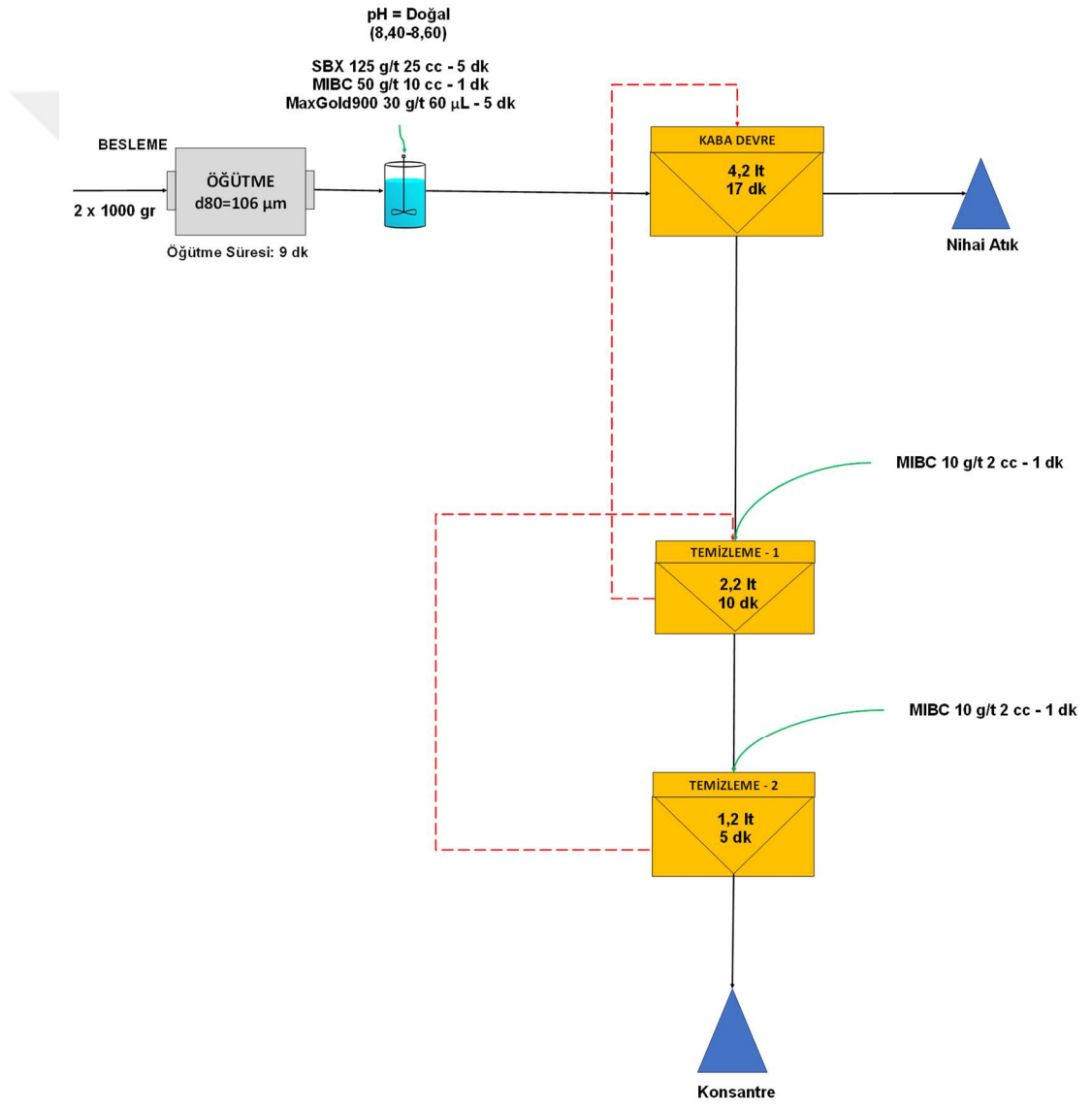
Açık Devre Temizleme Deneyi	Reaktif, g/t			Süre, dk			d_{80} , μm	
	SBX	MIBC	MaxGold 900	Öğütme	Kondisyon	Köpük Alma		
İlk Öğütme				9			106	
Kaba Devre	75	50	20		5	12		
Süpürme	50	10	10		2	10		
Temizleme 1					3	10		
Temizleme 2						5		
Σ Süre, dk	Ürünler	Miktar, g	Miktar, %	Σ Miktar, %	Au, g/t	Σ Au, g/t	Au Verim, %	Σ Au Verim, %
	T2K	43,55	2,18	2,2	45,65	45,65	35,2	35,2
	T2A	57,56	2,88	5,1	22,16	32,28	22,6	57,8
	T1A	244,74	12,2	17,3	6,94	14,35	30,1	87,9
	SK	28,11	1,4	18,7	4,75	13,63	2,4	90,3
	A	1624,63	81,3	100,0	0,34	2,83	9,7	100,0
	Besleme	1998,59	100,0		2,83*			

* Hesaplanmış değer. T2K: Temizleme – 2 konsantre. T2A: Temizleme – 2 atık. T1A: Temizleme – 1 atık. SK: Süpürme konsantre. A: Atık.

3.2.6 Kapalı devre flotasyon deneyleri

Açık devre flotasyon deneylerinin ardından iki adet kapalı devre flotasyon deneyi yapılmıştır. Kapalı devre deneyleri, sonuçların temsiliyetini arttırmak amacıyla yapılmıştır. Deneylerde toplam 6 döngü bulunmaktadır. Toplamda 150 g/t SBX, 70 g/t MIBC kullanılmıştır. Kaba devre süresi 17 dakika, 1. Temizleme süresi 10 dakika, 2. Temizleme süresi 5 dakika olarak belirlenmiştir.

İlk kapalı devre deneyinde 30 g/t MaxGold900 kullanılmıştır. Deneyin akım şeması Şekil 3.11’ de belirtilmiştir.



Şekil 3.11 : 1. Kapalı devre deneyine ait akım şeması.

Yapılan ilk kapalı devre deneyine ait bilgileri içeren tablo Çizelge 3.25'te yer almaktadır.

Çizelge 3.25 : 1. Kapalı devre deneyine ait parametreler.

Kapalı Devre -1	Döngü Başına Eklenen Reaktif, g/t				Döngü Başına Süre, dk			d ₈₀ , µm
	SBX	MIBC	MaxGold 900	CuSO ₄	Öğütme	Kondisyon	Köpük Alma	
Öğütme					9			106
Kaba Devre	150	50	30			5	17	Döngü Sayısı
Temizleme 1		10				3	10	
Temizleme 2		10					5	6

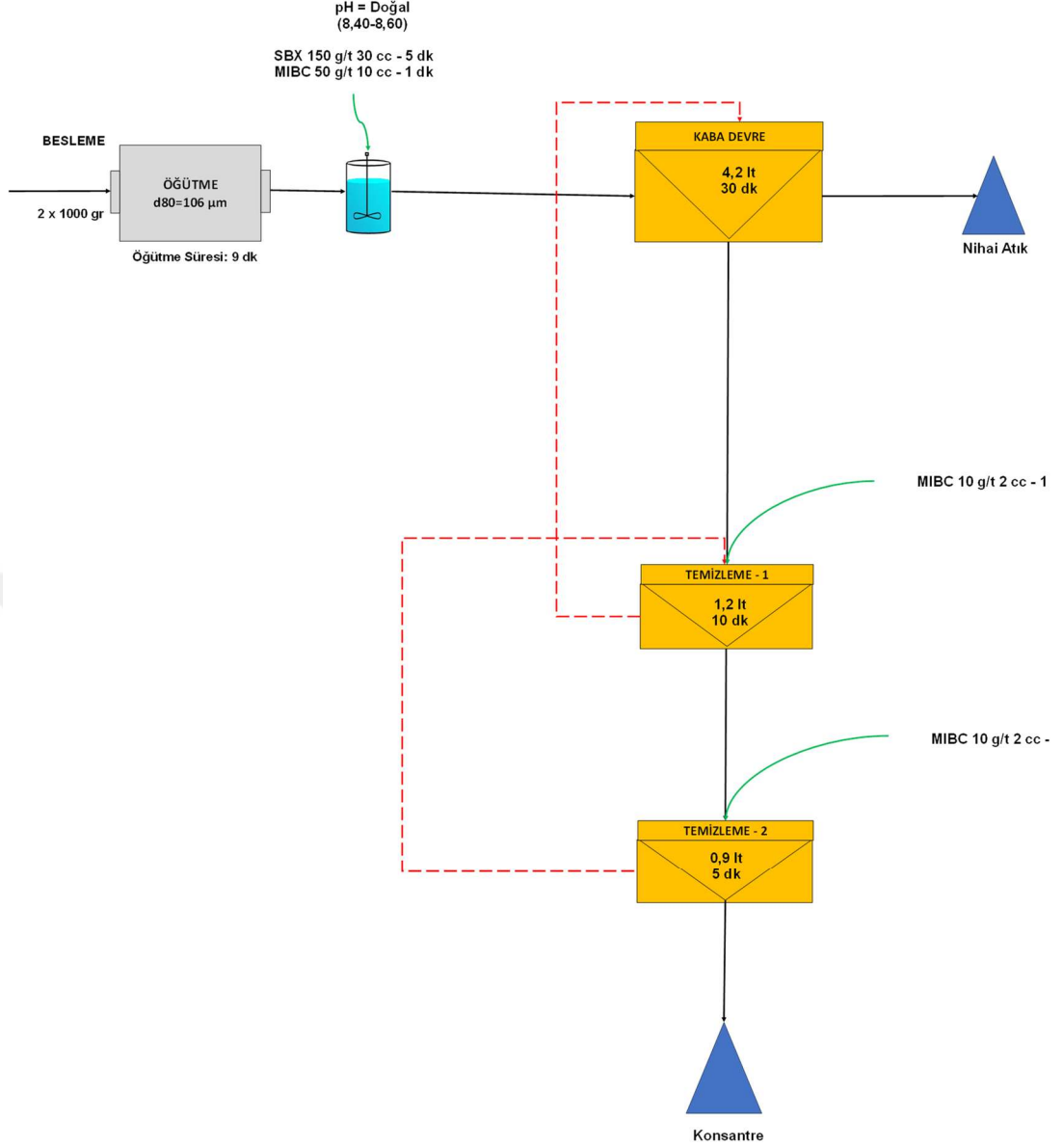
İlk kapalı devre flotasyon deneyinin sonucunda 27,45 g/t altın içerikli konsantre %81,90 kazanma verimi ile elde edilmiştir. Şekil 3.10'da bulunan açık devre deneyinde görüldüğü üzere, 1. Temizleme devresinin batan ürün miktarı yüzen ürüne göre yaklaşık 2,5 kat fazladır. Dolayısıyla kapalı devre deneyi esnasında devreden yük çok yüksek seviyelere çıkmıştır ve nihai konsantre tenörünü düşürmüştür. Deneye ait altın ve kükürt sonuçları Çizelge 3.26'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.26 : 1. Kapalı devre deneyine ait sonuçlar.

Ürün	Miktar, %	Tenör		Verim, %	
		Au, g/t	S, %	Au	S
Konsantre	8.41	27.45	10.70	81.9	87.1
Atık	91.54	0.56	0.15	18.1	12.9
Besleme	100.00	2.82*	1.03*	100.0	100.0

* Hesaplanmış değer.

Konsantredeki altın içeriğinin düşmesine MaxGold900 altın kollektörünün de sebep olacağı üstünde durularak ikinci kapalı devre deneyi yapılmıştır. İkinci kapalı devre deneyinde kollektör olarak yalnızca SBX kullanılmıştır. MaxGold900 kullanılmamıştır. MaxGold900'ün kullanılmaması sonucu flotasyon kinetiği yavaşlamaktadır. Altın verim kaybının önüne geçmek amacıyla ilk deneyde 17 dakika olan kaba flotasyon süresi 30 dakikaya çıkarılmıştır. Diğer parametreler ise sabit tutulmuştur. İkinci kapalı devre deneyine ait akım şeması Şekil 3.12'de, deneye ait parametreler Çizelge 3.27'de belirtilmiştir.



Şekil 3.12 : 2. Kapalı devre deneyine ait akım şeması.

Çizelge 3.27 : 2. Kapalı devre deneyine ait parametreler.

Kapalı Devre -2	Döngü Başına Eklenen Reaktif, g/t				Döngü Başına Süre, dk			d ₈₀ , µm
	SBX	MIBC	MaxGold 900	CuSO ₄	Öğütme	Kondisyon	Köpük Alma	
Öğütme					9			106
Kaba Devre	150	50				5	30	Döngü Sayısı
Temizleme 1		10				3	10	
Temizleme 2		10					5	6

İkinci kapalı devre deneyinde, 33,62 g/t altın içeriğine sahip konsantre %65,39 altın kazanma verimi ile elde edilmiştir. Deneyde MaxGold900 kullanılmamasından dolayı

verim düşüşü yaşanmıştır. Verim düşüşüne karşın konsantredeki altın içeriğinde beklenen artış gerçekleşmemiştir. Temizleme devrelerinde batan ürünlerin sistemde ortaya çıkardığı olumsuz etkiler ikinci kapalı devre deneyinde de görülmektedir. Deneye ait sonuçlar Çizelge 3.28’de yer almaktadır.

Çizelge 3.28 : 2. Kapalı devre deneyine ait sonuçlar.

Ürün	Miktar, %	Tenör		Verim, %	
		Au, g/t	S, %	Au	S
Konsantre	5,30	33,62	19,25	65,4	87,1
Atık	94,70	0,945	0,23	34,6	12,9
Besleme	100,00	2,82*	1,03*	100,0	100,0

* Hesaplanmış değer.

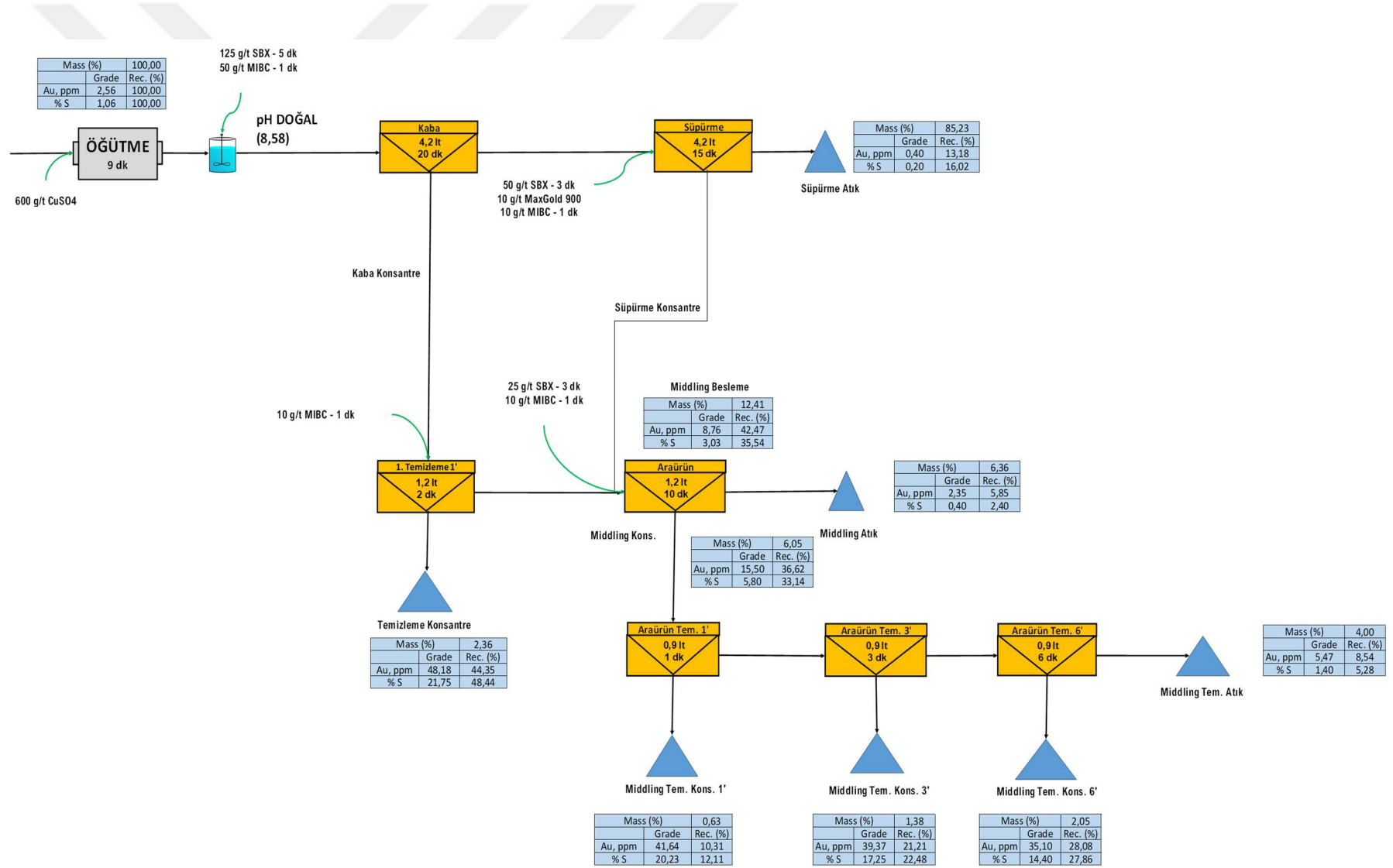
3.2.7 Flotasyon koşullarını düzeltmek için yapılan optimizasyonlar

Kapalı devre flotasyon deneylerinde hedeflenen sonuçlara ulaşılammıştır. Yüksek altın içerikli konsantre üretmek amacıyla akım şemasına araürün ve süpürme devreleri eklenmiştir. Kapalı devre flotasyon deneylerinde tenör ve verim düşüşüne sebep olan kil ve silikat minerallerinin devreden uzaklaştırma koşulları araştırılmıştır.

Araürün ve süpürme devreleri eklenmiş açık devre flotasyon deneyi

Konsantre altın içeriğini yükseltmek ve aynı zamanda altın kazanma verimini yüksek tutmak amacıyla araürün ve süpürme devreleri akım şemasına eklenmiştir. Kaba devre süresi 20 dakika, süpürme süresi 15 dakika, 1. Temizleme devresinin süresi ise 2 dakika olarak belirlenmiştir. 1 kademe temizleme süresi kısa tutularak 48 g/t altın içerikli konsantre üretilmiştir.

Temizleme devresinin batan ürünü ve süpürme devresinin yüzen ürünü araürün devresine gönderilmiştir. İki ürünün toplamı 8,76 g/t altın içermektedir ve toplam kütleinin %12,41’ine tekabül etmektedir. Araürün devresinde 10 dakika flotasyon yapılmasının ardından konsantresi araürün temizleme devresine gönderilmiştir. Toplamda 6 dakika flotasyon yapılan araürün temizleme devresinde 35,10 g/t altın içerikli konsantre %28,08 verim ile elde edilmiştir. Yapılan açık devre flotasyon deneyine ait akım şeması Şekil 3.13’te, deney parametreleri Çizelge 3.29’da belirtilmiştir.



Şekil 3.13 : Araürün ve süpürme devresi eklenmiş deneye ait akım şeması.

Çizelge 3.29 : Araürün ve süpürme devresi eklenmiş deney parametreleri.

	Reaktif, g/t				Süre, dk			d ₈₀ , µm
	SBX	MIBC	CuSO ₄	MaxGold 900	Öğütme	Kondisyon	Köpük Alma	
İlk Öğütme					9			106
Kaba Devre	125	50				5	20	
Süpürme	50	10		10		3	15	
Temizleme 1		10				0	2	
Middling	25	10				3	17	
Middling Tem							6	

Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.30’da yer almaktadır.

Çizelge 3.30 : Araürün ve süpürme devresi eklenmiş deney sonuçları.

Σ Süre, dk	Ürünler	Miktar, g	Miktar, %	Σ Miktar, %	Au, g/t	Σ Au, g/t	Au Verim, %	Σ Au Verim, %
	TK	47,16	2,36	2,4	48,18	48,18	44,4	44,4
1	AÜTK1	12,68	0,63	3,0	41,64	46,79	10,3	54,7
3	AÜTK2	14,92	0,75	3,7	37,44	44,93	10,9	65,6
6	AÜTK3	13,38	0,67	4,4	26,29	42,10	6,9	72,5
	AÜTA	80,0	4,00	8,4	5,47	24,67	8,5	81,0
	AÜA	127,3	6,36	14,8	2,35	15,05	5,9	86,9
	A	1704,7	85,23	100,0	0,40	2,56	13,1	100,0
	Besleme	2000,18	100,0		2,56*			

* Hesaplanmış değer.

3.3 Knelson Konsantratör Deneyleri

Araürün devresi eklenen flotasyon devresinde, araürün devresinde meydana gelen toplam altın kaybı %14,39 olmuştur. Önceki deneylerde atıkların sistemde geri döndürülmesinin konsatredaki altın tenöründe ciddi düşüslere sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu duruma ürün içerisinde bulunan kil ve silikat mineralleri sebep olmaktadır.

Nihai konsantre içerisindeki altın tenörünü düşürmeden altını kazanmak amacıyla ilgili numunelere gravite ayırma metodu yapılmasına karar verilmiştir. Gravite testlerinde FLSmidth tarafından üretilen KC-MD3 model Knelson konsantratör kullanılmıştır. araürün devresi atıkları üzerinde açık devre flotasyon testleri, Çizelge 3.31’de ayrıntıları verilen çalışma parametreleri ile 90 G ve 120 G santrifüj kuvvetlerinde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.31 : Knelson konsantratör deney parametreleri.

Numune Miktarı (g)	Besleme Tipi	Su (L/dk)	G Kuvveti
800	Kuru Besleme	3,50	90, 120

Kil ve silikat minerallerinden ayrılmak istenen numuneler iki farklı G kuvvetine deneylere tabi tutulmuştur. Deney sonuçları incelendiğinde, G kuvveti ile metal kazanma veriminin doğru orantılı, konsantre metal içeriğinin ters orantılı olduğu görülmüştür. Knelson konsantratör ile yapılan deney sonuçları Çizelge 3.32’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.32 : Knelson konsantratör deney sonuçları.

90 G	Miktar, %	Tenör							Verim, %				
		Au, ppm	S, %	Al, %	Na, %	K, %	Ca, %	Au, %	S, %	Al, %	Na, %	K, %	Ca, %
K	21,6	5,37	1,58	0,94	0,07	0,54	3,08	47,8	42,5	21,0	26,4	20,8	22,9
A	78,4	1,62	0,59	0,98	0,05	0,57	2,85	52,2	57,5	79,0	73,6	79,2	77,1
B	100,00	2,43*	0,80	0,97	0,05	0,56	2,90	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
120 G	Miktar, %	Tenör							Verim, %				
		Au, ppm	S, %	Al, %	Na, %	K, %	Ca, %	Au, %	S, %	Al, %	Na, %	K, %	Ca, %
K	29,9	5,03	1,28	0,80	0,04	0,45	3,13	56,5	64,9	30,0	36,9	21,4	32,2
A	70,1	1,66	0,30	0,79	0,03	0,71	2,81	43,5	35,1	70,0	63,1	78,6	67,8
B	100,00	2,66*	0,59	0,80	0,03	0,63	2,91	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

* Hesaplanmış değer. K: Konsantre. A: Atık. B: Besleme.

3.4 Knelson Konsantratör Entegre Edilmiş Kapalı Devre Flotasyon Deneyi

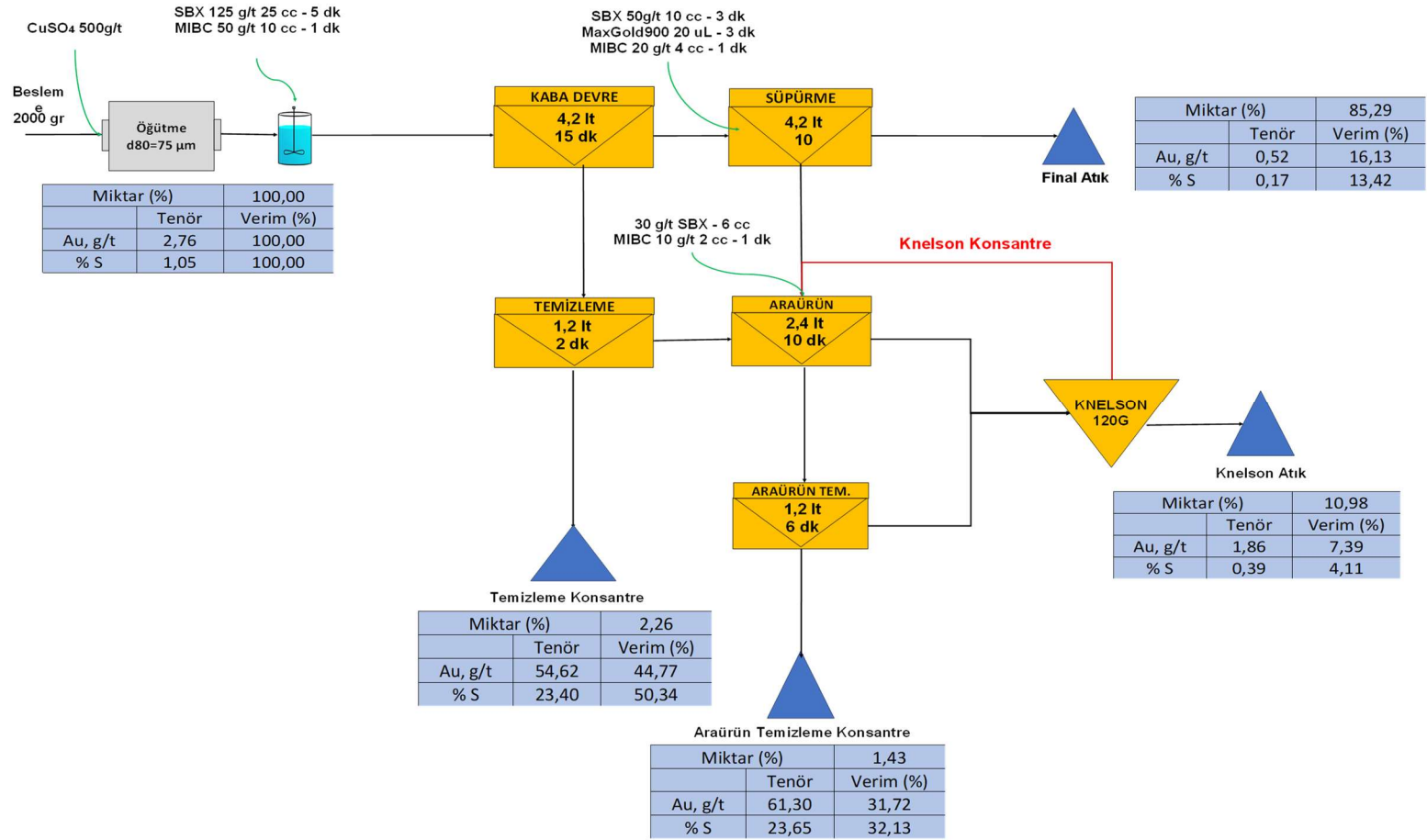
Kapalı devre flotasyon deneylerinde kil ve silikat minerallerinin flotasyon devresinden bertaraf edilmesi amacıyla Knelson konsantratör deneylerinin sonuçları incelendiğinde, gang minerallerinin uzaklaştırılarak metal kazanımının mümkün olduğu tespit edilmiştir.

Yüksek altın içerikli konsantre elde etmek amacıyla Knelson konsantratör flotasyon devresine entegre edilmiştir. Araürün ve araürün temizleme devrelerinin atıkları Knelson konsantratöre gönderilerek Knelson ağır ürünü araürün devresine geri gönderilmiştir. Kil minerallerinin Knelson yardımıyla uzaklaştırılmasının ardından geri gönderilen Knelson konsantresinin nihai konsantre tenörünü düşürmediği tespit edilmiştir. Diğer iki kapalı devre deneyinden farklı olarak d₈₀ besleme tane boyutu 75

mikron olarak ayarlanmıştır. Deneye ait parametreler Çizelge 3.33'te, deneye ait akım şeması Şekil 3.14'te yer almaktadır.

Çizelge 3.33 : Knelson konsantratör eklenmiş kapalı devre deneyi parametreleri.

Kapalı Devre -3	Döngü Başına Eklenen Reaktif, g/t				Döngü Başına Süre, dk			d ₈₀ , µm
	SBX	MIBC	MaxGold 900	CuSO ₄	Öğütme	Kondisyon	Köpük Alma	
Öğütme				500	13,5			106
Kaba Devre	125	50				5	15	Döngü Sayısı
Süpürme	50	20	10			3	10	
Temizleme							2	6
Araürün	30	10					10	
Araürün Tem.		10					6	



Şekil 3.14 : Knelson konsantratör eklenmiş kapalı devre flotasyon deneyi akım şeması (Kapalı Devre-3).

Araürün devreleri eklenerek ve Knelson konsantratör entegre edilerek yapılan 3. kapalı devre flotasyon deneyinde, 57,21 g/t altın içerikli konsantre %76,48 verim ile elde edilebilmiştir. Deneye ait sonuçlar Çizelge 3.34'te belirtilmiştir.

Çizelge 3.34 : Knelson konsantratör eklenmiş kapalı devre flotasyon deneyi sonuçları.

Ürün	Miktar, %	Tenör		Verim, %	
		Au, g/t	S, %	Au	S
Konsantre	3,69	57,21	23,49	76,5	82,5
Atık	96,27	0,68	0,19	23,5	17,5
Besleme	100,00	2,76*	1,05*	100,0	100,00

* Hesaplanmış değer.

3.5 Şişe (Bottle-Roll) Testleri

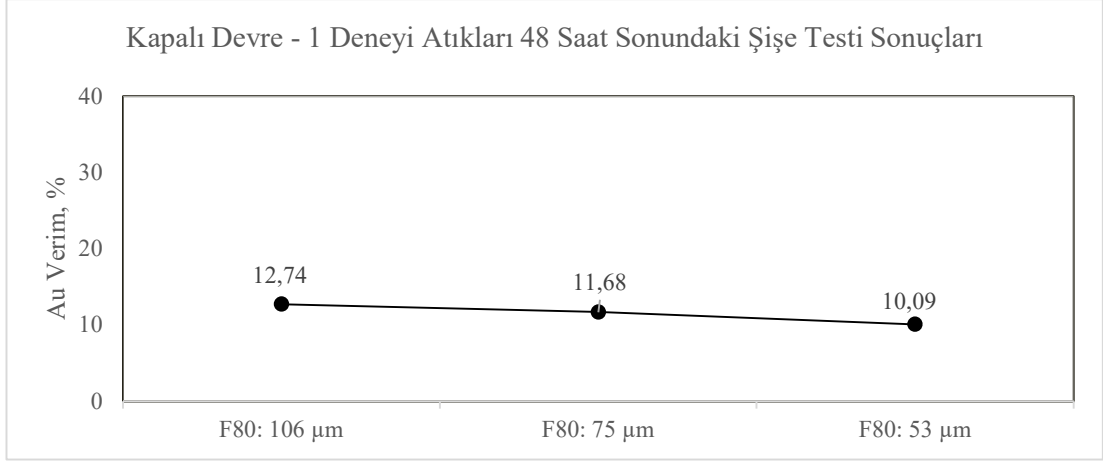
Kapalı devre flotasyon deneylerinin atıkları içerisinde bulunan altını ekstrakte etmek ve kavurma yoluyla oksidasyon yapılmış numunelerin içerisindeki altını kazanmak amacıyla şişe testleri yapılmıştır. Şişe testlerinin genel parametreleri 3.35'te yer almaktadır.

Çizelge 3.35 : Şişe testleri genel parametreleri.

Katı (gr)	Katı Hacmi (cm ³)	Su (mL)	Katı Yoğunluğu (gr/cm ³)	Pülpte Katı Oranı (%)
750,00	272,73	1125,00	2,75	40,00
Toplam Hacim (cm ³)	Sodyum Siyanür Beslemesi (g/l)	Hava Beslemesi (l/dk)	pH	Liç Süresi (saat)
1397,73	1,00	1,00	11-11,5	48-96

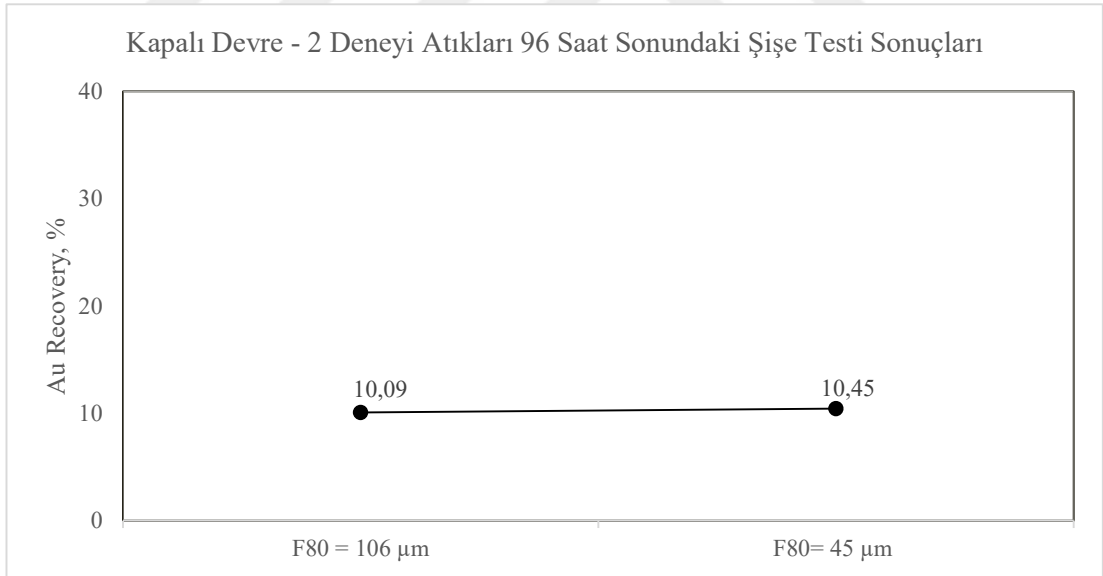
Kapalı Devre 1 ve 2 Deneylerinin Atıklarına Yapılan Şişe Testleri

0,56 ppm altın içeren kapalı devre 1 deneyinin atıkları içerisindeki altını kazanmak amacıyla üç farklı tane boyutunda (d₈₀: 106, 75 ve 53 mikron) şişe testleri yapılmıştır. Testler %40 pülp yoğunluğunda ve 750 gram katı ile yapılmıştır. Siyanür dozajı 1 g/L olarak ayarlanmıştır. Liç süresinin 48 saat olarak ayarlandığı deneylerin sonuçları Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, besleme tane boyutu inceldikçe altın kazanma veriminin düştüğü görülmüştür.



Şekil 3.15 : Kapalı devre- 1 deneyinin atıklarına yapılan şişe testi sonuçları.

İkinci kapalı devre flotasyon devresinin atıkları 0,95 g/t altın içermektedir. Proses boyutu olan 106 mikronda ve 45 mikronda (d_{80}) toplam 96 saat süren şişe testleri yapılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde, altın kazanma verimlerinin %10 ve %10,5 geldiği ve istenilen altın kazanma verimlerine ulaşamadığı görülmüştür. Deneylere ait sonuçlar Şekil 3.16’da yer almaktadır.



Şekil 3.16 : Kapalı devre- 2 deneyinin atıklarına yapılan şişe testi sonuçları

3.6 Kavurma Yoluyla Oksidasyon Testleri

Prevanly numunelerinde herhangi bir oksidasyon işlemi yapılmadan gerçekleştirilen liç testlerinde düşük altın verimleri elde edilmesinin ardından besleme numunesine döner fırında kavurma testleri gerçekleştirilmiştir. Döner Fırın testleri Nabertherm

markalı RSRC 120-750/13 modeli fırında gerçekleştirilmiştir. Fırın 0° eğimde deney 'batch' olarak yapılmıştır.

3.6.1 Ön ısıtmalı kavurma testleri

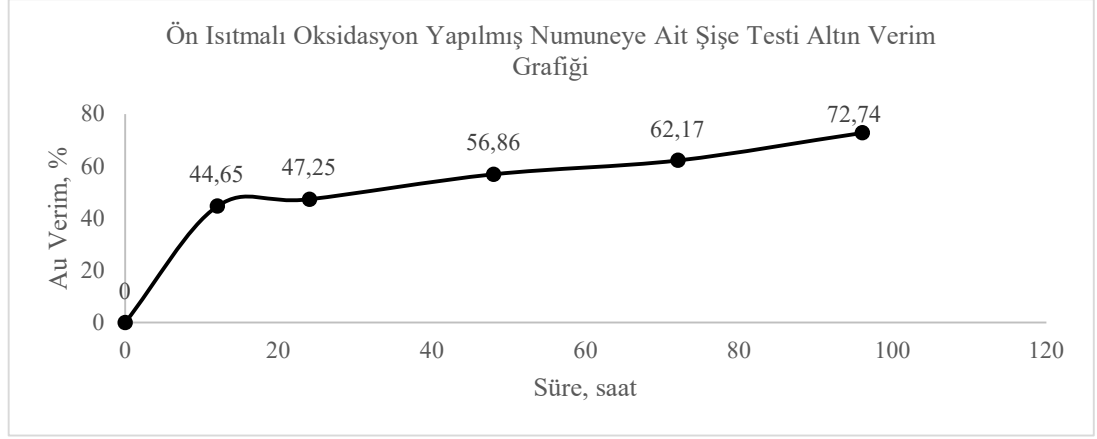
Numune oda sıcaklığında fırına beslenmiş olup, hedef sıcaklığa gelene kadar saatte 250° C ön ısıtma süresine tabii tutulmuştur. Hedef sıcaklık 550 °C olarak belirlenmiştir. Deney sürecinde çıkan SO₂ gazı, H₂O₂ çözeltilisinden geçirilerek SO₂ gaz çıkışı ve miktarları gözlenmiştir. Belirlenen deney parametrelerinde 4 saat sonunda SO₂ gazının çıkışının minimum düzeyde sabit kaldığı tespit edilmiştir. Ön ısıtmalı kavurma testlerine ait parametreler Çizelge 3.36'da belirtilmiştir.

Çizelge 3.36 : Ön ısıtmalı kavurma deneyi parametreleri.

Fırın Parametreleri (Ön Isıtmalı, 550 ° C)	
Toplam Kavurma Süresi (saat)	4
Beslenen Hava Debisi (l/saat)	500
Tüp Dönüş Hızı (RPM)	5
Beslenen Numune Miktarı (g)	300
Kavurma Sonrası Numune Miktarı (g)	283,90
Beslemedeki Kükürt (S) Miktarı (%)	1,10
Kavurma Sonrası Kükürt (S) Miktarı (g)	0,40
Kütle Kaybı (%)	5,34

Ön ısıtmalı kavurma testine tabi tutulmuş numuneye ait şişe testleri

Numunenin kavurma yoluyla oksidasyona tabi tutulmasının ardından, içerisindeki altının kazanılması amacıyla şişe testi gerçekleştirilmiştir. Şişe testi parametreleri Şekil 3.35'teki gibi diğer deneylerle aynı olup, 96 saat boyunca altın kazanım değerleri takip edilmiştir. 96 saat sonunda %72,74 altın kazanma verimine ulaşılmıştır. Deneye ait sonuçları içeren grafik Şekil 3.17'de yer almaktadır.



Şekil 3.17 : Ön ısıtmalı kavurmaya tabi tutulmuş numuneye ait şişe testi zaman-verim grafiği.

3.6.2 Ön ısıtma olmadan (şoklama yöntemiyle) yapılan kavurma testleri

Prevanly besleme numunesine şoklama yöntemi ile ön ısıtma yapılmadan kavurma deneyleri yapılmıştır. Şoklama ile kavurma deneylerinde ani sıcaklık artışı sayesinde numune üzerinde daha fazla gözenek açarak oksitlenebilir yüzeyi arttırmak ve altın çözündürme verimini arttırmak amaçlanmıştır.

Çizelge 3.37 : Şoklama yöntemi ile yapılan deney parametreleri.

Fırın Parametreleri	
Toplam Kavurma Süresi (saat)	4
Beslenen Hava Debisi (l/saat)	500
Tüp Dönüş Hızı (RPM)	5
Beslenen Numune Miktarı (g)	300
Kavurma Sonrası Numune Miktarı (g)	283,90
Beslemedeki Kükürt (S) Miktarı (%)	1,10

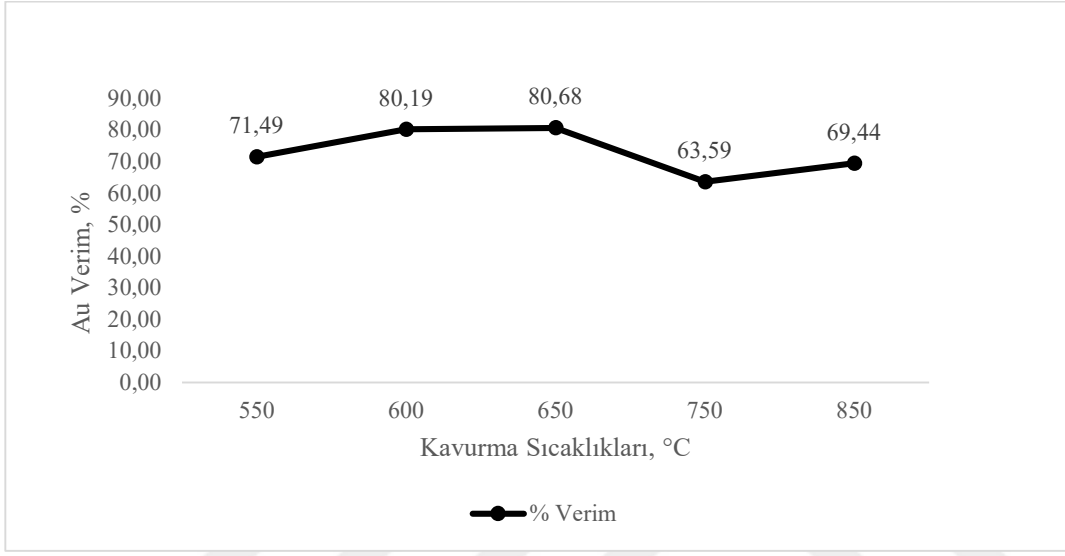
Kavurma işlemi 550, 600, 650, 750, 850 °C olmak üzere 5 farklı sıcaklıkta yapılmıştır. Deney sıcaklıklarına bağlı kükürt yanma oranları Çizelge 3.38’de yer almaktadır. Kavurma sıcaklığı arttıkça kükürt yanma veriminin azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 3.38 : Kavurma sıcaklığına bağlı kükürt yanma oranları.

Sıcaklık °C	550	600	650	750	850
Kavurma Sonrası Kükürt Miktarı (%)	0,31	0,44	0,39	0,67	0,77
Kütle Kaybı (%)	3,48	8,58	7,27	11,67	9,5
Kükürt Yanma Verimi (%)	71,64	60,36	64,73	39,4	30,18

Şoklama yöntemi ile kavurma yapılan numunelerin şişe testleri

Kavurma işlemine tabi tutulmuş numunelere toplam 96'şar saat şişe testi uygulanmıştır. Şişe testlerinin parametrelerinin tamamı, diğer testler ile aynı olacak şekilde ayarlanmıştır. En yüksek altın kazanma verimi %80,68 ile 650 °C'de elde edilmiştir. Sıcaklıklara bağlı altın kazanımını içeren grafik Şekil 3.18 de yer almaktadır.



Şekil 3.18 : Şoklama yoluyla kavurmaya tabi tutulmuş numuneye ait şişe testlerinin sıcaklığa bağlı altın kazanma verimi grafiği.

4. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında, ETİ Bakır Kırgızistan İşletmesi'ne ait tesisin Prevanly Bölgesi'nden alınan numunelerin içerisinde bulunan altını kazanmak için zenginleştirme yöntemleri araştırılmış olup, laboratuvar ölçekli çalışmalar yapılmıştır. Pirit ve arsenopirit mineralleri içerisinde kapanım halde bulunan altını zenginleştirmek amacıyla flotasyon ile zenginleştirme yöntemi kullanılmıştır. Pirit ve arsenopiriti yüzdürmek amacıyla kollektif sülfür flotasyonu tercih edilmiştir. Prevanly cevheri yapısı gereği yüksek miktarda kil ve silikat minerali ihtiva etmektedir. Kil ve silikat minerallerinin flotasyon deneylerinde konsantride tenör ve verim düşüşüne sebep olduğu tespit edilmiştir. Kil ve silikat minerallerini uzaklaştırmak amacıyla Knelson konsantratör kullanılmıştır. Knelson konsantratörü ile yapılan deneylerde metal kazanımı sağlanırken kil ve silikatların uzaklaştırılabildiği tespit edilmiştir. Flotasyon deneylerinin atıklarına Bottle-Roll (Şişe Çevirme) testleri yapılarak altın kazanma verimlerinin artırılması amaçlanmıştır. Altının sülfürlü minerallerde kapanım halde olduğu tespit edilmesinin ardından ön oksidasyon amaçlı kavurma deneyleri yapılmıştır. Kavurmaya tabi tutulan numunelere şişe testleri yapılmıştır.

Deneylerin öncesinde numunelerin tamamı 3,35 mm altına kırılarak 1'er kiloluk poşetlere homojen olarak bölünmüştür. Prevanly bölgesine belirlenen 100 adet noktadan alınan numuneler ağırlıkları oranınca karıştırıp bölünerek ortak kompozit numune oluşturulmuştur. Öğütme ve zenginleştirme testlerinin tamamı hazırlanan kompozit numuneler ile yapılmıştır. Flotasyon testlerinde tane boyutu, kollektör dozajları, aktivatörler, flotasyon süreleri gibi parametrelerin altın kazanma verimine etkileri incelenmiştir. Knelson konsantratöründe santrifüj kuvvetinin altın kazanma verimine etkisi ve gang minerallerinin uzaklaştırılmasına etkisi incelenmiştir. Kavurma testlerinde sıcaklık ve ön ısıtmanın kükürt bertaraf etme ve liç işleminde altın kazanma verimine katkısı incelenmiştir.

Tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucu elde edilen bulgular maddeler halinde özetlenmiştir:

- Mineralojik incelemeler sonucunda; cevher mikroskobu görüntülerinde pirit ve arsenopirit mineralleri iri boyutlarda serbest halde görüntülenmiştir. SEM-MLA sonuçları incelendiğinde 106-20 mikron aralığında, bütün fraksiyonlarda pirit ve arsenopiritin %75-80 oranında serbest olduğu, bağlı tanelerin çoğunluğunun ise pirit-arsenopirit ikili bağlarından meydana geldiği tespit edilmiştir. Metallerin yanı sıra kuvars, K-Feldspat, muskovit gibi istenmeyen minerallerin ise tane boyutu incelidikçe serbest hale geldiği tespit edilmiştir.
- Tane boyutu incelidikçe flotasyon deneylerinde altın kazanma veriminin arttığı fakat konsantre içerisindeki altın içeriğinin ciddi oranda düştüğü tespit edilmiştir. SEM-MLA tarafından da desteklendiği üzere, tane boyutu incelidikçe konsantredeki altın içeriğindeki düşüşün kil ve silikat minerallerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir.
- Altın kollektörü olarak üretilmiş olan MaxGold900'ün flotasyonda altın kazanma verimine olumlu etkisi olurken konsantre altın içeriğinde ciddi düşüşe sebep olmaktadır. Son kapalı devre flotasyon deneyinde 10 g/t gibi düşük dozajda kullanılması uygun görülmüştür.
- Bakır sülfatın 400 g/t kullanılması halinde altın kazanma verimini yaklaşık %2,5 arttırdığı görülmüştür. Daha yüksek dozajlarda ise olumsuz etki yaparak verimde düşüşe sebep olmuştur.
- Numune içerisinde bulunan kil ve silikat mineralleri kapalı devre – 1 ve kapalı devre – 2 deneyinde devreden yükleri arttırıp tenör ve verim düşüşlerine sebep olmuştur. Yüksek altın tenörlü konsantre elde etmek amacıyla Knelson konsantratör sisteme entegre edilmiş olup yüksek altın içerikli konsantre elde edilmesi sağlanmıştır.
- Knelson konsantratör ile yapılan deneylerde merkezkaç kuvveti ile metal kazanma veriminin doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. KC-MD3 model numarasına sahip Knelson konsantratörler maksimum 120G kuvvetinde çalışabilmektedir. Dolayısıyla Knelson deneyleri 120G'de yapılmıştır. Daha yüksek G kuvvetine ulaşabilen santrifüj ayırıcılar ile altın kazanma veriminin yükseltilebilmesi potansiyel dahilindedir.
- Kapalı devre 1 ve 2 deneylerinin atıklarına yapılan Bottle-Roll testleri sonucunda istenilen altın verimine ulaşamamıştır. Elde edilen sonuçlar ön işleme oksidasyon yapılmadan, siyanürizasyon yoluyla altının kazanılamayacağını göstermektedir.
- Numunenin oksidasyonunu sağlamak amacıyla yapılan kavurma testlerinde, ön ısıtma ve şoklama yöntemlerinin şişe testlerindeki altın kazanma performansına etkisi incelenmiştir. Ön ısıtma ile 550 °C'de yapılan kavurmanın ardından %72 altın kazanma verimi elde edilmiştir. Şoklama yöntemi ile 550 °C'de yapılan deneyde ise %80 altın kazanma verimine ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Aslan, N.** (2007). Modeling and optimization of Multi-Gravity Separator to produce celestite concentrate. *Powder Technology*, 174(3), 127–133.
- Broekman, B. R., Carter, L. A. E. & Dunne, R. C.** (1987). Flotation. In *The Extractive Metallurgy of Gold in South Africa* (Vol. 1, pp. 235–275). South African Institute of Mining and Metallurgy.
- Cason, C., Pezzato, L., Breda, M., Furlan, F. & Dabalà, M.** (2015). Effect of Microstructure and Residual Stresses, Generated From Different Annealing and Deformation Processes, on the Corrosion and Mechanical Properties of Gold Welding Alloy Wires. *Gold Bulletin*.
- Chen, Q., Yang, H., Tong, L., Liu, Z., Chen, G. & Wang, J.** (2020). Analysis of the operating mechanism of a Knelson concentrator. *Minerals Engineering*, 158, 106547.
- Cheng, W., Dong, S. & Wang, E.** (2002). Gold Nanoparticles as Fine Tuners of Electrochemical Properties of the Electrode/Solution Interface. *Langmuir*.
- Corti, C. W. & Holliday, R.** (2004). Commercial Aspects of Gold Applications: From Materials Science to Chemical Science. *Gold Bulletin*.
- Das, A. & Sarkar, B.** (2018). Advanced Gravity Concentration of Fine Particles: A Review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 39(6), 359–394.
- Dunne, R. C.** (1991). Auriferous sulfide flotation in Australia. *Randol Gold Forum* 91, 239–244.
- Erkan, E., Ekmekci, Z. & Altun, E.** (2022). Comparison of flash flotation and gravity separation performance in a greenfield gold project. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 58(3).
- Eshraghi, H., Rastad, E. & Motevali*, K.** (2010). Auriferous Sulfides From Hired Gold Mineralization, South Birjand, Lut Block, Iran. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*.
- Farajzadeh, S. & Chehreh Chelgani, S.** (2022). Gravity separation by falcon concentrator- an over review. *Separation Science and Technology*, 57(13), 2145–2164.
- Fernández, C., Minaya Lizárraga, A. A. & María Cornejo, M. V.** (2024). The Toxic Legacy of Artisanal and Informal Mining: XRF and Gis Analysis of Soil Contamination by Hg, Pb and as in the Secocha Annex, Camaná, Peru. *Rica*.

- Ghaffari, A. & Farzanegan, A.** (2017). An investigation on laboratory Knelson Concentrator separation performance: Part 1: Retained mass modelling. *Minerals Engineering*, 112, 57–67.
- Herrera, R. P. & Gimeno, M. C.** (2021). Main Avenues in Gold Coordination Chemistry. *Chemical Reviews*.
- Hoover, T. J.** (1912). *Concentrating ores by flotation* (3rd ed.). Salisbury House.
- Isoda, K., Tanaka, A., Fuzimori, C., Echigoya, M., Taira, Y., Taira, I., Shimizu, Y., Akimoto, Y., Kawakami, H. & Ishida, I.** (2020). Toxicity of Gold Nanoparticles in Mice Due to Nanoparticle/Drug Interaction Induces Acute Kidney Damage. *Nanoscale Research Letters*.
- Jones, R. S. & Fleischer, M.** (1969). *Gold in minerals and the composition of native gold*.
- Kasper, A. C., Carrillo-Abad, J., García-Gabaldón, M., Veit, H. M. & Pérez-Herranz, V.** (2015). Determination of the Potential Gold Electrowinning From an Ammoniacal Thiosulphate Solution Applied to Recycling of Printed Circuit Board Scraps. *Waste Management & Research the Journal for a Sustainable Circular Economy*.
- Kim, J., Lavin, B. W., Burnett, R. D. & Boote, B. W.** (2011). Controlled Synthesis of Gold Nanoparticles by Fluorescent Light Irradiation. *Nanotechnology*.
- Kim, J., Twaddle, K. M., Hu, J. & Byun, H.** (2014). Sunlight-Induced Synthesis of Various Gold Nanoparticles and Their Heterogeneous Catalytic Properties on a Paper-Based Substrate. *Acs Applied Materials & Interfaces*.
- Kökkılıç, O., Langlois, R. & Waters, K. E.** (2015). A design of experiments investigation into dry separation using a Knelson Concentrator. *Minerals Engineering*, 72, 73–86.
- M. Giasuddin, A. S., Jhuma, K. A. & Haq, A. M. M.** (2013). Use of Gold Nanoparticles in Diagnostics, Surgery and Medicine: A Review. *Bangladesh Journal of Medical Biochemistry*.
- Majumder, A. K. & Barnwal, J. P.** (2006). MODELING OF ENHANCED GRAVITY CONCENTRATORS–PRESENT STATUS. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 27(1), 61–86.
- Mathioudakis, S., Xiroudakis, G., Petrakis, E. & Μανούτσουλου, E.** (2023). Alluvial Gold Mining Technologies From Ancient Times to the Present. *Mining*.
- McClelland, G. E. & McPartland, J. S.** (2002). Bench-scale and pilot plant tests for cyanide leach circuit design. In A.L. Mular, D.N. Halbe & D.J. Barratt (Eds.), *Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control* (pp. 251–263). SME.
- Nayak, A., Jena, M. S. & Mandre, N. R.** (2021). Application of Enhanced Gravity Separators for Fine Particle Processing: An Overview. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 7(2), 315–339.

- Pullen, T., Benson, K. L. & Faff, R. W.** (2014). A Comparative Analysis of the Investment Characteristics of Alternative Gold Assets. *Abacus*.
- Richart, T. A.** (1912). *The Flotation Process* (first ed.). Mining and Scientific Press.
- Taggart, A. F.** (1927). Flotation of gold and silver. In *Handbook of Ore Dressing, Section 12* (pp. 866–868). John Wiley & Sons, Inc.
- Touyz, L. Z. G. & Touyz, S. J. J.** (2023). Gold in Medicine and Dentistry. *Dentistry and Oral Health Care*, 2(3), 1–7.
- Url-1 < <https://fls.com/en/en-gb/products> > 20.04.2025
- Url-2 < <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/mineral-commodity-summaries> > Erişim tarihi: 28.05.2025
- Url-3 < <https://www.gold.org/> > Erişim tarihi: 29.05.2025
- Url-4 < <https://www.metalsfocus.com/product/gold-focus/> > Erişim tarihi: 28.05.2025
- Url-5 < <https://www.mta.gov.tr/> > Erişim tarihi: 29.05.2025
- Velásquez-López, P. C., Veiga, M. M. & Hall, K. J.** (2010). Mercury Balance in Amalgamation in Artisanal and Small-Scale Gold Mining: Identifying Strategies for Reducing Environmental Pollution in Portovelo-Zaruma, Ecuador. *Journal of Cleaner Production*.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.010>
- Weinig, A. J. & Carpenter, C. B.** (1937). *The trend of flotation* (4th ed.). Colorado School of Mines.
- Zhong, Q., Yang, Y., Chen, L., Li, Q., Xu, B. & Jiang, T.** (2018). Intensification Behavior of Mercury Ions on Gold Cyanide Leaching. *Metals*.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : **Alperen KÖLE**

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2025, İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı, Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Mesleki Deneyimler

- Eti Bakır A.Ş. AR&GE Merkezi / Araştırma ve Geliştirme Mühendisi (Haziran 2023 – Devam ediyor)
- Eti Bakır A.Ş. Samsun İşletmesi Konsantratör Tesisi / Proses Kontrol Mühendisi (Kasım 2021 – Haziran 2023)
- TÜMAD Madencilik, Sanayi ve Ticaret A.Ş. / Stajyer (Haziran 2019 – Temmuz 2019)

YAYINLAR:

Uluslararası Makaleler

- **Kole, A., Kangal, M. O., Göktaş, İ.** (2025). Research and application of enrichment methods for gold in refractory form found in pyrite and arsenopyrite minerals. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 61(3), 205217.